

DOCTORAT AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ

délivré par Aix-Marseille Université

N° attribué par la bibliothèque

.....

THÈSE

pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université d'Aix-Marseille

Formation doctorale : Cognition, langage, éducation

présentée et soutenue publiquement par

Konstantinos GRIVOPOULOS

le 10 / 12 / 2014

Étude comparative des représentations sociales de l'atome en milieu scolaire, en France et en Grèce, en corrélation avec sa transposition didactique de 1945 à 2014

Sous la direction de

M. Yves MATHERON

**Institut Français de l'Éducation – École Normale Supérieure de Lyon,
EA 4671 – ADEF d'Aix-Marseille Université**

JURY

M. Jean-Marie BOILEVIN, *Professeur*, Université de Bretagne Occidentale

M. Lionel DANY, *Professeur*, Université d'Aix-Marseille

M. Yves MATHERON, *Professeur*, ÉNS de Lyon – IFÉ

M. Patrice VENTURINI, *Professeur*, Université de Toulouse II

*« Quand il se présente à la culture scientifique, l'esprit n'est jamais jeune.
Il est même très vieux, car il a l'âge de ses préjugés. »*

Gaston Bachelard

*« Et il y a la transposition des savoirs, qui est l'affaire d'une société,
et qui n'est pas simple transfert – comme l'on fait de marchandises –,
mais, chaque fois, création. »*

Yves Chevallard

À la mémoire de ma mère...

Remerciements

Je voudrais tout d'abord remercier grandement mon directeur de thèse, Yves Matheron, pour son aide permanente et généreuse. Je suis ravi d'avoir travaillé en sa compagnie car outre son appui scientifique, il a toujours été là pour me soutenir, me conseiller et m'encourager au cours de l'élaboration de cette thèse.

Au cours de ces années j'ai fait partie des équipes de recherche ETOS-ACADIS et GESTEPRO dont les membres m'ont aimablement accueilli parmi les leurs. Je les remercie tous vivement et plus particulièrement les responsables Alain Mercier, Professeur Émérite, Teresa Assude, Jacques Ginestié et Pascale Brandt-Pomares, Professeurs du laboratoire de mon attachement, EA 4671 - ADEF.

Je tiens à remercier les Professeurs Jean-Marie Boilevin, Lionel Dany et Patrice Venturini qui ont accepté de me faire l'honneur de participer au jury de cette thèse.

J'adresse aussi mes remerciements aux élèves, français et grecs, qui ont accepté de participer à cette recherche. Je suis également reconnaissant aux principaux, proviseurs, équipes pédagogiques et personnel administratif des établissements impliqués. Ma gratitude particulière va à Gérard Servant, Karine Drousset, Christiane Mota, Marie-Christine de Redon, Abdelrani Khelladi, Fabrice Ferranti, Nacer Khadraoui, Régis Laurolillo, Karine Lorne, Jean Cachia, Pascale Tonelli, Nicolas Gaubert..., pour la partie de recherche en France. S'agissant de la partie grecque, je tiens à remercier exceptionnellement Ioannis Gyftogiannis, Dimitris Sklyros, Georgia Koutromanou, Fotis Sklyros, Fotis Tsoukalas, Eleni Karveli, Vassilis Tsounis, Théodora Kyriazi, Dimitris Kalogeris, Ioannis Stergiannis, Dimitris Triantafyllou, Ioanna Santa...

Mme Kaiti Hatzistefanou et ses collègues m'avaient gentiment accueilli dans les locaux de l'Institut Pédagogique d'Athènes, pour la consultation des manuels de Physique-Chimie

grecs. M. Vincent Baas, responsable du bureau de numérisation et de gestion des documents numériques de la Bibliothèque « Diderot » de l'École Normale Supérieure de Lyon, avait eu la gentillesse de se prêter au jeu de la prise de photos des manuels français.

Je leur suis reconnaissant.

Je pense également à tous mes ami(e)s grecs et français et plus spécifiquement à ma camarade de thèse, Nadeige Chauvot, avec qui nous partagions les moments heureux, mais aussi inquiétants de nos parcours parallèles.

Nadeige, n'oublie pas ta promesse, le flan !

Table des matières

INTRODUCTION	10
PREMIÈRE PARTIE : PROBLÉMATIQUE PRATIQUE	12
CHAPITRE 1 : L'« ATOME » DANS L'INSTITUTION SCOLAIRE	13
1.1 L'enseignement des sciences physiques et chimiques dans les systèmes éducatifs français et grec	13
1.2 La physique et la chimie, dans le secondaire grec	17
1.3 Instructions institutionnelles	20
1.3.1 Système d'enseignement grec	20
1.3.1.1 École primaire	21
1.3.1.2 « A' de Gymnasion »	24
1.3.1.3 « B' de Gymnasion », Chimie	25
1.3.1.4 « B' de Gymnasion », Physique	34
1.3.1.5 « Γ' de Gymnasion », Chimie	35
1.3.1.6 « Γ' de Gymnasion », Physique	36
1.3.1.7 « A' de Lykeion », Chimie	38
1.3.1.8 « A' de Lykeion », Physique	42
1.3.1.9 « B' de Lykeion », Chimie	43
1.3.1.10 « B' de Lykeion », Physique	45
1.3.1.11 « Γ' de Lykeion », Chimie	47
1.3.1.12 « Γ' de Lykeion », Physique	53
1.3.2 Système d'enseignement français	56
1.3.2.1 École primaire	57
1.3.2.2 Classe de cinquième	57
1.3.2.3 Classe de quatrième	57
1.3.2.4 Classe de troisième	61
1.3.2.5 Classe de seconde	63
1.3.2.6 Classe de première	68
1.3.2.7 Classe de terminale	74
1.3.3 Mise en comparaison des instructions noosphériques françaises et grecques	79
CHAPITRE 2 : L'« ATOME » DANS DES ŒUVRES, EN CONTEXTES FRANÇAIS ET GREC	82
2.1 L'« atome » dans plusieurs œuvres	82
2.2 L'« atome » dans les dictionnaires	87
CHAPITRE 3 : L'« ATOME » DANS L'HISTOIRE DE LA PENSÉE SCIENTIFIQUE	91
3.1 Bref historique du concept	91
3.1.1 Modèle de Dalton	95
3.1.2 Modèle de Thomson	96

3.1.3	Modèle de Rutherford	97
3.1.4	Modèle de Bohr	98
3.1.5	Modèle probabiliste	100
3.2	Obstacles épistémologiques	102
CONCLUSION DE LA PREMIÈRE PARTIE		108
DEUXIÈME PARTIE : PROBLÉMATIQUE THÉORIQUE		110
CHAPITRE 4 : THÉORIE DES SITUATIONS DIDACTIQUES		111
CHAPITRE 5 : THÉORIE ANTHROPOLOGIQUE DU DIDACTIQUE		118
5.1	Fondements de la transposition didactique	118
5.2	Contraintes de la transposition didactique	120
5.3	Le système d'enseignement et son environnement	122
5.4	Écologie didactique des savoirs	123
5.5	Organisation praxéologique	125
CHAPITRE 6 : CADRE THÉORIQUE DES REPRÉSENTATIONS SOCIALES		130
6.1	Éléments de définition psychosociale des Représentations Sociales	130
6.2	Composition des Représentations Sociales	132
6.3	Processus de formation des Représentations Sociales : objectivation, ancrage	132
6.4	Fonctionnalité des Représentations Sociales	133
6.5	Approche structurale des Représentations Sociales : centralité et périphérie	134
6.6	Processus représentationnels d'objets scientifiques	135
6.7	L'« atome » en tant qu'objet de représentation	138
6.8	Transformation des représentations sociales	142
6.9	Systèmes de représentations – connaissances	143
CHAPITRE 7 : RAPPORT AU SAVOIR		146
7.1	Approche anthropologique	146
7.2	Approche socio-anthropologique ou microsociologique	148
7.3	Approche clinique	152
7.4	Approche des questions socialement vives	153
7.5	Approche de la théorie intermédiaire des deux mondes	155
CHAPITRE 8 : MANUEL SCOLAIRE ET DISCOURS SCIENTIFIQUE		159
8.1	Les genres du discours scientifique	159

8.2	Enseignement et vulgarisation	160
8.3	Structuration du manuel des sciences : unités textuelles et iconiques	162
	CONCLUSION DE LA DEUXIÈME PARTIE	166
	TROISIÈME PARTIE : PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODE	171
	CHAPITRE 9 : PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE – PROTOCOLE SUIVI – HYPOTHÈSES	172
9.1	Questions de recherche	172
9.1.1	Axe des représentations	173
9.1.2	Axe de transposition didactique	173
9.2	Revue de littérature	174
9.2.1	Recherches en contexte français	174
9.2.2	Recherches en contexte grec	183
9.2.3	Recherches en contexte international	187
9.3	Échantillonnage – Variables – Protocole d'enquête	192
9.3.1	Échantillonnage	193
9.3.2	Variables de recherche	199
9.3.3	Protocole d'enquête	200
9.3.4	Hypothèses	205
	CHAPITRE 10 : MÉTHODES D'ANALYSE DES DONNÉES – PLAN DES REPRÉSENTATIONS	207
10.1	Triangulation méthodologique	207
10.2	Les dessins	208
10.3	Les entretiens	210
10.3.1	Le logiciel Alceste [®]	213
10.3.2	L'analyse de contenu	214
10.4	Les questionnaires de la pré-enquête	215
10.5	Les questionnaires de l'enquête principale	216
10.5.1	Analyse prototypique et catégorielle	217
10.5.2	Questionnaire de caractérisation	219
10.5.3	Le différenciateur sémantique	220
10.5.4	Questionnaire de positionnement	221
	CHAPITRE 11 : MÉTHODES D'ANALYSE DES DONNÉES – PLAN TRANSPOSITIF	223
11.1	Analyse didactique de manuels scolaires	223
11.1.1	Partie générique de la grille	223
11.1.2	Partie spécifique de la grille	225
11.2	Analyse du corpus avec le logiciel Alceste [®]	227
11.3	Corpus des manuels scolaires	227

11.4	À propos de la lecture des tableaux d'analyse des manuels	230
CONCLUSION DE LA TROISIÈME PARTIE		233
QUATRIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION		234
CHAPITRE 12 : RÉSULTATS DE LA PRÉ-ENQUÊTE		236
12.1	Résultats issus des dessins	236
12.2	Résultats issus des entretiens	241
12.2.1	Résultats selon Alceste [©]	242
12.2.2	Résultats d'après l'analyse de contenu	247
12.3	Résultats issus des questionnaires de la pré-enquête	250
CHAPITRE 13 : LA REPRÉSENTATION SOCIALE DE L'ATOME – ÉCHANTILLON GÉNÉRAL		271
13.1	Question 1	271
13.1.1	Grecs des classes de 4 ^e (N = 104)	271
13.1.2	Français des classes de 4 ^e (N = 102)	276
13.1.3	Grecs des classes de 2 ^{de} (N = 104)	278
13.1.4	Français des classes de 2 ^{de} (N = 102)	280
13.1.5	Grecs des classes de terminales (N = 105)	283
13.1.6	Français des classes de terminales (N = 99)	285
13.1.7	Sous-ensemble grec (N = 313)	289
13.1.8	Sous-ensemble grec (N = 303) – Comparaisons	291
13.1.9	Ensemble général (N = 616)	297
13.2	Question 2	299
13.2.1	Classes de quatrième : grecs (N = 104) et français (N = 102)	299
13.2.2	Classes de seconde : grecs (N = 104) et français (N = 102)	303
13.2.3	Classes de terminales : grecs (N = 105) et français (N = 99)	307
13.2.4	Comparaisons intragroupes. Ensemble des grecs et ensemble des français	311
13.2.5	Ensemble général (N = 616)	317
13.3	Question 3	319
13.3.1	Grecs de quatrième (N = 104)	320
13.3.2	Français de quatrième (N = 102) – Comparaisons	323
13.3.3	Ensemble de quatrième (N = 206)	328
13.3.4	Grecs de seconde (N = 104)	332
13.3.5	Français de seconde (N = 102) – Comparaisons	335
13.3.6	Ensemble de seconde (N = 206)	340
13.3.7	Grecs des terminales (N = 105)	343
13.3.8	Français des terminales (N = 99) – Comparaisons	346
13.3.9	Ensemble de terminales (N = 204)	351
13.3.10	Ensemble général (N = 616)	354
13.3.11	Comparaisons entre les trois niveaux de classe	361
13.3.12	Comparaisons intragroupe grecques	363
13.3.13	Comparaisons intragroupe françaises	365

13.4	Question 4	368
13.4.1	Grecs de quatrième (N = 104)	369
13.4.2	Français de quatrième (N = 102) – Comparaisons	372
13.4.3	Ensemble de quatrième (N = 206)	377
13.4.4	Grecs de seconde et de terminales hors TS (N = 195)	380
13.4.5	Français de seconde et de terminales hors TS (N = 149) – Comparaisons	384
13.4.6	Ensemble de seconde et de terminales hors TS (N = 344)	390
13.4.7	Comparaisons intragroupe grecques	395
13.4.8	Comparaisons intragroupe françaises	396
13.5	Question 5	398
13.5.1	Classes de seconde : grecs (N = 104) et français (N = 102)	399
13.5.2	Classes de terminale hors TS : grecs (N = 91) et français (N = 47)	403
13.5.3	Échantillon lycée hors TS (N = 344)	409
CHAPITRE 14 : LA REPRÉSENTATION SOCIALE DE L'ATOME – ÉCHANTILLON SPÉCIFIQUE		412
14.1	Question 1	412
14.1.1	Français TS (N = 52)	412
14.1.2	Grecs TS (N = 48)	415
14.1.3	Ensemble TS (N = 100)	419
14.2	Question 2	423
14.2.1	Français TS (N = 52) et Grecs TS (N = 48)	423
14.2.2	Ensemble TS (N = 100)	427
14.3	Question 3	430
14.3.1	Français TS (N = 52)	431
14.3.2	Grecs TS (N = 48)	434
14.3.3	Ensemble TS (N = 100)	439
14.4	Question 4	442
14.4.1	Grecs de TS (N = 48)	443
14.4.2	Français de TS (N = 52) – Comparaisons	448
14.4.3	Ensemble de TS (N = 100)	454
14.5	Question 5	460
14.5.1	Français TS (N = 52) et Grecs TS (N = 48)	460
14.5.2	Ensemble de TS (N = 100)	464
CHAPITRE 15 : RÉSULTATS ISSUS DE L'ANALYSE DES MANUELS		471
15.1	Résultats selon Alceste [©]	471
15.2	Résultats selon l'analyse didactique	479
CONCLUSION DE LA QUATRIÈME PARTIE		485
CONCLUSION GÉNÉRALE		494

BIBLIOGRAPHIE	501
SITOGRAFIE	517
SOMMAIRE DES ANNEXES	518

INTRODUCTION

Depuis les premières tentatives de la pensée rationnelle à expliquer le monde physique, l'« atome » énonce l'hypothèse philosophique de discontinuité de la matière, une thèse épistémologique qui remonte à l'Antiquité et qui suscita depuis des controverses scientifiques et épistémologiques graves. Dans l'enseignement scientifique du second degré, le thème de l'atome occupe une place capitale, grâce aux performances explicatives du concept, et aussi unificatrices, grâce à sa fécondité interdisciplinaire (physique, chimie, biologie). La problématique de notre travail doctoral, qui est de nature comparatiste, porte sur le rapport entre le savoir d'ordre social, tel qu'il émerge des représentations sociales d'élèves français et grecs, et le savoir institutionnel, tel qu'il est prescrit par les instances éducatives puis développé dans les manuels de physique-chimie, dans les deux systèmes d'enseignement, en collège et en lycée.

Le plan de cette thèse s'articule autour de quatre parties, elles aussi découpées en chapitres. Plus particulièrement, la première partie « Problématique pratique » a pour objectif de délimiter la présence du thème de l'atome dans l'institution scolaire (programmes et autres prescriptions officielles, mais aussi manuels de sciences, français et grecs), ainsi qu'en société, c'est-à-dire dans les différentes manifestations humaines, idéologiques, culturelles, etc. Seront également exposées l'évolution historique de ce concept scientifique et une courte présentation des modèles de l'atome élaborés au fil des temps, les plus couramment évoqués dans les manuels scolaires.

La deuxième partie, « Problématique théorique », vise à circonscrire le champ théorique sur lequel s'appuie triplement notre approche : théorie des situations didactiques, théorie anthropologique du didactique, théorie structurale des représentations sociales. Nous allons discuter aussi la question du rapport au savoir, de plusieurs points de vue : didactique, microsociologique, etc. Des sections sur le sujet du manuel scolaire pour l'enseignement scientifique et sur la nature du discours véhiculé vont clore cette deuxième partie.

Nos démarches méthodologiques font l'objet de la troisième partie, « Problématique et méthode ». Y sont posées les questions de recherche et nos hypothèses que nous formulons après avoir pris en compte l'état des lieux à partir de l'effectuation d'une révision de littérature sur les conceptions des élèves à propos de l'atome, telles que recensées dans des travaux français, grecs et internationaux. Parallèlement, nous nous attachons à décrire les caractéristiques des deux populations enquêtées (élèves français et

grecs issus de deux régions géographiques), les outils de recueil des données (entretiens, dessins, questionnaires, grille d'analyse de manuels) et les techniques de leur traitement, tant au plan représentationnel que transpositif.

Enfin, dans la quatrième partie, « Résultats et discussion », nous présentons et discutons nos résultats issus des phases de la pré-enquête et de l'enquête principale. Pour clore, nous relatons les limites et les contraintes pesant sur notre approche. Dans une perspective de recherche, nous élaborons les ébauches d'une ingénierie didactique qui permettrait de franchir quelques obstacles didactiques repérés, relatifs à l'apprentissage du savoir autour de l'atome.

PARTIE 1

PROBLÉMATIQUE PRATIQUE

CHAPITRE 1 : L'« ATOME » DANS L'INSTITUTION SCOLAIRE

Le premier chapitre vise à circonscrire le contexte éducatif et la place du thème d'enseignement « atome », dans le secondaire, en France et en Grèce. Il est articulé autour des questions suivantes :

- Les caractéristiques de l'enseignement des sciences physiques et chimiques dans les systèmes éducatifs français et grec ;
- les relations entre les disciplines distinctes physique et chimie dans le secondaire grec ;
- les instructions institutionnelles à l'égard du thème d'enseignement « atome », dans les deux systèmes éducatifs.

1.1 L'enseignement des sciences physiques et chimiques dans les systèmes éducatifs français et grec

Le présent paragraphe a pour objectif de circonscrire la structure de l'éducation secondaire dans les deux systèmes éducatifs, français et grec, et, plus particulièrement, de délimiter l'enseignement des sciences physiques et chimiques (désormais notées SPC).

S'agissant du système éducatif secondaire inférieur, à savoir le collège, dans le cas grec, il accueille des élèves à partir de l'âge de 12 ans (grade 7) et est organisé sur trois niveaux de classe : A' de Gymnassion, B' de Gymnassion et Γ' de Gymnassion. Avant la rentrée 2013, les programmes de la classe d'entrée, la A' de Gymnassion, ne prévoyaient aucun enseignement de physique-chimie, mais depuis la rentrée 2013, la discipline « physique » en fait partie. Il est à noter que dans tout le second degré, la physique et la chimie constituent deux disciplines séparées et autonomes, une question sur laquelle nous reviendrons plus longuement. Côté secondaire français, le collège est articulé autour de quatre niveaux de classe, de la sixième – qui accueille des élèves de 11 ans (grade 6) – à la troisième (élèves de 15 ans). Les petits français commencent à s'initier aux SPC en cinquième. En conséquence, si la classe de sixième du collège français peut correspondre à la « terminale » de l'école primaire grecque, les classes de cinquième, quatrième et troisième correspondent respectivement aux A', B' et Γ' de gymnassion grec. Au lycée, qui est organisé sur trois niveaux de classe, aussi bien en France qu'en Grèce, les équivalences entre les niveaux de classe peuvent être établies comme suit : aux classes françaises de

seconde, première et terminale correspondent les classes grecques de A', B' et Γ' de Lykeion (cf. Lycée), respectivement. Autre point commun, les programmes élaborés pour le premier niveau de classe (la seconde française ou la A' de Lykeion grecque) sont destinés à tous les élèves. De fait, les élèves français de la seconde (grade 10) suivent en commun les mêmes programmes d'enseignement français. Il en est de même pour les élèves des classes A' de Lykeion, c'est-à-dire que les différentes séries de baccalauréat n'arrivent qu'à partir de la première française ou de la classe B' de Lykeion grecque. Le système éducatif français offre les séries de baccalauréat général suivantes : littéraire (désormais notée L) ; économique et sociale (ES) ; scientifique (S). Une partie de l'enseignement est commune dans toutes les trois séries, alors que des disciplines spécifiques au profil de chacune d'elles entrent en jeu. L'enseignement de physique-chimie est obligatoirement dispensé uniquement aux élèves de la série S, les autres élèves sont, dès la première ES et L, éduqués sur quelques aspects utilitaires, une sorte d'enjeux sociétaux, résultant des sciences physiques et du vivant, tels que « Nourrir l'humanité », « Le défi énergétique », etc.

D'une manière analogue, dans le secondaire supérieur grec, on peut recenser trois « orientations », autrement dit, trois séries de baccalauréat suivantes : « orientation classique » qui correspond à la série L ; « orientation positive » qui correspond à la série S ; « orientation technologique » qui, néanmoins, n'a pas les mêmes caractéristiques que la série française ES. Décrivons brièvement les critères à partir desquels ont été conçues les différentes séries. Il s'agit, comme on s'en doute, de la correspondance entre ces séries et les filières universitaires auxquelles leurs programmes préparent. Ainsi, l'« orientation classique » (où sont enseignées les lettres, l'histoire, etc.) prépare les élèves aux facultés universitaires de lettres, d'archéologie, de droit, etc. L'« orientation positive » débouche notamment sur les métiers de médecin, biologiste, chimiste, physicien, géologue, etc. En son sein sont spécialement enseignées les disciplines dites « positives » (dans le contexte grec), soit les mathématiques, la physique, la chimie et la biologie. Enfin, l'« orientation technologique » prépare, entre autres, aux filières de l'informatique, aux Écoles Polytechniques et, secondairement, aux métiers scientifiques précédemment cités. Ses programmes contiennent aussi des mathématiques et de la physique (même matière enseignée que celle de l'orientation S), mais la chimie et la biologie sont remplacées par d'autres disciplines appropriées au domaine. Dans les programmes grecs concernant tous les niveaux de classe et toutes les orientations, on peut relever un enseignement de physique et de chimie, selon deux modalités : physique et chimie de culture générale,

destinées à tous les élèves indépendamment de la série suivie et, physique et chimie de culture spécifique, dispensés aux élèves de l'orientation L. Les élèves de l'orientation positive (S) suivent donc des cours de physique et de chimie, tout au long de leur scolarité au lycée. Ceux de l'orientation technologique (désormais notée T) sont dispensés de la chimie de culture spécifique, tout comme les « littéraires » qui ne suivent que la physique et la chimie de culture générale, mais sur les trois années du lycée. (À partir de la classe A' de Lykeion, une réforme des programmes grecs est mise en œuvre en 2013 et sera achevée en 2016. Son esprit principal va vers l'atténuation des programmes considérés « lourds » pour, par exemple, la terminale L où la physique est actuellement enseignée). Nous concluons que les élèves grecs, quel que soit leur parcours suivi au lycée, ne se trouvent jamais détachés la physique, au moins de la culture générale en physique, dont ce dernier programme de terminale aborde le thème de l'atome (cf. §1.3.1.12). Au contraire, les élèves français des séries ES et L n'ont étudié l'atome qu'une seule fois, en classe de seconde.

Après avoir esquissé la place de l'enseignement des SPC dans les deux systèmes éducatifs ciblés, passons maintenant à la question de la spécialité du professeur en charge de cet enseignement et à sa formation initiale. S'agissant du cas grec, les matières scolaires de physique, chimie, biologie, géographie, géologie et ressources naturelles (et les options astronomie et biochimie) désignent une famille de disciplines qualifiées de « sciences physiques ». Cette nomenclature tire son origine du domaine académique grec où les Départements de Physique, Chimie, Biologie, Informatique, etc. et celui des Mathématiques constituent les différentes composantes de la faculté des « sciences positives ». Par conséquent, tout un chacun diplômé en sciences positives – durée d'études de quatre ans, *i.e.* niveau « bac + 4 » – est autorisé à candidater au concours de recrutement national pour un poste de Professeur de second degré, puis à devenir soit professeur des mathématiques, s'il est issu du Département éponyme, soit professeur des sciences physiques, s'il a obtenu un diplôme délivré par un des Départements de Physique, Chimie, Biologie et Géologie. Soulignons que dans ce deuxième cas, le lauréat est, d'après la législation éducative, affecté sous le statut de Professeur des sciences physiques. Ceci dit quel que soit son parcours ou sa formation initiale, le nouveau professeur est par définition apte à enseigner à la fois, par exemple, la physique en classe de A' de Lykeion, la chimie en B' de Lykeion, la biologie et la biochimie en terminale S, et ainsi de suite. Même, tous les professeurs des sciences physiques exerçant en collège et en lycée composent la

branche nommée « 04 », déclinée en spécialités « 0401, Physiciens¹ », « 0402, Chimistes », « 0403, Biologistes » et « 0404, Géologues ». Cette cacophonie législative qui consiste à charger un titulaire d'un diplôme obtenu par un Département de Physique (donc, sans la moindre formation en biologie) à enseigner la biologie ou un autre, issu d'un Département de Géologie (avec une formation en physique rudimentaire), à enseigner la physique est, en réalité, plus ou moins atténuée à l'intérieur des établissements, notamment dans les lycées. Effectivement, avant la rentrée, le proviseur et l'équipe pédagogique se préoccupent de disposer, autant que possible, des différentes spécialités (par exemple, à travers des enseignants vacataires), sans que cela soit toujours garanti. Ainsi, ce n'est pas rare qu'un diplômé en Physique enseigne aussi la chimie et inversement. Cependant, l'éventualité (institutionnellement anticipée) qu'un biologiste ou un géologue soit chargé des cours de physique reste, au plan pratique, essentiellement non envisageable. Cette réalité paradoxale soulève la question des postures épistémologiques différentes, notamment, entre les trois sciences physiques les plus représentées à l'école : physique, chimie et biologie. Pour mieux illustrer la situation, il convient d'emprunter à Kuhn (1962 / 2008) qui avance un exemple pour illustrer la bifurcation du physicien et du chimiste. En d'autres termes, le fait qu'un même phénomène peut être différemment interprété sous le prisme de deux paradigmes coexistants, mais incompatibles sur le point suivant : l'atome d'hélium est-il une molécule ? Le chimiste répond affirmativement, puisqu'une quantité de l'atomes d'hélium se comporte conformément à la théorie cinétique des gaz. Par ailleurs, pour le physicien la réponse est catégoriquement « non », car cet atome ne dégage aucun spectre moléculaire. Chaque science traite du monde avec le langage que la communauté scientifique a élaboré en son sein et qu'elle considère comme valable à un moment donné. Subséquemment, les cadres épistémologiques (même en partie) différents confèrent à la chimie et à la physique des rôles spécifiques ou même des significations différentes.

Pour ce qui concerne le contexte français, toute personne intéressée par le métier d'enseignant du second degré doit intégrer un Master MEEF 2^{de} degré (Métiers de l'Enseignement, de l'Éducation et de la Formation) offert par les ESPE (École Supérieure du Professorat et de l'Éducation) et préparant aux concours de recrutement. Le parcours « Enseignement des sciences physiques et chimiques » de ce cursus accueille des étudiants ayant une licence, de préférence scientifique, parmi les suivantes : Mathématiques,

¹ En contexte français, le label « Physicien », « Chimiste », etc. a un usage académique désignant le chercheur, l'universitaire en le domaine. En contexte grec, il est aussi utilisé comme synonyme du terme « titulaire d'un diplôme universitaire en physique », etc.

Informatique, Physique, Mécanique, Chimie, Biologie, Sciences de la Vie et de la Terre, Sciences et Technologies, Mathématiques et Informatique appliquées aux sciences humaines et sociales, etc., pour ne citer que quelques-unes des mentions offertes dans le cadre de la faculté des Sciences de l'Université d'Aix-Marseille (cf. sitographie, lien 16). Certes, la maîtrise des champs disciplinaires des sciences physiques et chimiques constitue une des compétences exigibles et à évaluer au cours de la formation.

1.2 La physique et la chimie dans le secondaire grec

Contrairement au cas français où les thèmes relevant du champ des sciences physiques et chimiques font l'objet d'étude de la discipline scolaire appelée « physique-chimie », dans le collège et le lycée grecs l'enseignement de ces thèmes est à la fois assuré par deux disciplines, la physique et la chimie, séparées en tout point de vue : programmes et objectifs, emploi du temps, manuels, épreuves et évaluations et, parfois, enseignants. Seul lieu de rencontre, le laboratoire de sciences dans lequel se trouvent des instruments, dispositifs, maquettes, solutions, spécimens minéraux, etc. relevant de différentes disciplines scientifiques. Tout ce matériel stocké vise à « rappeler » à l'élève le caractère holistique de la science, à l'encontre du découpage artificiel du savoir. Les deux disciplines opèrent donc de façon indépendante l'une de l'autre, même quand les thèmes d'étude sont communs. À ce titre, elles créent « un contexte classique d'enseignement disciplinaire 'compartimenté' » (Hannoun, 2008, p. 111).

D'un point de vue historique, dès la constitution du système éducatif grec, entre 1834-37, est décrétée la discipline mêlée « Physique, histoire naturelle et principes de chimie ». Celle-ci fut remplacée, en 1909 – et à l'issue d'une certaine période où le terme « chimie » n'apparaît pas dans les programmes –, par la discipline « Physique expérimentale et chimie ». À l'Université, la Chimie devient une filière autonome depuis 1920, mais l'école continue à enseigner la discipline unifiée de « Physique - Chimie » jusqu'à la rentrée 1961. Dès lors, les programmes des deux dernières classes du secondaire, et seulement pour les élèves orientés vers les sciences exactes et les mathématiques (cf. la terminale S, de nos jours), comprennent la « Chimie » comme discipline séparée de la Physique. La matière amalgamée « Physique - Chimie » se retrouve au sein des classes « littéraires ». La discipline « Chimie » se généralise depuis 1964 – hormis la période de la dictature, 1967-74, où est rétablie partout l'ancienne

modalité « Physique - Chimie » – et depuis 1977, la « Chimie » sera enseignée dans l'enseignement de second degré, de manière indépendante. Enfin, la réforme de 1985 vise, entre autres, à renforcer les heures d'enseignement consacrées à la chimie.

Pour revenir à la situation actuelle, les deux disciplines coexistent en milieu scolaire, avec la physique qui prévaut du point de vue du nombre des heures hebdomadaires et s'adresse à un nombre d'élèves plus vaste. Au contraire, l'enseignement de la chimie est plus restreint dans les programmes. Cette coexistence ne peut assurément pas laisser conclure à une approche d'interdisciplinarité scolaire (Lenoir, 2008) ni à une perspective de transdisciplinarité autour de thèmes scientifiques. Puisque, ces thèmes restent morcelés et délimités aux frontières de chacune des deux matières, sans transferts de démarches, de méthodes et de concepts (Fourez, 2002, p. 108).

La consultation des documents d'accompagnement (Journal officiel de la République Grecque, 1999, p. 4616, 4617, 4630 ; 2003, p. 1803, 1804) permet d'envisager la question des relations entre les deux disciplines à l'intérieur de l'institution scolaire. Ainsi que nous l'avons déjà signalé, un certain nombre de thèmes se trouvent abordés à la fois par les programmes de physique et de chimie. C'est le cas de la structure et classification de la matière, des états physiques et des processus de changement d'un état de matière à l'autre, des lois des gaz et de la thermodynamique, du modèle atomique, etc. Nous nous centrons sur ce dernier thème que nous prenons comme fil conducteur afin de répertorier les objectifs d'enseignement considérés au sein de chacune de deux disciplines. En effet, l'atome arrive au collège grec tout d'abord en chimie (classe B' de Gymnasion, correspondant à la 4^e du collège français). L'atome en tant que composant structural de la matière, ses constituants, sa différenciation de la molécule et de l'ion, les notions de numéro atomique et de nombre de masse et l'interprétation microscopique des réactions chimiques s'y donnent pour objectifs à atteindre.

En physique, est mise en évidence l'idée que la matière s'organise autant à l'échelle macroscopique que microscopique et que les phénomènes d'ordre macroscopique (diffusion de chaleur, courant électrique, évaporation, etc.) trouvent leur explication au sein du modèle corpusculaire de la matière. Quant à la première classe du lycée (A' de Lykeion, ou seconde française), les objectifs sont établis autour de l'acquisition de connaissances et compétences telles que : constituants de la matière (atomes, molécules, ions) ; structuration atomique en couches et propriétés des particules subatomiques ; configuration électronique (règle de l'octet) ; comportement chimique et arrangement des éléments dans le tableau périodique en fonction du numéro atomique ; liaisons chimiques.

En physique de terminale (toutes séries confondues), l'élève doit connaître les modèles de Thomson, Rutherford, Bohr, avec leurs réussites et échecs. De même il doit savoir exprimer les postulats de Bohr pour l'atome d'hydrogène, extraire la formule de l'énergie et représenter le diagramme des niveaux d'énergie et les mécanismes d'excitation et d'ionisation. Enfin, il doit savoir décrire le noyau atomique (A_ZX), ses composants et les forces nucléaires, à définir les isotopes, la radioactivité, etc. Pour clore cette liste, les objectifs exclusivement associés aux programmes de chimie en terminale S sont les suivants : émergence des notions d'orbitale et de nuage électronique conséquences de l'idée de dualité particule - onde ; signification des nombres quantiques ; principe d'Aufbau² ; formule électronique en lien avec la période et le groupe d'un élément dans le tableau périodique ; domaines *s*, *p*, *d* et *f* de ce tableau ; formules électroniques de Lewis.

Par conséquent, nous constatons une sorte de parcellisation du savoir, en ce sens que, d'une part, la chimie travaille les objectifs portant sur l'interprétation des liaisons et des réactions chimiques à travers la formule électronique des éléments ; d'autre part, les objectifs en physique se centrent sur la modélisation atomique et les phénomènes physiques ainsi expliqués. Cependant, on peut repérer des recouvrements redondants, notamment sur la configuration électronique ou la description microscopique des états de la matière, comme si les deux disciplines s'ignoraient réciproquement tout en parlant du même concept. Chacune d'elles semble lutter pour affirmer sa spécialisation envers l'atome. Depuis très longtemps, le stéréotype que la physique est la discipline mère et incontestable traverse, dans la tradition académique, des générations d'étudiants, potentiellement futurs enseignants, inspecteurs, auteurs de manuels et, plus généralement, cadres d'éducation - sujets noosphériques.

En définitive, cette parcellisation du savoir dans un milieu de cloisonnement disciplinaire pourrait provoquer des obstacles aux élèves confrontés au savoir sur l'atome, compte tenu des cadres épistémologiques associés : la chimie étant la science qui étudie les phénomènes chimiques, cohérents aux changements dans la consistance des corps ; la physique s'intéressant aux phénomènes physiques, au cours desquels la matière ne subit pas de transformation dans sa nature. Or, la pensée de sens commun peut glisser, présumons-nous, de la double conception d'un « atome chimique », relatif à la première série de phénomènes à un « atome physique », consubstantiel à la seconde. Malgré tout,

² Le mot allemand Aufbau signifie construction. Ce principe inclut le principe d'exclusion de Pauli, la règle de Hund et le principe d'énergie minimale (ou, plus communément, règle de Klechkowski), tous employés pour construire la configuration électronique d'un atome.

dans un contexte interdisciplinaire effectif, les deux matières, physique et chimie, contribueraient à une vision holistique du savoir et *in fine* du monde inerte.

Très brièvement, l'esprit de la discipline unifiée de physique-chimie dans l'éducation en France est de mettre en évidence la collaboration des deux sciences académiques, distinctes du point de vue méthodologique, pour l'interprétation des phénomènes. Et le fait que les phénomènes du monde réel sont complexes, non explicables sur la base d'une simple loi, telle que la loi des gaz parfaits par exemple. Le gaz parfait n'existant tout simplement pas, plusieurs considérations ont été prises en compte pour l'amélioration de ce modèle et son adaptation la plus proche possible au comportement des gaz réels. En revenant à la discipline physique-chimie, la conception moderne pour la classe de seconde consiste en de nouveaux programmes au sein desquels la matière est organisée « par thèmes qui ne relèvent pas de la discipline mais d'un champ d'application [santé, sport, etc. favorisant] le passage d'une question et / ou interprétation du point de vue de la physique ou de la chimie à une question et / ou interprétation qui vient de la vie quotidienne ou professionnelle et inversement. » (Tiberghien, 2011, p. 197).

1.3 Instructions institutionnelles

Cette section a pour objectif d'exposer les instructions institutionnelles, véhiculées dans les programmes, les bulletins officiels, les documents d'accompagnement et autres circulaires, relatifs à l'enseignement de physique-chimie principalement au collège et au lycée, dans les deux systèmes éducatifs considérés, français et grec.

1.3.1 Système d'enseignement grec

L'institut de technologie de l'information et d'éditions « Diophante », partenaire officiel du Ministère de l'éducation nationale grec, a élaboré un portail web (cf. sitographie, lien 7) à l'usage d'élèves, d'enseignants, de parents, d'inspecteurs, de conseillers pédagogiques et, plus généralement, de toute personne s'intéressant à l'enseignement primaire et secondaire grec. Parmi ces ressources, la page web « Manuels scolaires interactifs » englobe, sous forme numérique, tous les manuels didactiques (approuvés par « Diophante », puis distribués aux élèves sous forme papier) de l'école

primaire, du collège et du lycée (général et technologique). De plus, l'utilisateur du site peut y trouver des documents de nature institutionnelle (noosphérique) relatifs à la description des contenus d'enseignement, aux objectifs didactiques à atteindre au sein d'une discipline, etc. Cinq entrées – « Description et objectifs » ; « Manuels – HTML non enrichit » ; « Manuels – HTML enrichit » ; « Paquet didactique – format pdf » ; « Photodentro » – sont offertes par discipline (et par niveau de classe) dont l'avant-dernière comporte le manuel d'élève, le guide et le cahier d'expériences (pour la chimie, par exemple), le glossaire et le fichier des enregistrements sonores (pour l'enseignement des langues étrangères), le livret du Professeur, les errata et les programmes (« ΔΕΠΠ-ΑΠΣ », en grec, pour « Cadre unifié interdisciplinaire de programmes d'études - Programmes d'études analytiques »). On trouve même, dans la partie des ressources destinées à l'élève, celles qui concernent les élèves amblyopes.

Dans ce qui suit, nous retenons de ce site les éléments noosphériques portant sur l'enseignement de l'atome, notamment au collège et au lycée général. Cette présentation étant organisée à partir des prescriptions didactiques, telles exprimées dans le livret du Professeur, nous renvoyons au manuel scolaire correspondant au programme en question, si celui-ci fait partie du corpus des manuels que nous analysons plus longuement (cf. chapitre 15).

1.3.1.1 École primaire

Le programme de la classe de « E' Dimotikou » – à savoir, l'avant-dernière classe de l'école élémentaire grecque (grade 5, élèves de 11 ans) qui correspond à la classe de CM2 française – vise à initier les petits élèves aux sciences expérimentales, terme incluant les sciences physiques et chimiques et les sciences naturelles, la considération du monde physique étant donc unificatrice. Dès le premier chapitre, « Corps matériels », du manuel d'élève titré « Je recherche et je découvre », il est question de la structure de la matière avec l'arrivée des mots « molécule », « atome », « élément », « composé chimique », « proton », « neutron » et « électron ». Dans le livret d'Instituteur et, plus particulièrement, dans la partie relative aux thèmes de savoir à enseigner, ne sont pas commentés les contenus d'enseignement, mais seulement les expérimentations prévues. En la matière il y en a trois qui portent sur le volume, la masse et la densité des corps. C'est pourquoi, nous allons circonscrire brièvement la façon dont apparaissent tour à tour les concepts

précédemment cités dans le manuel d'élève. Premièrement, depuis le paragraphe intitulé « Les corpuscules microscopiques de la matière », on peut extraire :

- « molécule » : « Si l'on sépare les constituants d'un mélange et on se met à diviser un constituant à des bouts de plus en plus petits, on arrivera à un moment donné à la molécule, la plus petite partie d'un composé chimique qui conserve ses propriétés. » ;
- « atome » : « Les molécules sont constituées de corpuscules plus petits, les atomes. » et plus bas, « En agrandissant [les molécules au microscope] un milliard de fois environ et en observant bien, on découvrirait que les molécules sont elles-mêmes constituées de corpuscules de matière plus petits, qu'on nomme des atomes. » ;
- « élément » et « composé chimique » : « On peut classer les corps purs en deux catégories principales : les éléments, quand les molécules sont constituées d'une espèce de l'atomes et les composés chimiques, lorsque les molécules contiennent différents atomes. » ;
- « proton », « neutron » et « électron » : Les rédacteurs remontent à l'Antiquité, avec le postulat de discontinuité de la matière de Démocrite et l'interprétation étymologique du mot « atome ». Puis, ils insistent sur la petitesse des atomes : « La matière est composée de corpuscules microscopiques si petits que des milliards d'entre eux peuvent entrer dans la composition d'une tête d'épingle. » Ensuite, ils parlent de la structure interne des atomes, comme suit : « Cependant, même les atomes sont constitués d'autres corpuscules, plus petits – et sur ce point, Démocrite avait tort –, les protons et neutrons qui forment le noyau de l'atome et les électrons qui gravitent autour du noyau. Les protons et neutrons sont aussi constitués d'autres corpuscules plus petits, les quarks. Aujourd'hui, on considère les quarks et les électrons comme élémentaires, c'est-à-dire comme les fondements de la matière dans toutes ses formes. C'est surprenant, mais c'est vrai ! La diversité énorme des corps physiques est basée sur trois corpuscules seulement, l'électron et deux quarks différents³. »

Deuxièmement, le paragraphe qui a comme titre « Comment symbolise-t-on les composés chimiques » donne les symboles de certains éléments (O, H, C, N, Au, Hg) et

³ La physique théorique admet qu'il existe six sortes différentes de quarks, appelées « saveurs ».

explique ce que signifie la formule d'un composé chimique (H₂O, etc.). Nous citons de manière indicative les passages suivants :

Comme les éléments sont constitués d'une espèce de l'atomes, leur notation est identique à celle de l'atome les composant. L'oxygène est symbolisé par la lettre O, l'or par Au, et ainsi de suite. [...] Les lettres [dans la formule d'un composé chimique] indiquent l'espèce de l'atome que contient la molécule et un indicateur à leur côté montre le nombre des atomes en question. Par exemple, la molécule de dioxyde de carbone contient un atome de carbone et deux atomes d'oxygène, donc on écrit CO₂.

Enfin, les sections examinées d'où sont extraites ces citations sont illustrées à partir de certains éléments iconiques, comme les suivants :

- Image d'un microscope ;
- Aimant et bouts de fer ;
- Notes musicales et lettres de l'alphabet ;
- Série d'images prises au microscope où apparaît l'agrandissement graduel de la surface d'une canette de boisson, jusqu'aux briques élémentaires de l'aluminium ;
- Maquettes de molécules éclatées et colorées ;
- Dessins illustrant l'agitation des briques structurales dans les trois états physiques ;
- Figure de l'atome avec le noyau et les électrons, en rotation ellipsoïdale autour.

En fin de chapitre, les définitions des termes « molécule », « atome », etc. ont été reprises sous forme d'accroche, dans un « Glossaire ».

Comme nous l'avons signalé, on ne trouve pas d'instructions à propos des contenus d'enseignement dans le livret d'Instituteur. En revanche, sa première partie contient quelques éléments didactiques théoriques relatifs à l'épistémologie scolaire des sciences physiques, aux objectifs à atteindre, au rôle de l'enseignant, aux modèles pédagogiques à adopter, à la question des genres face à l'éducation scientifique, etc. Cependant, dans un paragraphe intitulé « Proposition pour se référer au micromonde », on peut lire que :

une approche interprétative des phénomènes viserait à établir une vision unificatrice et cohérente de notre monde [...] donc il faut se référer au micromonde. La fragmentation artificielle des phénomènes et leur découpage en thèmes distincts, dans l'étude de l'élève, peuvent être relativisés grâce à des explications communes des divers phénomènes qu'offre l'approche microscopique, c'est-à-dire la structure du micromonde, les interactions entre ses corpuscules et leurs mouvements. La stimulation de la curiosité et de la disposition de recherche de la part de l'élève peut ainsi être satisfaite par l'étude et la connaissance supplémentaires : celles des processus physiques au niveau microscopique, invisibles à l'œil nu et inconnus chez la plupart des gens, donc stupéfiants.

Par conséquent, bien qu'à ce niveau d'enseignement domine l'approche descriptive des phénomènes, une approche interprétative microscopique du monde physique est également, mais facultativement, recommandée.

Les programmes de la dernière classe du primaire (grade 6, élèves de 12 ans) n'abordent pas le thème de l'atome. Ainsi, nous passons aux instructions noosphériques à propos de ce thème, adressées aux enseignants de collège et de lycée.

1.3.1.2 « A' de Gymnasion »

Depuis la rentrée 2013, les élèves débutant le collège s'initient à la physique, puisque cette discipline fait partie des programmes de la classe de « première » du collège grec. Comme le titre du manuel l'indique, « La Physique à partir d'expériences », l'objectif principal du programme officiel est d'établir chez les élèves la méthode scientifique, *via* l'approche d'enseignement basée sur les démarches d'investigation. Sont développés des thèmes de savoirs, tels que le mesurage de grandeurs physiques (longueur, temps, etc.), les états physiques de l'eau, l'électricité et le magnétisme, etc. Pour ce qui nous intéresse ici, le programme aborde le lien entre les effets du macromonde et le micromonde. En conséquence, le manuel clôt avec une annexe intitulée « Le micromonde constitue et explique le macromonde ». Nous en citons certains passages caractéristiques, notamment ceux qui ont trait à l'atome :

[...] tous les corps de la matière – solides, liquides et gazeux – sont constitués de minuscules corpuscules. Les plus gros de ces derniers, les molécules, sont à leur tour constitués d'un ou plusieurs atomes dans lesquels il y a un noyau autour duquel existent de corpuscules plus petits, les électrons. Plus particulièrement, dans les métaux, les molécules sont formées à partir d'un atome dont certains de ses électrons ont échappé et circulent entre les autres atomes ; dans le cas là l'atome est appelé un ion.

Les positions et le mouvement des molécules ou d'ions et d'électrons dans les métaux déterminent et expliquent les états physiques et les propriétés des corps matériels. [...] Si l'on sait les positions et le mouvement des corpuscules du micromonde (que l'on ne peut « voir » qu'à l'aide des dispositifs scientifiques spécifiques) on peut expliquer beaucoup des phénomènes du macromonde. [...] nous avons créé des simulations pour « voir » sur l'écran de l'ordinateur les positions et les mouvements des corpuscules.

Extrait du manuel « La Physique à partir d'expériences », 2013, p. 57.

Ensuite, les auteurs indiquent un lien internet (<http://micro-kosmos.uoa.gr>) où les élèves peuvent trouver des ressources supplémentaires sur la modélisation de la matière, comme un logiciel d'animations, des diverses activités proposées, des références bibliographiques,

etc. À titre indicatif, ils illustrent, dans l'annexe concernée, les trois états ordinaires de la matière par des animations issues de ce logiciel où est modélisée l'agitation des « molécules (ou des atomes solitaires dans les métaux), en mouvement vibratif continu et désordonné », en fonction de la température.

1.3.1.3 « B' de Gymnasion », Chimie

Avec la chimie de cette classe (qui correspond à la quatrième du collège français), les élèves s'initient essentiellement au savoir relatif à la structure de la matière. Dans l'avant-propos du programme concerné, nous lisons que les leçons de chimie proposent « un voyage séduisant depuis le monde que l'on aperçoit, le macromonde, vers le monde qu'on ne voit pas, le micromonde. » La deuxième partie de l'ouvrage (cf. G39c4, tableau 2Ca, annexe 4) est intitulée « De l'eau à l'atome – Du macromonde au micromonde ». Les objectifs noosphériques (adressés à l'élève, par l'intermédiaire du Professeur) portant, plus ou moins immédiatement, sur le thème de l'atome sont fixés comme suit (nous extrayons du programme officiel) :

1. Que tu décrives les principales étapes dans l'évolution historique des conceptions sur la discontinuité de la matière (les atomes et les molécules) ;
2. Que tu définisses l'atome et la molécule ;
3. Que tu distingues les molécules des éléments chimiques des molécules des composés chimiques ;
4. Que tu représentes les molécules à l'aide des simulations ;
5. Que tu interprètes une réaction chimique au niveau atomique et moléculaire ;
6. Que tu dénommes les constituants des atomes et que tu relates les caractéristiques principales des corpuscules subatomiques ;
7. Que tu définisses le numéro atomique et le nombre de masse d'un atome ;
8. Que tu donnes la définition des ions ;
9. Que tu donnes des exemples de substances constituées à partir de l'atomes, molécules, ions ;
10. Que tu interprètes la conductivité de certaines solutions ;
11. Que tu reconnais et écrives les symboles de certains éléments et composés chimiques ;
12. Que tu détermine la consistance chimique et la proportion de l'atomes de composés chimiques simples à partir de leurs formules moléculaires ;
13. Que tu représentes certaines réactions chimiques simples avec de simulateurs de molécules et des équations chimiques.

Le programme termine par les mots clés de cette partie de l'enseignement : éléments chimiques, simulateurs, atomes, molécules, notation, formules moléculaires, proportion de

l'atomes, équation chimique, coefficients stœchiométriques, conservation du nombre de l'atomes, conservation de masse.

Le « livret du Professeur », partie intégrante du curriculum de chimie pour la classe B' de collège, consacre une page et demie aux « malconceptions – idées alternatives des élèves » autour de l'atome. Sont ainsi recensées les conceptions dominantes qui s'accompagnent de consignes pour leur franchissement (« thérapies proposées », selon le langage mis en place). Les conceptions répertoriées sont les suivantes :

1. On peut voir les atomes au microscope.
- Franchissement : pour apercevoir la petitesse des atomes, molécules et ions, les élèves sont invités à envisager que l'épaisseur d'un cheveu humain est égal à 10^6 atomes mis côte à côte ;
2. Les atomes relèvent du vivant (parce qu'ils bousent). Ce sont comme les cellules, avec une membrane et un noyau.
- Franchissement : la vibration des atomes est due à l'énergie qu'ils contiennent. Les atomes ne présentent pas les caractéristiques des êtres vivants (énergie pour subsister, prolifération, etc.). Le noyau de l'atome et le noyau de cellule sont des notions absolument différentes l'une à l'autre ;
3. Les atomes sont des « petits morceaux de solide » ou des « petites gouttes de liquide », à savoir qu'ils ont un état physique.
- Franchissement : les élèves attribuent des propriétés macroscopiques à chacun des atomes ou molécules. L'enseignant doit souligner que l'état physique ou la couleur, etc. des corps sont des traits imputables à un système (ensemble) de plusieurs atomes ou molécules. Il peut encore illustrer ceci par « l'analogie qu'un nombre d'individus considérés séparément correspond à un statut différent que lorsque ces mêmes individus forment un groupe, par exemple, la classe. » ;
4. Les électrons gravitent autour des atomes comme les planètes autour du Soleil.
- Franchissement : à remarquer que le mouvement des électrons est beaucoup plus complexe de la simple trajectoire circulaire autour du noyau. Références historiques des idées concernant le mouvement des électrons dans l'atome ;
5. Les électrons de l'atomes déférents sont eux aussi différents.
- Franchissement : il n'existe pas de différentes espèces d'électrons. Tous les électrons sont identiques, avec la même masse et la même charge. Par ailleurs, l'atome n'a pas à « sa possession » des électrons qui soient les siens. Ceux-ci peuvent se transférer d'un atome à l'autre, à la manière qu'on peut construire n'importe quel immeuble à partir des mêmes briques ;
6. Les molécules des solides sont dures, tandis que celles des gaz molles. - Les molécules des solides sont grosses, tandis que celles des gaz petites. - Les molécules des solides sont cubiques, tandis que celles des gaz rondes. - Les molécules des solides ont une masse supérieure à celle des molécules des gaz.
- Franchissement : le professeur fait comprendre que la forme, la taille et la masse des molécules ne changent pas d'un état physique à l'autre. Les états physiques se manifestent de façons différentes, non parce que les molécules changent, mais que les interactions entre les molécules sont différentes ;
7. Lors du réchauffement d'une substance, ses molécules se dilatent, agrandissent.
- Franchissement : l'agitation des molécules augmente en fonction de la température et donc la substance, dans son ensemble, s'étend ;
8. La réaction chimique n'est qu'une mixture fortuite des corpuscules. Les corpuscules d'une substance sont cernés par les corpuscules de l'autre.

- Franchissement : la consistance chimique de tout composé est stable tant qualitativement que quantitativement.

Le document noosphérique, qu'est le livret du Professeur, propose certains projets d'enseignement à propos de sujets de savoir à enseigner. Plus particulièrement, pour le thème « atomes et molécules », sont recommandés de manière indicative les procédés didactiques que synthétise le tableau 1.1 ci-dessous. Ces démarches visent à atteindre les cinq premiers objectifs cités précédemment.

Tableau 1.1 : Projet pour la leçon « Atomes et molécules », B' de collège

Étapes	Procédés didactiques indicatifs	Moyens d'illustrations et matériel
1) Rappel du caractère corpusculaire de la matière	On rappelle aux élèves que la matière est constituée des corpuscules. Est-ce que les phénomènes qu'illustrent les diapositifs peuvent s'expliquer par l'existence des corpuscules ? - Oui. Des molécules du parfum se dispersent dans l'air (diap. 1) ; « des corpuscules du liquide qui bouille passent de l'état liquide à l'état gazeux » ⁴ (diap. 2).	Diapositive 1 (se sentir une rose, cf. manuel scolaire) ; Diapositive 2 (un liquide qui bouille, cf. manuel scol.)
2) Problématique sur la nature des corpuscules constituant la matière	On explique aux élèves qu'au cours d'effets, comme la décomposition de l'eau, les substances subissent une transformation radicale (par exemple, à partir d'une substance initiale se produisent deux nouvelles). Que deviennent alors les corpuscules de la matière ?	Diapositive 3 (électrolyse de l'eau, cf. manuel sc.)
3) Exégèse de la décomposition de l'eau	Les élèves travaillent en groupes, chacun disposant de deux maquettes de molécules d'eau, faites de modèles (maquettes) de l'atomes sphériques. Le professeur tient une maquette de molécule d'hydrogène et une autre, d'oxygène. Il leur demande de construire des maquettes de molécules d'hydrogène et d'oxygène. Il est attendu d'en monter deux pour le dihydrogène et une pour le dioxygène.	Simulateurs de l'atomes (d'hydrogène et d'oxygène) et de liaisons chimiques
4) Distinction entre corpuscules et simulateurs de corpuscules	On lance la question suivante : quelle est la différence évidente entre les modèles sphériques de l'atomes et les corpuscules réels ? - En effet, c'est la taille. Les corpuscules de la matière sont minuscules, donc invisibles. Pour comprendre leurs transformations, on a recours à des modèles, maquettes, etc.	—

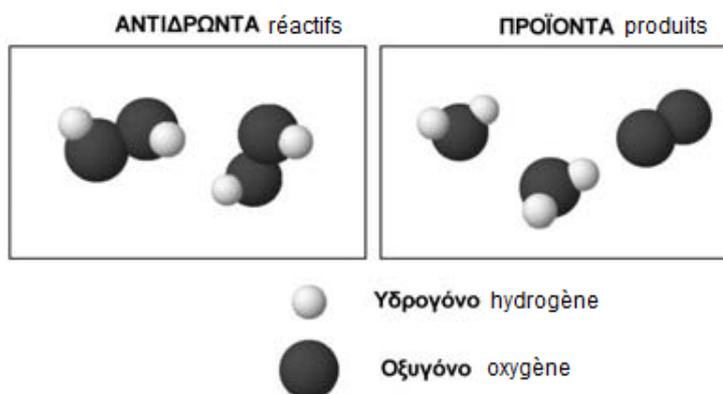
⁴ Cette expression manque de rigueur, étant donné que ce ne sont pas les molécules qui ont un état physique précis, mais la matière que leur ensemble désigne. Bien évidemment, il s'agit ici d'une partie du liquide qui change d'état physique, lors de l'ébullition.

<p>5) Les atomes et les molécules</p>	<p>On évoque que les corpuscules constituant l'eau, l'oxygène et l'hydrogène sont appelés les atomes. Les élèves sont invités de préciser – à partir des maquettes – les espèces de l'atomes différentes qui participent à la décomposition de l'eau [Deux], ainsi que les compositions qu'ils ont remarquées au cours de la réaction ch. simulée par les maquettes de l'atomes [Trois]. Ces compositions produisant des molécules, des différentes substances ont des molécules différentes. Le professeur demande aux élèves de montrer une molécule d'eau, une molécule d'hydrogène et une d'oxygène, puis, de répondre combien de l'atomes contient chaque molécule. Donc, les atomes sont-ils constitués de molécules ou bien l'inverse ? Enfin, on pose leur la question si, durant la réaction de décomposition de l'eau, les molécules se sont transformées [Oui] et si les atomes se sont transformés [Non].</p>	<p>Simulateurs de l'atomes (d'hydrogène et d'oxygène) et de liaisons chimiques</p>
<p>6) Revue des conceptions historiques autour de l'atome</p>	<p>On projette la diap. 1 et on explique que la première référence historique à l'idée de l'atome est due à Leucippe et Démocrite, au 5^e siècle. av. J.-C. On projette la diap. 2 et on commente qu'au 19^e s. Dalton reprend l'hypothèse atomique pour interpréter le fait que lors de la composition de substances à partir d'autres, plus simples, la masse totale du système est invariable. La théorie atomique de Dalton constitue une des plus importantes théories des sciences physiques.</p>	<p>Diapositive 1 (buste de Démocrite, cf. manuel sc.) ; Diapositive 2 (buste de Dalton, cf. manuel sc.)</p>
<p>7) Éléments et composés chimiques</p>	<p>On pose aux élèves les questions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Parmi les molécules d'eau, d'hydrogène et d'oxygène, lesquelles contiennent des atomes semblables ? • Quelles molécules sont donc simples ou élémentaires ? [Celles d'hydrogène et d'oxygène] ; • Il s'agit des molécules des éléments chimiques. Comment alors peut-on définir l'« élément » ? [La substance dont les molécules sont faites à partir de l'atomes identiques] ; • Quels atomes peut-on appeler des atomes d'hydrogène, d'oxygène ? <p>On explique que des substances, comme l'eau les molécules de laquelle contiennent des atomes différents, sont qualifiées de composés chimiques. Une proposition à compléter par les élèves : « L'eau est un composé ch. parce que... [Ses molécules sont constituées à partir de l'atomes de différents éléments].</p>	<p>Simulateurs de l'atomes (d'hydrogène et d'oxygène) et de liaisons chimiques</p>

8) Simulation et modélisation	<p>Les simulateurs précédemment manipulés, pour représenter la décomposition de l'eau, constituent une sorte de modèle. La Chimie, les sciences physiques et d'autres sciences ont très souvent recours à des modèles, tels que :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Divers modèles du corps ; • Des modèles d'édifices ; • Des modèles de processus météorologiques ; • Les simulations de molécules et de l'atomes. <p>On demande aux élèves de donner d'autres exemples de modèles scientifiques. On explique qu'un modèle sert à :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enseigner ; • Communiquer ses idées ; • Prévoir ; <p>Les élèves sont incités de décrire la manière dont les modèles précités sont utilisés.</p>	<p>Un modèle d'oreille ; Diapositive 1 (mod. d'un gratte-ciel) ; Diapositive 2 (mod. d'une carte météorologique montrant une dépression)</p>
9) Évaluation	Les élèves complètent la fiche d'évaluation.	Fiche d'évaluation

Nous citons ensuite cette fiche d'évaluation que propose le livret du Professeur :

Le peroxyde d'hydrogène se décompose selon le schéma suivant (c'est nous qui traduisons) :



Répondez aux questions suivantes :

1. Quelles molécules existent dans les réactifs ?
2. Quelles molécules existent dans les produits ?
3. Parmi ces molécules, lesquelles sont des molécules d'éléments et lesquelles de composés chimiques ?
4. Quels atomes constituent chacune des molécules précédentes ?
.....

Après avoir exposé le projet d'enseignement relatif à l'atome, passons maintenant au projet associé au thème « corpuscules subatomiques – ions », tel qu'élaboré par les concepteurs du programme d'enseignement. Les objectifs travaillés vont du 6^e au 10^e (cf. liste d'objectifs précitée).

Tableau 1.2 : Projet de la leçon « Corpuscules subatomiques – Ions », B' de collège

Étapes	Procédés didactiques indicatifs	Moyens d'illustrations et matériel
1) Problématique	<p>On demande aux élèves de frotter le stylo avec un chiffon bien sec et de l'approcher de petits bouts de papier. Les papiers sont attirés par le stylo.</p> <p>...</p> <p>Les corpuscules qui procurent l'électrisation s'appellent les électrons. On explique qu'ils proviennent de l'intérieur de l'atome. Donc, contrairement aux idées de Dalton, l'atome n'est pas fixe, insécable.</p>	Stylo en plastique et petits morceaux de papier
2) Grâce à la charge électrique, l'atome reste cohérent	<p>Comme les papiers se collent au stylo, l'atome est aussi un système contenant des particules chargées de façon opposée. On projette la diap. 1, puis on explique que :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les électrons possèdent une unité de charge négative (- e) ; • Les protons possèdent une unité de charge positive (+ e) ; • Les neutrons ne sont pas chargés. 	Diapositive informant sur les charges et les masses des corpuscules subatomiques
3) Positions des corpuscules subatomiques	<p>Bien que simpliste, l'analogie entre le système solaire et l'atome peut illustrer sa constitution. Au centre de l'atome il y a le noyau (avec des protons et neutrons), à la manière du Soleil au centre du syst. planétaire. Les électrons pivotent autour du noyau à la manière des planètes autour du Soleil. On souligne aux élèves que le noyau occupe un espace très petit dans l'atome. Analogie : si atome = stade, noyau = ballon de ping-pong à son centre.</p>	Diapositive (photo du stade Olympique d'Athènes, cf. manuel sc.)
4) La masse et la charge de l'atome	<p>On projette la diapositive et on explique qu'elle représente les particules constituant l'atome de lithium. On questionne les élèves :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comptez le nombre d'électrons, protons et neutrons constituant cet atome ; [3, 3, 3] ; • Le nombre de protons est toujours égal au nombre d'électrons. Donc, est-ce que l'atome est chargé ? [Non, car il a autant d'unité de charge positives que négatives] ; • Comment est répartie la masse de l'atome ? De manière homogène ou accumulée au centre ou dispersée en périphérie ? [Accumulée au centre] ; • Et, pourquoi ? [Parce que les protons et neutrons, de masse beaucoup plus importante de celle des électrons, se trouvent au centre de l'atome]. 	Diapositive (dessin de l'atome de Li, cf. manuel sc.)
5) Numéro atomique et nombre de masse	<p>On définit, auprès des élèves, le numéro atomique Z et le nombre de masse A, puis on pose l'exercice suivant :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pour un atome qui a 19 p, 20 n et 19 e, précisez les Z et A. 	—

6) Les ions	<p>On incite les élèves d'imaginer que l'on enlève un électron de l'atome de l'exercice précédent. Quelle sera alors la charge du corpuscule envisagé ? « [19 (+) + 18 (-) = 1 (+)] »⁵ On explique que ce nouveau corpuscule est chargé positivement et appartient aux cations.</p> <p>Les élèves ensuite sont invités à calculer la charge d'un atome constitué de 8 p et 8 e si on lui ajoute deux électrons. « [8 (+) + 10 (-) = 2 (-)] » On explique que ce nouveau corpuscule est chargé négativement et appartient aux anions. Les cations et les anions sont une nouvelle catégorie de corpuscules, les ions.</p> <p>On pose la question : quels corpuscules (atomes, électrons ou neutrons) ont-ils une masse comparable à celle des ions ? [Les atomes, car les ions ont quelques électrons en moins ou en plus].</p>	—
7) Expérience : conductivité électrique dans la solution aqueuse de sel de cuisine		
8) Interprétation : le NaCl contient des ions qui, en solution aqueuse, se déplacent vers les électrodes et conduisent le courant électrique. On conclut que l'eau salée est conductrice.		
9) Consistance de diverses substances	On répète aux élèves que les diverses substances sont constituées de molécules, atomes et ions.	Diapositive (tableau des substances, cf. manuel sc.)
10) Évaluation	Les élèves complètent la fiche d'évaluation.	Fiche d'évaluation

Nous citons la fiche d'évaluation :

Complète le texte suivant :

Un atome de sodium contient 11 protons et 12 neutrons. Il a comme numéro atomique et comme nombre de masse Le noyau atomique est composé de et de Cet atome a électrons.

Un ion de cet atome a comme charge +1. Cet ion est constitué de protons, de neutrons et de électrons.

Ensuite, le tableau des démarches didactiques préconisées pour ce qui concerne le projet d'enseignement autour du thème « symboles d'éléments et de composés chimiques » apparaît ci-dessous. Ces procédés visent à faire acquérir par les élèves les trois derniers objectifs.

⁵ Cette formule arbitraire, comme d'ailleurs la suivante dans la même case, les deux étant citées dans le livret du Professeur, ne relèvent d'aucun registre sémiotique admis. Nous conjecturons que les auteurs ont tout simplement voulu formuler en quelque sorte les processus technologiques propres à la tâche proposée. Cependant, ils risquent de faire s'importer par leurs destinataires ces formules dans la classe, notamment par les professeurs de biologie ou de géologie (cf. §1.1).

Tableau 1.3 : Projet pour la leçon « Symboles d'éléments et de composés chimiques »,
B' de collège

Étapes	Procédés didactiques indicatifs	Moyens d'illustrations et matériel
1) Première rencontre avec les formules	Les formules chimiques O_2 , H_2O , etc. représentent une molécule de dioxygène, d'eau, etc.	—
2) Décryptage d'une formule moléculaire	<p>On invite les élèves de confronter la formule O_2 avec le modèle moléculaire de dioxygène et on leur pose la question que signifie l'indice de 2 ? [Que la molécule est constituée de deux atomes d'oxygène]. Puis, on les questionne comment peut-on symboliser un atome d'oxygène. [Avec un O].</p> <p>On explique aux élèves la formule H_2O pour l'eau et on la compare avec la maquette appropriée. On lance les questions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comment symbolise-t-on les atomes d'hydrogène ; [Avec un H] ; • Que signifie l'indice de 2 dans H_2O ? [Qu'il existe 2 atomes d'H dans la molécule de l'eau] ; • Quel indice doit porter le symbole pour l'O ? [1]. <p>On remarque que l'indice de 1 est toujours omis dans les formules.</p> <p>À partir de la maquette du dihydrogène, on cherche la formule correspondante [H_2].</p>	Trois modèles moléculaires (maquettes) pour le dioxygène, l'eau et le dihydrogène
3) Symboles d'éléments	On explique que le symbole O représente un atome d'oxygène, mais aussi l'élément de l'oxygène, en général. On leur demande de donner le symbole de l'élément de l'hydrogène	Tableau des symboles des éléments les plus ordinaires (cf. manuel sc.)
4) Entraînement à l'écriture de formules	À partir du tableau des symboles d'éléments et du mod. moléculaire de chlore, les élèves essaient d'écrire la formule chimique adéquate. De même pour les autres molécules.	Modèles moléculaires de chlore, hélium, méthane, dioxyde de carbone et d'ammonie
5) Symbolisation (notation) d'ions simples	<p>On rappelle que les ions se produisent par les atomes. Par exemple, le cation de sodium est Na^+. On pose les questions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quel est le sens du signe « + » ? [Qu'il s'agit d'un cation] ; • Combien d'électron a perdu l'atome de Na ? [1] ; • De manière analogue, que signifie la notation Cl^- ? [Anion de chlore avec une unité de charge négative] ; • Combien d'électrons a perdu ou gagné l'ion de Al^{3+} ? [Il en a perdu 3] ; • Si $Z = 13$, combien de protons et d'électrons a ce cation ? [13 et 10 respectivement]. 	Tableau des symboles d'éléments (cf. manuel sc.)
6) Symbolisation de composés ioniques		
7) Évaluation	Les élèves complètent la fiche d'évaluation.	Fiche d'évaluation

La fiche d'évaluation proposée dans le livret du Professeur est, cette fois, la suivante :

1. Complète le texte qui suit à partir des items suivants :
« composé ionique » ; « cations de zinc et anions d'iode » ; « 1 atome de soufre et 2 atomes d'oxygène » ; « d'iode » ; « soufre et oxygène » ; « atome d'iode » ; « 1 électron de plus » ; « composé moléculaire » ; « de zinc ».

La formule SO_2 symbolise un Celui est composé à partir de Sa molécule est constituée de

La formule $\text{Zn}^{2+}\text{I}^{-1}_2$ symbolise un Celui est composé à partir de Chaque ion a comme charge 2+. L'ion d'iode a par rapport à l'ion de À chacun des cations de zinc dans le composé correspondent 2 anions de

2. Écris un texte comme le précédent, à partir des composés dont les formules sont les suivantes :
 $\text{Ca}^{2+}\text{Cl}^{-1}_2$ et NH_3 .

Enfin, il est nécessaire de nous référer à une étape d'enseignement recommandée, dans le livret du Professeur, qui fait partie intégrante de l'enseignement sur l'équation chimique et qui vise à travailler les objectifs suivants :

1. Représentation de certaines réactions chimiques simples avec des simulations, mais aussi des équations chimiques ;
2. Reconnaissance des réactifs et des produits d'une transformation chimique.

Cette étape, apparemment associée au concept de l'atome, est décrite par le tableau suivant :

Tableau 1.4 : Projet de leçon « Équation chimique », B' de collège

Étapes	Procédés didactiques indicatifs	Moyens d'illustrations et matériel
1) Des mots aux symboles chimiques pour des réactifs et des produits		
2) Écriture de formules chimiques		
3) Conservation des atomes	Nous équilibrons l'équation de la décomposition de l'eau en soulignant qu'au cours d'une transformation chimique les atomes sont conservés ; pas de disparition de l'atomes ni de production de nouveaux atomes. Puis, on enseigne comment on peut mettre les coefficients stœchiométriques sur l'exemple : $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$	—
4) Évaluation	Les élèves complètent la fiche d'évaluation.	Fiche d'évaluation

La fiche d'évaluation consiste à demander aux élèves d'équilibrer les trois équations suivantes :

1. $C + O_2 \rightarrow CO_2$;
2. $Na + Cl_2 \rightarrow NaCl$;
3. $N_2 + H_2 \rightarrow NH_3$

Le livret du Professeur se clôt par les réponses correctes aux exercices proposés et l'usage indicatif du CD-Rom didactique, livré aux élèves avec le manuel. Pour ce qui concerne le thème d'enseignement « Corpuscules subatomiques – Ions », sont prévues deux animations sous forme de quiz, les « Numéro atomique et nombre de masse » et « Formation d'ions ».

1.3.1.4 « B' de Gymnasion », Physique

Le thème de l'atome n'est pas abordé par le programme de physique des classes de quatrième de collège. Cependant, dans le manuel scolaire, nous trouvons une référence au niveau microscopique de la matière, sous le titre « Étude microscopique des changements d'état physique ». Dans cette section, il est question des « modèles microscopiques » et des « briques structurales » de la matière, avec des illustrations adéquates. Enfin, parmi les objectifs didactiques décrits dans le livret du Professeur, on peut relever les suivants :

- Que les élèves décrivent le changement d'état d'un corps au niveau microscopique et à l'aide du langage de l'énergie ;
- Qu'ils décrivent l'évaporation au niveau microscopique.

Par la suite, sont proposés des procédés didactiques pour atteindre ces objectifs. S'adressant à la première personne du singulier, les rédacteurs conseillent le professeur de la classe :

J'introduis des modèles microscopiques simples pour la description de la structure d'un corps solide, d'un liquide et d'un gazeux. Je demande aux élèves d'employer les notions d'énergie cinétique, énergie dynamique, chaleur, température et le rapport entre la température et l'énergie cinétique des briques structurales du corps, afin de décrire au niveau microscopique les effets de changement d'état.

1.3.1.5 « Γ' de Gymnasion », Chimie

Le programme de chimie de la dernière classe du collège (correspondant à la classe de troisième du collège français) porte, parmi d'autres thèmes de savoir, sur la classification périodique des éléments. En conséquence, des connaissances sur la structure atomique sont indispensables pour que l'élève comprenne le tableau périodique et apprenne la loi de périodicité, basée sur le critère du numéro atomique des éléments.

Nous nous attachons maintenant à dépouiller le livret du Professeur pour circonscrire le contexte noosphérique dans lequel l'enseignant va agir avec ses élèves. La première partie du document contient des éléments théoriques, tels que la méthode scientifique, les modèles didactiques (Gagné, Bruner, Ausubel, etc.), la fixation d'objectifs didactiques, l'approche interdisciplinaire du savoir, l'évaluation, etc. Dans la deuxième partie, les auteurs spécifient par chapitre les objectifs à atteindre, les moyens d'enseignement, les tests d'évaluation proposés, etc. En préambule, est annoncé et justifié le modèle pédagogique (didactique) choisi par les auteurs dans le développement noosphérique du chapitre « Classification des éléments ». Il s'agit d'une approche inspirée des modèles de Gagné et Joyce-Well. Nous empruntons à la circulaire des instructions (*i.e.* livret du Professeur) quelques extraits qui présentent un intérêt dans notre étude. Tout d'abord, les objectifs définis et toujours en lien avec le thème de l'atome sont les trois suivants :

1. Que les élèves énoncent la loi de périodicité ;
2. Qu'ils interprètent la classification des éléments dans le tableau périodique ;
3. Qu'ils repèrent, dans le tableau périodique, les éléments qui ont des propriétés similaires.

Au cours de la première phase du déroulement de l'enseignement, l'« Exploration des connaissances prérequis », le livret recommande une

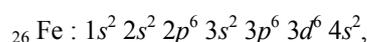
concertation avec les élèves sur les atomes, les molécules, les particules subatomiques et leur charge, les ions et leur création, le numéro atomique, les éléments et leur notation (suivant les instructions inhérentes à la classe de quatrième).

En ce qui concerne les conceptions des élèves, le livret du Professeur souligne que l'importance de l'enseignement consiste à reformuler les connaissances des apprenants, issues du vécu et de l'expérience quotidienne, vers le savoir admis par la communauté scientifique. Puis et sous le paragraphe « Malconceptions éventuelles des élèves », les auteurs en relatent deux, tout en prescrivant la façon de les dépasser :

- Les atomes ou les molécules des éléments sont colorés. Discussion sur les propriétés macroscopiques et microscopiques [de la matière] afin que les élèves aperçoivent que la couleur appartient aux premières.
- Les ions ont les mêmes propriétés avec les atomes. Comme exemple, on peut se référer à la dissolution [des copeaux] de zinc dans la solution d'acide chlorhydrique.

Les consignes relatives aux étapes d'enseignement suivantes ne renvoient pas à l'atome, mais en fin de section et dans la section « Renseignement pour le Professeur », on peut lire :

Dans le tableau périodique moderne, la position d'un élément est déterminée par les électrons d'une énergie la plus élevée. La période est déterminée par la couche externe et le groupe par la sous-couche à laquelle est placé le dernier électron. Par exemple, le fer qui a comme formule électronique la suivante :



a comme couche externe la couche $n = 4$ donc, se place à la 4^e période ; de plus, son dernier électron se trouve à une sous-couche d (c'est le sixième de la $3d$), à savoir le Fe se trouve au 8^e groupe. En bref, chaque groupe du tableau périodique comporte des éléments dont la configuration électronique est comparable, mais la valeur du nombre quantique n varie. C'est par exemple le cas des éléments du 16^e groupe ($ns^2 np^4$) et du 2^e groupe (ns^2).

Enfin, sont proposés un court test d'évaluation de l'enseignement (qui ne présente pas d'intérêt concernant l'atome), ainsi que les devoirs pour la maison, à partir du manuel scolaire et du cahier des travaux.

1.3.1.6 « Γ' de Gymnassio », Physique

Bien que le programme de physique de cette classe du collège (correspondant à la classe de troisième du collège français) inclue le thème « Phénomènes nucléaires – Noyau » que le manuel scolaire développe dans deux chapitres, ceux-ci restent systématiquement hors enseignement, suite aux circulaires précisant la matière à enseigner, administrés avant la rentrée par le Ministère de l'éducation. Ainsi, l'atome ne fait pas directement partie du programme effectif de la troisième. Néanmoins, parmi les objectifs didactiques généraux figure la compétence des élèves à interpréter tous les effets électriques, en utilisant le modèle de la structure de la matière. De plus, l'enseignement exige des connaissances sur la structure atomique, notamment à propos des paragraphes « La charge des électrons à l'intérieur de l'atome » et « Modes d'électrisation et leur interprétation microscopique », du premier chapitre du manuel cité, intitulé « Force

électrique et charge ». Il en est de même quant au premier paragraphe, « Le courant électrique », du deuxième chapitre. Le livret du Professeur, dans une section intitulée « Conception générale et structuration de la 1^{ère} partie » (*i.e.* groupement des trois premiers chapitres du manuel, sous le label « Électricité – Circuits électriques simples ») relate entre autres :

il est nécessaire de faire émerger l'économie et le caractère unificateur des termes du langage scientifique. Pour atteindre cet objectif il faut s'appuyer sur trois axes : [...] c) Des phénomènes du macromonde qui se relèvent de structures microscopiques (par exemple, courant électrique, effet de Joule, etc.) sont interprétés à l'aide de modèles microscopiques simples.

[...]

Il faut se référer à la structure de la matière et souligner que la charge électrique constitue une caractéristique de ses particules structurales (électrons - protons). [...] À décrire également la structure microscopique des isolants et des métaux.

S'agissant des idées alternatives des élèves autour de l'électricité – mais toujours en rapport avec notre objet d'étude qu'est l'atome –, on peut remarquer que d'après le livret du Professeur, la confusion qu'ils font entre l'électron et charge électrique et la conception que c'est la source du circuit (générateur) qui produit des électrons. Dans le « projet d'enseignement » conçu par les rédacteurs du livret du Professeur, il est proposé de projeter une diapositive illustrant l'analogie entre les forces de gravitation (Soleil - Terre) et les forces électriques (noyau atomique - électron). La même figure est d'ailleurs incluse dans le manuel scolaire (cf. tableau 1Cb, manuel G24p3, annexe 4). Si ces consignes sont associées à la partie regroupant les trois chapitres liés à l'électricité, les auteurs ont, ensuite, l'intention d'explicitier auprès des enseignants, les objectifs fixés et les étapes d'enseignement préconisées par chapitre. Dans ce sens, dès le premier chapitre et, plus particulièrement, le paragraphe « La charge électrique à l'intérieur de l'atome », les objectifs fixés et effectivement travaillés sont au nombre de trois :

1. Que l'élève acquière la compétence de décrire la structure microscopique de la matière et qu'il attribue la charge électrique aux propriétés électriques des électrons et des protons ;
2. Qu'il expose les propriétés de base de la charge en corrélation avec son interprétation microscopique ;
3. Qu'il interprète au niveau microscopique l'électrisation des corps.

Pour ce qui concerne les activités didactiques visant à atteindre les objectifs, nous lisons :

Je demande aux élèves de corréler la charge et les interactions électriques des corps avec leur structure microscopique. Je souligne que la charge est une propriété des particules élémentaires⁶ constituant les atomes des corps. Je décris le modèle atomique et je demande aux élèves de dessiner un atome neutre, un cation et un anion. À partir de ce modèle j'explique la façon dont les corps sont chargés. Étant donné que l'électrisation est due au transfert d'électrons d'un corps à l'autre, j'amène les élèves à inférer deux propriétés principales de la charge : a) La charge se maintient ; b) La charge d'un corps est toujours un multiple de celle de l'électron.

Enfin, il est à noter que les paragraphes ou sous-paragraphes suivants ne sont pas enseignés ou, s'ils le sont, cela l'est de manière rudimentaire :

- Conducteurs et isolants (sujet enseigné sans recours au modèle microscopique) ;
- Électrisation par influence ;
- La loi d'Ohm et le micromonde ;
- Interprétation microscopique de la résistance d'un conducteur métallique.

Après avoir terminé le répertoire des instructions institutionnelles concernant l'enseignement de l'atome, aux niveaux du primaire et du secondaire inférieur, passons maintenant au niveau du lycée.

1.3.1.7 « A' de Lykeion », Chimie

La première classe par laquelle les grecs débute le lycée (grade 10) accueille des élèves de 15 ans, donc elle correspond à la seconde du lycée français. De manière comparable dans les deux systèmes d'enseignement envisagés, français et grec, le thème de l'atome constitue une matière à enseigner au sein des programmes de cette classe et, cela, auprès de tous les élèves : en effet les séries de baccalauréat ne sont définies qu'à partir de l'année scolaire qui suit. Quant au lycée grec (rentrée 2013), le thème de l'atome se trouve « horizontalement » étudié, c'est-à-dire, auprès de tous les élèves, en vertu du programme de chimie de seconde, tout comme de celui de physique de terminale, toutes séries confondues (mais on y reviendra plus loin).

Le livret du Professeur, qui accompagne le manuel scolaire de chimie (cf. G38cTS, tableau 2Ca, annexe 4), est organisé en trois parties :

⁶ Nous traduisons à la lettre pour rendre compte avec la meilleure exactitude possible du contexte noosphérique. Cette pratique permet de déceler le degré de rigueur scientifique dans le langage employé. Ici par exemple, les protons auxquels font allusion (avec les électrons) les auteurs ne sont pas de particules élémentaires.

1. Partie générique où sont présentés la structure du manuel scolaire, les axes principaux de l'éducation chimique au lycée, les consignes didactiques pour l'enseignement, etc. ;
2. 1^{re} partie spécifique, dans laquelle sont explicités les objectifs fixés pour chaque chapitre ou paragraphe de chapitre, les démarches didactiques préconisées à l'enseignant, les exercices adéquats pour s'entraîner et certaines références bibliographiques (y compris des ressources anglophones) ;
3. 2^e partie spécifique, consacrée aux expériences de chimie prévues par le programme pour être réalisées en laboratoire scolaire.

Pour ce qui nous concerne, nous allons puiser quelques éléments de nature noosphérique, issus notamment de la première partie spécifique du livret du Professeur. Ces citations sont extraites de certaines sections d'enseignement étroitement liées au thème de l'atome. Plus précisément :

1. Unité d'enseignement « Corpuscules structuraux de la matière – Structure de l'atome » (chap. 1, « Connaissances de base »). Les objectifs à atteindre sont les suivants :
 - Que l'élève reconnaisse les atomes, molécules et ions comme les particules structurales de la matière. Qu'il donne leurs définitions ;
 - Qu'il décrive la masse relative, la charge et la position dans l'atome des particules subatomiques (protons, neutrons, électrons) ;
 - Qu'il définisse le numéro atomique, le nombre de masse et les isotopes.

Approche didactique indicative – Phases

PHASE 1 : rappel de connaissances acquises en quatrième (B' de Gymnassion) sous forme de questions permettant ainsi à l'enseignant de constater le degré d'affermissement de la matière y enseignée ;

PHASE 2 : On illustre les particules structurales de la matière à partir d'exemples (les atomes pour le diamant, les molécules pour l'eau et les ions pour le sel). Les élèves sont invités de répondre relativement sur d'autres exemples de substances ;

PHASE 3 : On définit le concept d'atome comme l'entité la plus petite structurant la matière, tout en proposant un survol des idées historiques de Démocrite à la mécanique quantique. Puis, on définit aussi les concepts de molécule et d'ion et on projette des diapositives de simulations de molécules et de composés cristallins. On demande aux élèves en quoi se diffèrent l'atome et la molécule. Ainsi que l'atome et l'ion (la molécule conserve les propriétés de la matière dont elle est issue ; l'ion est chargé) ;

PHASE 4 : On fournit les caractéristiques des particules subatomiques. On souligne que les protons et neutrons forment un extrêmement petit volume, le noyau de l'atome. Selon la conception moderne, les électrons se trouvent autour du noyau, sous forme de nuage ;

PHASE 5 : On définit le numéro atomique et le nombre de masse et on indique leurs symboles. On remarque que les atomes d'un même élément sont appelés des isotopes et on illustre avec des exemples.

2. Unité d'enseignement « Structure électronique de l'atome » (chap. 2, « Tableau périodique – Liaisons »). Les objectifs à atteindre sont les suivants :

- Que l'élève raconte l'évolution des théories modélisant la structure de l'atome et les considérations modernes. Qu'il décrive le modèle de Bohr, qu'il sache que ce modèle est inspiré de la gravitation constituant une miniature du système planétaire. Qu'il explique que la masse de l'atome se trouve en effet dans un petit espace, le noyau ;
- Qu'il reparte les électrons en couches, qu'il explique ce qu'est le nombre quantique principal et qu'il définisse les électrons de valence comme ceux qui sont les plus éloignés du noyau et donc attirés très peu.

Approche didactique indicative – Phases

PHASE 1 : On clarifie que le concept d'atome joue un rôle fondamental aussi bien en Physique qu'en Chimie. Cependant, on ne peut pas voir les atomes, même au microscope le plus puissant, parce que leur dimension est de milliers de fois plus petite que la longueur d'onde de la lumière. On admet l'existence des atomes grâce à des preuves théoriques et expérimentales indirectes ;

PHASE 2 : On lance une révision historique des connaissances à propos de l'atome, à partir de l'hypothèse de Démocrite (5^e s. avant J.-C.) de discontinuité de la matière. On énonce les points principaux de la théorie atomique de Dalton (19^e s.) et on incite les élèves de repérer des éléments communs et des différences entre les deux approches. On leur demande aussi d'expliquer les raisons de ce recul (2000 ans) entre les deux théories. Ensuite, on décrit l'expérience de Rutherford et ses résultats, c'est-à-dire que l'atome est presque vide, sa masse étant concentrée au noyau. On développe le modèle de Bohr en expliquant les notions d'orbite, de couche, d'une grandeur physique quantifiée et de nombre quantique principal. On projette une transparence illustrant le modèle atomique de Bohr. Enfin, on commente que le prix Nobel de Chimie 1998 a été décerné à des travaux portant sur la structure atomique. Puis, on lit des extraits à partir des encadrés du manuel scolaire (« La matière : continue ou discontinue ? » ; « On a dit de l'atome... ») puis, on attend les commentaires des élèves ;

PHASE 3 : On décrit les règles de remplissage des couches électroniques. On souligne que ces principes de structuration des électrons ne sont valables que pour les vingt premiers éléments (numéro atomique de 1 à 20). On donne des exemples de configuration électronique d'un atome à partir de son numéro atomique. On projette une transparence illustrant la répartition des électrons en couches et on remarque que la structuration électronique présente une périodicité, ce qui est, finalement, exprimé dans le tableau périodique.

3. Unité d'enseignement « Classification des éléments (Tableau périodique) – Utilisation du tableau périodique » (chap. 2, « Tableau périodique – Liaisons »).

Parmi les objectifs à atteindre le suivant nous concerne particulièrement :

- Que l'élève connaisse le principe de structuration du tableau périodique en corrélation avec la configuration électronique des atomes. Au-delà, qu'il associe le comportement chimique d'un élément à sa position dans le tableau périodique.

Approche didactique indicative – Phases

[...]

PHASE 4 : On évoque que le principe de structuration du tableau périodique moderne est propre à la logique de la structure électronique des atomes. On propose un exemple où étant donné le numéro atomique, est demandée la configuration électronique d'un atome, puis sa place dans le tableau périodique. Inversement, on cherche le numéro atomique d'un élément dont la position (période et groupe) dans le tableau périodique soit donnée. [...]

4. Unité d'enseignement « Introduction à la liaison chimique – Déterminants du comportement chimique de l'atome. Types de liaisons chimiques » (chap. 2, « Tableau périodique – Liaisons »). Parmi les objectifs à atteindre le suivant nous concerne particulièrement :

- Que l'élève interprète le concept de liaison chimique. Qu'il reconnaisse que le comportement chimique des éléments et, par extension, la nature de la liaison chimique dépendent notamment : du nombre des électrons de valence et, de la taille de l'atome (rayon atomique).

Approche didactique indicative – Phases

PHASE 1 : [Les gaz nobles sont inertes chimiquement] On remarque que les atomes de certains éléments se trouvent dans un état d'énergie très stable imputable à leur couche externe, complètement remplie d'électrons. C'est pourquoi les atomes se lient chimiquement entre eux par perdre, gagner ou partager des électrons afin d'acquérir la structure des gaz nobles (règle d'octet). Enfin, on montre l'importance du rayon atomique dans la formation du tel type de liaison chimique ;

[...]

PHASE 3 : [Liaison covalente] On fait comprendre que la paire d'électrons commune se ne délimite pas autour de l'un ni de l'autre atome, mais s'étend comme un filet couvrant les deux atomes à la fois. [...]

Nous passons outre les instructions concernant le concept de nombre d'oxydation, car associé plutôt à la notion d'ion et d'élément chimique, et non pas au savoir lié à la modélisation de l'atome auquel nous nous intéressons dans notre étude. Ainsi, nous arrivons à la fiche d'évaluation que le livret du Professeur suggère et nous citons ci-après les épreuves qui sont consubstantielles à notre problématique :

[...]

2. Calculez le numéro atomique d'un élément de la famille des halogènes, se situant en la troisième période du tableau périodique.
3. Les éléments A, B et C ont comme numéro atomique $Z = 4, 8$ et 17 , respectivement. Expliquez quel type de liaison est possible entre eux [considérés par paires].

5. Unité d'enseignement « Réactions chimiques » (appartenant au chap. 3, éponyme). Bien que les objectifs fixés nous soient indifférents, il convient de noter l'élément d'instruction noosphérique suivant :

Approche didactique indicative – Phases

[...]

PHASE 2 : Tout d'abord on rend clair que les atomes, au cours d'une transformation chimique, ne se détruisent pas, mais qu'ils se réorganisent pour la production de nouvelles substances. Autrement dit, la masse des réactifs est égale à celle des produits, d'après la loi de Lavoisier. [Dans une équation chimique apparaissent] les coefficients adéquats de sorte que tous les atomes d'un même élément soient équilibrés dans les réactifs que dans les produits de l'équation décrivant la réaction.

6. Unité d'enseignement « Notions de base pour les calculs chimiques : masse atomique et masse moléculaire relatives, mole, nombre d'Avogadro, volume molaire » (chap. 4, « Stœchiométrie »). Seul un objectif, celui de la définition de la masse atomique relative, peut être retenu dans notre approche. Les instructions sur l'enseignement en classe nous orientent vers les éléments suivants :

Approche didactique indicative – Phases

PHASE 1 : Au début, on élucide que la petitesse impensable des atomes a conduit à la définition d'une nouvelle unité de masse, l'unité de masse atomique (amu) qui vaut le 1 / 12 de la masse de l'atome de carbone-12, (^{12}C). Donc, $1 \text{ amu} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g}$. Ensuite, on définit la masse atomique relative (nombre pur montrant combien de fois la masse de l'atome d'un élément est supérieure à l'amu) [...].

7. Unité d'enseignement « Calculs stœchiométriques » (chap. 4, « Stœchiométrie »). L'objectif lié à la capacité des élèves d'associer les quantités (masses) des réactifs à celles des produits, en référence à la théorie atomique de Dalton, constitue une intention d'enseignement intéressante, dans notre problématique.

1.3.1.8 « A' de Lykeion », Physique

Le programme de physique pour la seconde développe principalement la mécanique du point matériel. Donc, le thème de l'atome n'est pas concerné. Malgré cela, nous trouvons deux références à l'atome :

- en introduction du manuel scolaire, les modernes définitions du mètre et de la seconde, basées sur des caractéristiques des atomes de ^{86}Kr et de ^{133}Cs , respectivement ;
- à propos du dernier chapitre, dédié aux effets électriques, parmi les objectifs didactiques énoncés dans le livret du Professeur nous lisons relativement au paragraphe « Courant électrique » :

Que l'élève, à l'issue de l'enseignement, appréhende la nature du courant électrique dans les conducteurs métalliques et qu'il associe les perceptions macroscopiques au micromonde de la matière. [...]

Attention à des idées alternatives des élèves, telles que :

- Les électrons du circuit se déplacent très vite (à la vitesse presque de la lumière) ;
- Les charges qui véhiculent dans le circuit sont fournies par la source.

1.3.1.9 « B' de Lykeion », Chimie

À partir de cette classe du lycée général grec (correspondant à la première française), les élèves sont obligés de s'inscrire à l'une des trois séries offertes. Néanmoins, cette séparation est partielle, certaines disciplines traversant horizontalement le programme du tronc commun puisqu'enseignées auprès de tous, indépendamment de la série de baccalauréat suivie. Ainsi, le programme prévoit d'une part, l'enseignement d'une matière de chimie de « culture générale » et, d'autre part, l'enseignement d'une autre matière de chimie de « culture spécifique », dispensée dans la série dite « positive » (*i.e.* scientifique). Les thèmes développés par le programme de chimie de « culture générale » relèvent de la chimie organique (hydrocarbures, pétrole, benzène, alcools, acides carboxyliques, biomolécules, etc.), sans références explicites au concept d'atome. Cependant, certaines remarques issues notamment du livret du Professeur méritent une attention particulière. Plus concrètement :

- Dès l'introduction, il faut noter la configuration électronique qu'adopte l'atome de carbone – quatre électrons célibataires de la couche de valence lui permettant de former des liaisons simples et multiples avec d'autres atomes de carbone ou d'autres éléments – en corrélation avec son rayon atomique (relativement petit), deux facteurs pour lesquels le document noosphérique pose l'objectif didactique que l'élève puisse ainsi raisonner sur le nombre considérable des composés organiques ;
- Ensuite, des diverses équations chimiques (de combustion, d'addition, etc.) traversent les pages du manuel scolaire et évoquent ainsi l'interprétation microscopique du phénomène de transformation chimique, déjà enseignée en chimie en classe de seconde ;
- Enfin, il ne faut pas perdre de vue le nombre important des figures de maquettes de molécules et de macromolécules (illustrées parfois par les distances entre les atomes et les angles entre les liaisons, dans le plan ou dans l'espace), ainsi que celui des formules (développées, semi-développées, stéréochimiques, etc.). On peut relever comme caractéristique la présentation textuelle et iconique (le système pi délocalisé) des conceptions modernes sur la structure du benzène à propos desquelles le manuel scolaire écrit que « les électrons liants des atomes de C forment un nuage électronique délocalisé qui 'attache' les atomes entre eux. » Il en est de même dans le livret du Professeur, pour lequel « nous expliquons [aux

élèves] comment se forme l'anneau de benzène en référence à la théorie de Kekulé, ainsi qu'à la conception moderne (théorie quantique) de nuage électronique délocalisé qui 'attache' les atomes de carbone dans la molécule du benzène. »

D'une manière semblable, le thème de l'atome n'est pas inclus dans le programme de chimie de « culture spécifique ». Mais, comme l'interprétation des phénomènes que cette thématique aborde (états de la matière, forces intermoléculaires, cinétique chimique, etc.) se déduit du modèle corpusculaire de la matière, l'atome s'y trouve inévitablement impliqué. Ainsi, nous procédons à l'inventaire des recommandations principales ou des références en rapport avec l'atome, dégagées du livret du Professeur ou du manuel d'élève :

- À propos du premier chapitre, les auteurs préconisent à l'enseignant d'évoquer la formation des liaisons chimiques, une matière enseignée en chimie de seconde. Dans cet esprit, les élèves sont invités à préciser le type de liaison dans le H_2 , HCl , $NaCl$, etc. « en s'appuyant sur les formules électroniques. » Ensuite, se pose à la classe la tâche d'écrire les formules de Lewis pour les composés H_2O et H_2S ce qui constitue une piste pour l'introduction de la liaison d'hydrogène. Ce type de liaison est représenté, dans le manuel scolaire, entre les molécules d'eau, avec indication des distances entre les atomes impliqués. La discussion de l'« interaction dipôle - dipôle » dans ce même manuel nécessite la référence au mode grâce auquel se répartissent les électrons dans les atomes ; quand il devient momentanément non symétrique, alors il peut entraîner des dipôles instantanés. Cet effet est illustré pour l'atome de l'He avec la légende suivante : « a) Répartition électronique moyenne symétrique dans deux atomes d'He ; b) Formation de dipôles instantanés. » ;
- Pour l'explication du changement d'état de la matière ou pour la loi des pressions partielles (loi de Dalton) ou, encore, pour l'effet de tension superficielle, le manuel scolaire a recours bien entendu au modèle corpusculaire de la matière ;
- Dans ce même livre, il est question de la théorie des collisions entre les molécules, proposée pour expliquer le mécanisme des réactions chimiques. De plus, on y trouve un modèle corpusculaire d'une réaction, illustrant deux cas possibles, l'un pour les chocs efficaces, l'autre pour les chocs inefficaces entre les molécules de monoxyde d'azote et celles de dichlore ($NO + Cl_2$). La légende fait remarquer que la réaction se produit si « les molécules réactives ont l'orientation et la vitesse propices. » ;

- Enfin, nous relevons la définition (ancienne et moderne) des phénomènes d'oxydation et de réduction d'une espèce chimique. À propos de ce savoir, le manuel scolaire précise que l'acquisition de connaissances sur la structure électronique des atomes a permis de penser ces effets en des termes de perte ou de gain d'électrons, respectivement. Au-delà, a été élaboré par les chimistes le concept de nombre d'oxydation. Quant au livret du Professeur, nous lisons, parmi les objectifs fixés pour ce paragraphe, que « l'élève doit connaître la définition de l'oxydation et de la réduction en termes de [...] ; b) de perte ou de gain d'électrons ; c) de changement du nombre d'oxydation. » Il est aussi recommandé à l'enseignant de souligner que ce changement n'est parfois pas dû à un échange d'électrons, mais aux liaisons covalentes polaires qui se forment à l'issue de la réaction d'oxydoréduction.

1.3.1.10 « B' de Lykeion », Physique

Comme on l'a vu en chimie, la physique est également intégrée dans les programmes de cette classe sous forme de deux disciplines séparées : d'un côté, une matière « physique » dite de « culture générale », destinée à tous les élèves et, de l'autre côté, une autre matière « physique » de « culture spécifique », propre aux séries « positive » et « technologique ». En règle générale, le thème de l'atome ne fait pas explicitement partie des programmes relatifs à ces disciplines. Cependant, il y est impliqué, de manière intermédiaire. En parcourant le manuel scolaire de physique de « culture générale », nous pouvons repérer au moins quatre références au modèle de l'atome planétaire : en effet, en introduction au chapitre « Forces entre des charges électriques », le paragraphe intitulé « Structure de la matière – Électron » fournit un modèle de l'atome planétaire (plutôt le modèle de Rutherford) ; ensuite, un paragraphe intitulé « La loi de Coulomb » propose un exercice résolu où est calculée la force électrique, puis la force gravitationnelle entre le proton et l'électron dans l'atome d'hydrogène ; de même, dans le paragraphe intitulé « Énergie électrique potentielle », un autre exercice discute l'énergie cinétique, potentielle et mécanique « de l'électron qui gravite sur la couche K de l'atome d'hydrogène. » ; enfin, plus loin, dans le paragraphe « Champ magnétique », est développée l'interprétation microscopique des propriétés magnétiques des corps, par le fait que l'électron gravite autour du noyau et que, noyau et électron pivotent chacun sur eux-

mêmes. Il est à noter que tous ces savoirs sont illustrés par différentes figures renvoyant toutes au modèle planétaire. Du côté du livret du Professeur, nous trouvons un objectif associé au paragraphe « Champ magnétique », le suivant :

[...] que les élèves connaissent l'origine des propriétés magnétiques des corps [...] est due à la rotation de l'électron autour du noyau et notamment à la rotation sur lui-même (Spin).

La matière que développe le programme de physique de « culture spécifique », destiné aux élèves des séries concernées, n'aborde pas non plus le thème de l'atome. Toutefois, il y a recours au modèle corpusculaire microscopique de la matière – en termes de « molécules des gaz » ou de « sphères infinitésimales parfaitement élastiques » ou de « molécules monoatomiques » – quant il s'agit d'interpréter des effets macroscopiques en thermodynamique (lois des gaz, théorie cinétique, etc.) et en électricité (effets des diélectriques, moment dipolaire, etc.). De surcroît, dans le chapitre « Champ magnétique » et, plus particulièrement, au paragraphe « Applications du mouvement des particules chargées dans un champ magnétique » sont décrits :

- l'expérience de J. J. Thomson (1897) par laquelle ce physicien démontra l'existence de l'électron dans l'atome et mesura la charge spécifique de l'électron (rapport e / m) ;
- le principe du spectromètre de masse (Aston, 1919), un instrument qui permit la découverte des isotopes des éléments.

S'agissant des instructions prescrites dans le livret du Professeur, il serait judicieux de nous retarder sur le passage suivant, relatif aux matériaux diélectriques dont il est question dans le paragraphe « Condensateurs et diélectriques » :

Le champ électrique influe sur les atomes et les molécules du diélectrique suivant deux manières distinctes procurant de fait sa polarisation : il les allonge et les pivote. Quand un atome de diélectrique se place dans le champ électrique, le noyau est pulsé vers le sens du champ, tandis que les électrons vers le sens opposé. Et, si le champ est fort, il peut détacher quelques électrons de l'atome et provoquer son ionisation (dans ce cas-là le matériel devient un conducteur). Si le champ n'est pas assez fort, entre le noyau et les électrons s'établit un équilibre selon lequel le noyau ne se trouve plus au centre du nuage électronique. Dans cet état d'équilibre, la force externe qui tente de séparer le noyau des ses électrons se compense par la force d'attraction entre le noyau et le nuage électronique.

Enfin, parmi les remarques concernant l'expérience de Thomson, on peut lire que :

L'expérience de Thomson décrite dans ce paragraphe n'est pas la méthode la plus exacte pour mesurer la charge spécifique de l'électron, mais qu'elle a une importance historique, parce que c'est grâce à cette expérience qu'il a, pour la première fois, été constaté que les rayons cathodiques sont en effet des faisceaux d'électrons.

1.3.1.11 « Γ' de Lykeion », Chimie

C'est la classe finale du lycée grec qui correspond à la terminale, en France. La chimie est donc dispensée seulement dans deux séries, technologique et scientifique. Pourtant, pour chacune d'elles, les programmes prévoient deux matières de chimie bien différentes. Celle destinée aux élèves de la série technologique n'aborde pas explicitement le thème de l'atome, sauf quelques rappels à propos de :

- types de la liaison chimique et de la nature des forces qui se trouvent à l'origine de la liaison. À ce titre, le livret du Professeur recommande, quant à l'enseignement du chapitre « Acides et bases », d'évoquer à la classe les forces de Coulomb assurant la liaison ionique et la répartition polaire de la charge électronique dans les liaisons covalentes. Ensuite, les élèves sont invités à donner les formules électroniques, d'une part, pour HCl et NH₃ et, d'autre part, pour NaCl et NaOH ;
- la notion d'ion mono et polyatomique, ainsi que le mécanisme de l'oxydoréduction, savoirs prérequis pour l'enseignement de l'électrochimie ;
- enfin, la géométrie des molécules de la chimie organique pour développer le phénomène d'isomérisation. Le document noosphérique souligne relativement que dans cette section nous nous centrons sur « les traits d'architecture de ces molécules qui sont des ensembles de l'atomes arrangés sur les trois dimensions de l'espace. » Il s'ensuit que dans le manuel scolaire on peut identifier nombre de modèles moléculaires, plutôt éclatés pour l'illustration des différentes sortes d'isomérisation.

Par ailleurs, la matière « chimie » conçue pour la série scientifique constitue (au moins jusque l'année scolaire 2013-14, c'est-à-dire avant la dernière réforme du lycée, en Grèce) le fer de lance de l'enseignement du thème de l'atome, en ce sens qu'elle traite de ses aspects ondulatoires, pour initier ainsi les élèves au paradigme probabiliste du micromonde. Dès le premier paragraphe du chapitre concerné – qui est le premier du manuel scolaire (cf. G38cTS, tableau 2Ca, annexe 4), intitulé « Structure électronique des atomes et tableau périodique » – les auteurs introduisent le concept d'orbitale atomique, puis d'orbitale moléculaire. Suivent la définition des quatre nombres quantiques et la

structuration électronique des atomes régie par le principe d'Aufbau (*i.e.* principe d'exclusion de Pauli, règle de Hund et principe d'énergie minimale ou, plus communément, règle de Klechkowski). Dans ce qui suit, nous citons, à partir du livret du Professeur, les principales instructions institutionnelles par unité de savoir, qui s'organisent en cinq parties : objectifs, approche didactique, exercices proposés, organigramme (*flow chart*) et, enfin, bibliographie. Plus spécifiquement :

1. Unité d'enseignement « Orbite – Orbitale ». Objectifs à atteindre :

- Que l'élève soit en mesure d'établir le lien entre ses connaissances antérieures (classe de seconde) et les deux conditions de Bohr et l'équation de Planck ;
- Que l'élève raconte comment on a, à partir de la notion d'orbite de Bohr, abouti à celle d'orbitale en mécanique quantique, en se référant à la théorie ondulatoire de la matière de De Broglie, au principe d'incertitude de Heisenberg et à l'équation de Schrödinger ;
- Que l'élève sache différencier la notion de nuage électronique de celle d'orbitale et qu'il représente les orbitales *s* et *p*.

Approche didactique indicative – Phases

PHASE 1 : Avant de lancer la problématique sur le thème de savoir général à traiter, c'est-à-dire, « la structure de la matière », nous distinguons deux unités d'enseignement : « Structure de l'atome » et « Structure de la molécule », la dernière étant auparavant étudiée sous le titre « Liaison chimique ». Nous informons les élèves que l'atome fait aussi l'objet du programme de physique de la terminale. Ainsi, on met en évidence le lien qui existe entre les deux disciplines. La chimie, il faut le souligner, s'intéresse notamment de l'espace autour du noyau et de la manière dont les électrons « gravitent » et, plus généralement, se répartissent. Comme un test diagnostic, on peut demander aux élèves de donner la configuration électronique de l'atome qui a $Z = 19$. De plus, ils sont incités d'expliquer à partir de quel modèle et de quels principes procèdent-ils. La conversation qui suit permet de développer les divers modèles atomiques et leur efficacité dans l'interprétation des données expérimentales ;

PHASE 2 : Pour souligner l'importance des données expérimentales nous nous référons aux spectres d'émission des éléments et plus précisément à celui de l'hydrogène, connu dès la moitié du 19^e s. (mais, sans interprétation théorique). Ensuite, nous passons à la théorie des quanta [*i.e.* le comportement de l'énergie en quantités discontinues, l'équation de Planck, etc.]. Maintenant, nous décrivons l'expérience, devenue classique, de Rutherford selon laquelle des feuilles d'or ont été bombardées par des particules α . Rutherford a pu élaborer le modèle de l'atome planétaire. Enfin, nous citons les deux conditions de Bohr interprétant de manière théorique ce modèle. On donne la formule de l'énergie de l'électron en fonction des orbites et on démontre la correspondance entre les sauts des électrons et les lignes spectrales dans le spectre atomique de l'hydrogène (pour ce travail Bohr a gagné le prix Nobel. On projette la diapositive « Le modèle atomique de Bohr » On évoque aussi l'expérience des flammes colorées en présence de certains éléments, qui a été réalisée par les élèves en seconde. La couleur de la flamme (fréquence ou longueur d'onde de lumière) a trait aux sauts d'électrons dans les atomes de ces éléments ;

PHASE 3 : On explique les insuffisances théoriques et expérimentales du modèle de Bohr (« mélange » des physiques classique et quantique) relativement à l'interprétation des spectres de l'atomes polyélectroniques à cause des interactions entre les électrons. On introduit la mécanique quantique qui constitue la connaissance moderne sur la structure atomique et moléculaire. On énonce la théorie de De Broglie (ondes matérielles) avec l'équation inhérente, le principe d'incertitude de Heisenberg et on aboutit à l'équation de Schrödinger. Une solution de celle-ci, sous certaines conditions et rapprochements, donne l'énergie de l'électron, ainsi que la probabilité de sa présence autour du noyau. À ce point, on projette la diapositive « Les fondateurs de la conception moderne pour l'atome » ;

PHASE 4 : On clôt cette unité d'enseignement par démolir le modèle planétaire, effectivement assimilable, et par le remplacer avec le concept de densité de nuage électronique. Du déterminisme de

l'orbite de Bohr on passe au probabilisme et à la division de l'espace en couches, sous-couches et orbitales. Projection de la diapositive « Représentation de la densité de nuage électronique (orbitale) pour l'atome d'hydrogène à l'état fondamental ».

2. Unité d'enseignement « Nombres quantiques ». Objectifs à atteindre :

- Que l'élève connaisse les nombres quantiques et les valeurs qu'ils peuvent obtenir ;
- Qu'il sache que tous les électrons d'une même sous-couche ont les mêmes valeurs dans les deux premiers nombres quantiques (n et l), tandis que les électrons appartenant à la même orbitale partagent les mêmes trois nombres quantiques (n , l et m_l), mais qu'ils se différencient à propos du nombre quantique de spin, m_s ;
- Que l'élève connaisse que dans chaque orbitale peuvent se placer au plus deux électrons dont le spin est opposé.

Approche didactique indicative – Phases

PHASE 1 : Au cours de cette phase, les nombres quantiques sont introduits de façon qualitative, autrement dit, comme étant des solutions arithmétiques de l'équation complexe de Schrödinger. On explique que les deux premiers nombres quantiques, n et l , expriment l'énergie de l'électron dans l'atome, déterminée à la fois par l'attraction du noyau et par la répulsion qu'exercent les « autres » électrons. Pour la compréhension des nombres quantiques on utilise des exemples analogues, tels que les quatre chiffres affichés sur un billet de football précisant la place exacte et unique de son possesseur. Ainsi, on peut préparer les élèves pour le principe d'exclusion de Pauli qui suivra ;

PHASE 2 : Ici, les concepts auraient dû être définis de manière plus rigoureuse. On met l'accent sur le passage de la simple orbite de Bohr à la notion de *couche* ou *écorce*. La distance entre le noyau et l'électron conditionne, parmi d'autres facteurs, l'intensité de l'attraction du dernier, donc, de la stabilité de l'atome, ainsi que l'énergie de l'électron. On introduit le nombre quantique principal n en précisant que pour les éléments actuels ($Z \leq 112$), $n \leq 7$. On définit la *couche* comme étant l'espace d'énergie contenant des électrons du même n . Enfin, on relate que le nombre quantique n indique les dimensions de l'orbitale.

On introduit un deuxième paramètre associé à l'énergie de l'électron, les répulsions par les autres électrons (Nous rappelons le succès du modèle de Bohr pour l'atome d'hydrogène, qui a un seul électron...). Ce paramètre est exprimé par le nombre quantique secondaire ou azimutal, l , dont la valeur dépend de celle du n . Il obtient n valeurs chacune d'elles correspond à une sous-couche, de sorte que la n ème couche comporte n sous-couches. Le nombre l détermine la forme de l'orbitale, alors que la somme $n + l$ est liée à l'énergie totale de l'électron. Les appellations des sous-couches tirent leur origine depuis la spectrométrie atomique, comme suit : s (sharp, $l = 0$) ; p (principal, $l = 1$) ; d (diffuse, $l = 2$) ; f (fundamental, $l = 3$) ;

PHASE 3 : On arrive ainsi à la structure très délicate de l'espace autour du noyau avec l'introduction de l'*orbitale* par le truchement du nombre quantique magnétique m_l . Le comportement de l'atome dans un champ magnétique, due aux propriétés magnétiques de l'électron pivotant, a nécessité sa conception. Il obtient $2l + 1$ valeurs, chacune d'elles définissant une orbitale. On conclut que chaque couche est divisée en n sous-couches dont chacune englobe $2l + 1$ orbitales.

On introduit maintenant le nombre m_s , comme exprimant les deux possibilités de rotation de l'électron sur lui-même dans une orbitale ($\pm 1/2$) ;

PHASE 4 : On refournit les définitions des concepts de couche, sous-couche et orbitale. Ensuite, on tente de discuter sur la forme des orbitales, qui sont à l'essentiel, expliquons-nous, les courbes limites (*contour*) renfermant des volumes spatiales où la probabilité de présence de l'électron y est très élevée (90 - 99 %). On se limite à montrer, moyennant deux diapositives, les formes des orbitales s et p . On renvoie à des sites Web illustrant aussi les orbitales d et f . On souligne l'importance de la forme de l'orbitale dans le comportement chimique de l'atome.

3. Unité d'enseignement « Principes de structuration de l'atomes polyélectroniques ».

Objectifs à atteindre :

- Que l'élève place les électrons en couches et orbitales dans des atomes polyélectroniques et des ions à l'état fondamental, suivant le principe d'aufbau (principe d'énergie minimale, principe de Pauli, règle de Hund) ;
- Qu'il écrive les formules quantiques des électrons de l'atome d'élément à l'état non excité, par exemple, $1s^2 2s^2 2p^3$ pour l'élément dont $Z = 7$.

Approche didactique indicative – Phases

PHASE 1 : On peut introduire les principes de structuration par l'analogie de la réglementation concernant un immeuble dont les appartements – cf. orbitales – sont déjà classifiés et « attendent les habitants ».

On débute par énoncer le principe d'exclusion de Pauli et son interprétation comme étant un principe d'inséparable. On montre aux élèves que le nombre d'électrons maximal par sous-couche est de : s^2 , p^6 , d^{10} , et f^4 . Ces nombres peuvent émerger à la suite d'une série de questions destinées aux élèves sur la notion d'orbitale (où les trois nombres quantiques sont les mêmes), le principe de Pauli et les deux valeurs possibles du nombre quantique du spin. Par exemple, la sous-couche p ($l = 1$) possède trois orbitales ($m_l = -1, 0, 1$) chacune d'elles pouvant « suffire » deux électrons. Donc, la sous-couche p reçoit jusque six électrons.

Il est important que les élèves appréhendent que toute orbitale complète a deux électrons au spin opposé comme une paire d'électrons non liants. Au-delà, il existe des orbitales qui contiennent des électrons célibataires, tout comme d'autres qui restent *vides* et se concrétisent dès qu'elles se trouvent « colonisées » par des électrons ;

PHASE 2 : Dans cette phase, on développe le principe d'énergie minimale. Il est peut-être nécessaire d'évoquer l'exemple du puits (dont le fond correspond au noyau [...]). On définit aussi les notions suivantes : excitation de l'atome et ionisation.

On interroge les élèves quels sont les facteurs déterminant l'énergie des couches et sous-couches ou, plutôt, l'énergie des électrons y appartenant pour ainsi aboutir à la conclusion préalable, à savoir, la somme des n et l (attraction et répulsion). Le débat nous conduit à énoncer le principe d'énergie minimale d'où ressort la règle mnémotechnique sur l'ordre de remplissage des orbitales atomiques, illustré par la diapositive adéquate que l'on projette ;

PHASE 3 : On applique cette règle mnémotechnique pour écrire les structures électroniques de divers atomes, tels que $_{17}\text{Cl}$, $_{20}\text{Ca}$, $_{26}\text{Fe}$, $_{24}\text{Cr}$, $_{58}\text{Ge}$, etc. Ces structures peuvent prendre une écriture quantique, par exemple pour Cl : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$.

Une autre représentation aussi intéressante constitue la *couche externe* avec ses orbitales sous forme de carreaux. Dans chaque orbitale se placent des électrons représentés par des flèches \uparrow ou \downarrow pour les électrons célibataires et $\uparrow\downarrow$ pour les paires ;

PHASE 4 : Avant d'aborder la règle de Hund on doit évoquer que derrière les principes théoriques se cachent toujours les expérimentations et les propriétés de la matière. En effet, on souligne qu'à part des spectres de l'atomes, les *propriétés magnétiques* de la matière jouent, elles aussi, un rôle primordial dans le dévoilement de la structure électronique. De ce fait, on peut établir le rapport entre les propriétés magnétiques et le nombre des *électrons célibataires* qui, à l'encontre des paires d'électrons, sont attirés (ou repoussés) fortement par des champs magnétiques.

On énonce la règle de Hund en choisissant l'énoncé selon lequel « la répartition des électrons la plus stable dans une sous-couche est celle avec le plus grand nombre possible d'électrons célibataires. » À titre d'exemple, on demande aux élèves d'écrire la structuration électronique des éléments $_{7}\text{N}$ et $_{17}\text{Cl}$, notamment pour ce qui concerne la couche externe et le nombre des électrons célibataires.

4. Unité d'enseignement « Structure du tableau périodique ». Étant donné que notre objet d'étude n'est pas le concept d'élément chimique, qui constitue le concept clé

de ce paragraphe, nous allons dégager du livret du Professeur seulement les points ayant un intérêt particulier dans notre problématique. Effectivement, parmi les objectifs à atteindre, nous lisons :

- Que l'élève soit en mesure de préciser la place (période et groupe en tant que « coordonnées ») d'un élément à partir de son numéro atomique et inversement.

Approche didactique indicative – Phases

PHASE 1 : [...] La classification périodique des éléments peut être corrélée avec la structure électronique de leurs atomes. Il ne faut pas perdre de vue que cette corrélation constitue d'ailleurs une preuve intermédiaire de l'existence des atomes. [...]

PHASE 2 : [...] À chaque période appartiennent des éléments dont les atomes, à l'état fondamental, ont autant de couches que l'ordre de la période l'indique. [...] Pour un élément faisant partie d'un groupe A (groupe principal), le nombre des électrons de valence indique l'ordre du groupe [...] Ainsi, la classification classique basée sur les propriétés chimiques se trouve en rapport avec la structure électronique et le rôle de la couche « externe » Pour préparer les élèves au rôle que jouent les dimensions atomiques, on pose la question suivante : pourquoi y a-t-il des différences dans les propriétés des éléments d'un même groupe ? ;

PHASE 3 : [Blocs *s*, *p*, *d* et *f* du tableau périodique] Si, par exemple, un élément appartient à la 3^e période et au 17^e groupe il aura comme structure électronique la suivante : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$, c'est-à-dire qu'il aura 3 couches et 7 (17 - 10) électrons dans la couche externe.

De même, un élément avec la structure électronique $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^5$ doit se trouver à la 4^e période et au 7^e (2 + 5) groupe. Il s'agit d'un élément de transition vu que la sous-couche *d* reste incomplète (cf. Manganèse, Mn) ;

PHASE 4 : [...] Pour préparer désormais à l'écriture des formules de Lewis des composés chimiques, on peut donner les notations des éléments avec leur couche externe, notamment pour les blocs *s* et *p*. Par exemple, pour l'atome d'azote⁷ dont la structure est $1s^2 2s^2 2p^3$ la formule de Lewis est comme suit :



avec trois électrons célibataires et une paire d'électrons non liants.

5. Unité d'enseignement « Évolution périodique de certaines propriétés atomiques ».

Les objectifs à atteindre, hormis le dernier car relatif à la leçon « tableau périodique », sont les suivants :

- Que l'élève définisse quelques caractéristiques principales de l'atome, telles que le rayon atomique, l'énergie d'ionisation et l'électronégativité ;
- Qu'il reconnaisse que ces grandeurs, avec le nombre d'électrons de la couche externe, déterminent les propriétés de l'atome d'un élément.

Approche didactique indicative – Phases

PHASE 1 : On doit, ici, répondre à certaines questions, comme par exemple, pourquoi y a-t-il des différences dans les propriétés des éléments d'une même famille du tableau périodique ou, comment peut-on vérifier par l'expérimentation, mais au-delà les spectres atomiques, la structuration électronique.

⁷ À cause d'une faute de frappe, l'enseignant - usager du document peut lire : « ... pour l'atome d'azote dont la structure est $1s^1 2s^2 2p^3$... ». Et, s'il s'agit d'un biologiste ou d'un géologue, cet erratum (*i.e.* $1s^1$) peut entraîner une confusion.

D'abord, on évoque qu'à part de la « couche externe » d'autres caractéristiques, telles que le rayon atomique, l'énergie d'ionisation et l'électronégativité, conditionnent aussi le comportement des atomes ; PHASE 2 : On souligne la difficulté de définir le *rayon atomique* dans le cadre d'un modèle de l'atome ondulatoire selon lequel on peut seulement mesurer la probabilité de présence de l'électron. Pour en surmonter, on a recours au nuage électronique et sa répartition, de manière indépendante de la forme des sous-couches. On avance une définition expérimentale du rayon atomique comme étant la moitié de la distance entre deux noyaux de l'atomes voisins dans une molécule dans sa forme cristalline (mesurage par rayons X) [...] On projette la diapositive « Évolution des énergies de première ionisation en fonction du numéro atomique ». On peut même demander aux élèves de dessiner les atomes (sous forme de cercles) sous échelle (par exemple, 1cm : 0,1nm), à partir des valeurs de rayons atomiques en nm pour les premiers vingt éléments du tableau périodique. ;

PHASE 3 : Au cours de cette phase il faut noter que l'*énergie d'ionisation* constitue une grandeur expérimentale de base qui démontre la distinction entre les différentes couches quantiques, mais aussi l'existence de différents niveaux d'énergie à l'intérieur d'une couche.

Premièrement, on définit la notion d'*énergie d'ionisation* puis on discerne les énergies de première ionisation, de deuxième ionisation, et ainsi de suite, puisqu'il est question de l'atomes polyélectroniques. Il serait judicieux de fournir les valeurs des énergies d'ionisation pour, par exemple, l'atome de Na, afin d'en montrer les différences (le premier électron se détache « facilement », le deuxième plus difficilement, et ainsi de suite). De ce fait, on met en évidence les couches $n = 1, 2, 3$, mais aussi les différences particulières dans les 8 électrons de la couche $n = 3$ en 2, 3 et 3 électrons. Ensuite, on projette une diapositive illustrant l'évolution périodique de l'énergie de première ionisation en fonction du numéro atomique Z . [...].

Sans plus tarder sur les autres instructions didactiques, nous retenons tout simplement qu'il s'agit de sujets de savoir connexes au nôtre (*i.e.* l'atome), tels que : formules de Lewis pour les molécules et les ions mono et polyatomiques, recouvrement et hybridation d'orbitales atomiques pour l'interprétation de la liaison chimique, les trois théories, celle de la liaison de valence, celle de l'orbitale moléculaire (à laquelle la mécanique ondulatoire a succédé) et, enfin, la théorie VSEPR ou, en français, RPECV pour « Répulsion des paires électroniques de la couche de valence ».

Le livret du Professeur suggère à l'enseignant de faire passer un test d'évaluation sommative, en fin de chapitre. Nous en citons donc un extrait avec les exercices proposés qui ont un intérêt immédiat pour notre problématique :

Sujet 1

- Combien d'orbitales contient chacune des sous-couches suivantes : $4s, 4p, 6d, 5f$
- Écrivez les quatre nombres quantiques des électrons appartenant à des orbitales $3p$.

Sujet 2

- Écrivez la structure électronique pour chacun des ions suivants : ${}_{20}\text{Ca}^{2+}$, ${}_{19}\text{K}^+$, ${}_{35}\text{Br}^-$.
- [...]

1.3.1.12 « Γ' de Lykeion », Physique

La discipline « physique » spécifique aux séries scientifique et technologique n'aborde pas le thème de l'atome. Au contraire, le programme de physique de « culture générale » conçu pour toutes les séries de baccalauréat, et matérialisé par le manuel G20pTLST (cf. tableau 1Ca, annexe 4), en traite de manière assez rigoureuse, voire exagérée, croyons-nous. Ses deuxième et troisième chapitres développent, suivant les titres qu'ils portent, les phénomènes atomiques et nucléaires, respectivement. Plus précisément, sont abordés les modèles de l'atome proposés par Thomson, Rutherford et Bohr, les mécanismes d'excitation et d'ionisation de l'atome, les propriétés du noyau, la radioactivité et les phénomènes de fusion et de fission. Pour chacun des chapitres à enseigner, le livret du Professeur est organisé de la manière suivante : objectifs généraux, objectifs particuliers par unité d'enseignement et durée de séances proposée, démarches didactiques indiquées et, enfin, identification des exercices issus du manuel scolaire correspondant à la matière en question. Nous y empruntons pour esquisser le contexte institutionnel, à propos des sections relevant de notre problématique. En effet, comme objectifs didactiques fixés pour le chapitre « Phénomènes atomiques » figurent les suivants :

1. Que l'élève décrive l'atome selon les modèles de Thomson, de Rutherford et de Bohr ;
2. Qu'il connaisse les insuffisances de tout un chacun de ces modèles dans l'interprétation de certains effets ;
3. Qu'il décrive de manière qualitative, mais aussi quantitative les niveaux d'énergie permis et les rayons des orbites permises pour l'électron⁸ dans l'atome d'hydrogène, d'après le modèle de Bohr ;
4. Qu'il appréhende les mécanismes d'émission et d'absorption de rayonnement et qu'il calcule la longueur d'onde et la fréquence de la lumière émise ou absorbée.

Nous avons omis deux objectifs car liés aux spectres des gaz et aux rayons X, autrement dit, écartés de notre objet d'étude. Nous procédons maintenant à la concrétisation des instructions didactiques telles qu'elles apparaissent par leçon examinée, dans le livret du Professeur :

1. Unité d'enseignement « L'énergie de l'électron dans l'atome d'hydrogène ». Nous citons de manière lapidaire les objectifs à atteindre :

⁸ Les auteurs emploient ici une tournure, croyons-nous, ambiguë. Effectivement, une traduction à la lettre donnerait : « ... pour les électrons dans l'atome d'hydrogène... », alors que cet atome n'a qu'un seul électron. Bien que le sens exprimé soit clair pour les enseignants diplômés en physique ou en chimie, il n'en est pas de même, en principe, pour les géologues et les biologistes.

- Que l'élève sache que la conception actuelle de l'atome est un produit collectif et que les divers modèles étaient retravaillés au fil du temps pour surmonter leurs échecs dans l'interprétation des phénomènes ;
- Qu'il sache le modèle de Thomson, ainsi que son échec dans l'interprétation des résultats de l'expérience de Rutherford ;
- Qu'il sache le modèle de Rutherford, avec les observations expérimentales qui ont conduit à son élaboration, ainsi que son échec dans l'interprétation des spectres des gaz ;
- Qu'il décrive les spectres d'émission et d'absorption des gaz et qu'il reconnaisse que ces effets ont nécessité le modèle de Bohr ;
- Qu'il connaisse le modèle de Bohr pour l'atome d'hydrogène, qu'il décrive les niveaux d'énergie permis et les rayons des orbites permises pour l'électron.

Démarches didactiques indicatives et éléments supplémentaires

1. La voie du savoir scientifique : On peut souligner le rôle des modèles, le caractère provisoire et variable du savoir, les limites de validation des théories, les bouleversements dans les différents modèles pour en arriver aux connaissances actuelles ;
2. Description d'expériences sur la structure de l'atome : Pour que les élèves comprennent mieux les phénomènes atomiques (hors notre perception), l'enseignant peut décrire les expériences devenues classiques autour de l'atome. [À ce point, les auteurs développent, dans une page et demie, trois expériences omises par le manuel scolaire :
 1. Vérification expérimentale de la théorie philosophique de Démocrite par Dalton ;
 2. Taille des atomes et molécules (Avogadro, Loschmidt) ;
 3. Structure interne de l'atome (Thomson, Millikan)].

2. Unité d'enseignement « Niveaux d'énergie distincts ». Objectifs à atteindre :

- Que l'élève puisse dessiner le diagramme des niveaux d'énergie, ainsi que les transitions de l'électron d'un niveau à l'autre ;
- Qu'il sache ce qu'est l'excitation, l'énergie d'excitation, l'ionisation et l'énergie d'ionisation ;
- Qu'il appréhende et interprète le fait de l'énergie négative de l'électron dans l'atome.

Démarches didactiques indicatives et éléments supplémentaires

Une analogie des niveaux d'énergie constitue, par exemple, un escalier qui va du sous-sol au rez-de-chaussée que nous considérons comme niveau de référence. La première marche au fond (h_1) correspond à l'état fondamental ($E_1 = -mgh_1$). La deuxième marche correspond au niveau d'énergie $E_2 = -mgh_2$, et ainsi de suite. La dernière marche, en haut, qui se trouve au niveau du rez-de-chaussée correspond au niveau d'énergie $E_\infty = 0$.

Si l'on imagine un petit ballon, ceci peut rester dans une marche, mais jamais dans l'espace entre deux marches consécutives. On dit que l'énergie du ballon est quantifiée et négative. La valeur d'énergie la plus faible correspond au niveau le plus bas, à savoir au niveau fondamental.

3. Unité d'enseignement « Mécanisme de production et d'absorption de photons ».

Objectifs à atteindre :

- Que l'élève sache le mécanisme d'excitation par collision et par absorption de rayonnement, ainsi que le mode de désexcitation par émission de photons ;
- Qu'il prenne conscience que le modèle de Bohr se trouve expérimentalement vérifié par les spectres linéaires de l'hydrogène, mais qu'en même temps ce modèle échoue dans l'interprétation des spectres de gaz dont les atomes ont davantage d'un électron.

[Les auteurs consacrent une section d'un peu moins de cinq pages pour fournir quelques éléments supplémentaires, issus du savoir de référence, qu'est la physique atomique universitaire. Nous les inventorions ici assez brièvement.]

1. Les phénomènes d'excitation et de désexcitation ont un caractère statistique. À chaque moment, la plupart des atomes du gaz d'hydrogène sont à l'état fondamental. Au cours de l'excitation, on observe expérimentalement des sauts d'électrons à partir du niveau d'énergie fondamental E_1 , soit : $E_1 \rightarrow E_2$, $E_1 \rightarrow E_3$. Néanmoins, le spectre d'émission suite à la désexcitation correspond aux trois sauts : $E_3 \rightarrow E_1$, $E_3 \rightarrow E_2$, $E_2 \rightarrow E_1$. [Suit un diagramme illustrant les trois niveaux d'énergie impliqués et les sauts par flèches étiquetées en termes de longueur d'onde « λ_{12} ; λ_{13} ; λ_{31} ; λ_{32} ; λ_{21} »] ;
2. L'excitation $E_1 \rightarrow E_2$ due à la collision d'un atome avec un électron nécessite que l'énergie de ce dernier soit supérieure ou égale à $E_2 - E_1$, tandis que pour l'excitation par absorption d'un photon, ceci doit porter une énergie exactement égale à $E_f - E_i$, avec i et f étant deux niveaux d'énergie (initial, final) de l'atome d'hydrogène. Autrement dit, le photon soit sera entièrement absorbé par l'atome, soit le traversera en conservant toute son énergie ;
3. Principe de correspondance : La théorie quantique rapproche des résultats issus de la physique classique, à la limite où l'ordre de grandeur pour le nombre quantique principal n est très élevé. La théorie quantique doit décrire non pas seulement le micromonde, mais aussi le macromonde, en aboutissant aux lois de la physique classique. [Comme exemple, les auteurs citent la preuve algébrique selon laquelle la fréquence de rayonnement de l'électron – calculée dans le cadre de la théorie d'électromagnétisme classique et de la physique newtonienne – tend à coïncider avec celle issue du modèle de Bohr, quand $n \rightarrow \infty$.] ;
4. Du modèle de Bohr à la mécanique quantique : Le modèle de Bohr réussit à interpréter les spectres de certains atomes ou ions avec un électron dans la couche externe (hydrogène, He^+ , etc.). Son insuffisance dans les cas de l'atomes plus complexes vient surmonter la mécanique quantique qui porte sur les particules et la lumière. De la notion d'orbite circulaire pour l'électron nous passons à celle du nuage électronique étendu aux trois dimensions autour du noyau. Désormais, l'électron n'est pas localisé et on ne peut que calculer la probabilité de sa présence dans le nuage. De ce fait, de l'usage d'un nombre quantique chez Bohr, on passe à un triplet de nombres quantiques (n, l, m_l) qui décrivent le nuage électronique. Le nombre quantique principal définit les différents niveaux d'énergie ($E_n = -13,6\text{eV} / n^2$), aussi bien dans le modèle de Bohr qu'en mécanique quantique. Pour décrire la quantification d'une part, dans la valeur du moment cinétique et, d'autre part, dans son orientation, la mécanique quantique introduit les nombres l et m_l , respectivement. Enfin, l'idée de spin est associée au fait que « l'électron, à part de sa révolution autour du noyau, pivote sur lui-même, à la manière de la Terre [...]. » On distingue deux orientations de spin opposées.

Le chapitre suivant développe les instructions didactiques relatives au thème « Phénomènes nucléaires », englobant les sujets tels que : unité de masse atomique, déficit de masse, énergie de liaison, courbe de stabilité, transformations nucléaires, radioactivité, réacteurs, etc. Une fois donné le cadre de notre problématique de départ qui focalise notamment sur le(s) modèle(s) atomique(s), nous ne nous référons qu'aux recommandations officielles portant sur l'enseignement de la radioactivité et ses applications et risques.

4. Unité d'enseignement « Applications et risques de la radioactivité ». Parmi les objectifs à atteindre, nous nous intéressons aux suivants :

- Que l'élève appréhende d'où vient l'énergie qui se dégage au cours de la fission et la fusion ;
- Qu'il sache certaines conséquences, tant utiles que nuisibles, de la radioactivité.

Démarches didactiques indicatives et éléments supplémentaires

[Sans entrer dans le détail, nous allons citer quelques éléments théoriques fournis par les auteurs et faisant l'objet de recommandations à propos du travail des deux objectifs précédemment cités. Ces éléments sont, encore une fois, issus du savoir de référence, la physique atomique universitaire.]

1. La masse du noyau n'est pas égale à la somme des masses des nucléons le constituant. La perte de masse des protons et neutrons lorsqu'ils s'associent pour former le noyau correspond justement à l'énergie dégagée au cours de la fission du noyau. Par ailleurs, la masse des nucléons dans le noyau de l'atome d'hydrogène est supérieure à celle des mêmes particules quand elles forment le noyau d'hélium, à l'issue de la fusion des noyaux d'hydrogène. Encore là, il y a un gain d'énergie ;
2. Principe de fonctionnement de la bombe atomique ;
3. La fusion produit davantage d'énergie que la fission.

De la présentation précédente, il émerge raisonnablement la question d'un recouvrement potentiel de connaissances sur l'atome, identifié entre les deux disciplines, chimie et physique. En outre, est-ce que l'enseignement de l'atome fait émerger, dans le système de représentations - connaissances (cf. §6.9) des élèves grecs, des éléments comparables ou différenciés, par rapport au cas français ? Et, dans la deuxième éventualité, en quoi consistent précisément ces différences ? Nous reviendrons sur ces questions plus longuement, après avoir effectué l'analyse transpositive des manuels scolaires.

Après avoir effectué un survol des documents noosphériques régissant l'enseignement de l'atome au collège et au lycée grec, passons maintenant à la présentation des programmes français en envisageant aussi les recommandations aux enseignants, parues dans les documents correspondants.

1.3.2 Système d'enseignement français

Sous l'égide du Ministère de l'éducation nationale, le « Portail national des professionnels de l'éducation », intitulé « Eduscol » (cf. sitographie, lien 5), offre aux professionnels de l'éducation et à toute personne intéressée une pluralité d'informations allant de l'enseignement des disciplines dans l'école primaire et secondaire jusqu'à la formation des enseignants et au paysage éducatif européen et mondial. Plus spécifiquement, le nouveau site de ce portail (cf. sitographie, lien 6), consacré à la discipline de physique-chimie du collège, du lycée (général et technologique) et du niveau Post-bac, comporte des renseignements sur les programmes à appliquer, les ressources

d'accompagnement, les divers dispositifs mis en œuvre, les examens et concours, etc. Dans ce qui suit, nous puisons dans ces textes officiels pour circonscrire le contexte noosphérique, notamment en ce qui concerne l'enseignement de l'atome au collège et au lycée général français. Auparavant, nous effectuons un survol du premier degré d'éducation relatif à notre thématique.

1.3.2.1 École primaire

Les thèmes de l'atome et de molécule ne font pas partie des programmes du premier degré de l'éducation. Même les sujets d'enseignement associés, tels que la matière inerte et ses changements d'état, se limitent à une description macroscopique des phénomènes (évaporation, ébullition, etc.), sans entrer dans l'interprétation microscopique, à savoir par le biais du modèle corpusculaire de la matière.

1.3.2.2 Classe de cinquième

Le bulletin officiel spécial n°6 du 28 août 2008 décrit, entre autres, les programmes de physique-chimie élaborés pour le collège. Quant à la classe de cinquième, le développement des thèmes d'enseignement – soit : l'eau et ses états de matière ; mélanges et corps purs ; les circuits électriques ; la lumière – n'aborde pas le concept d'atome, le sens de l'enseignement restant, selon les recommandations officielles, plutôt descriptif des effets pris en compte qu'interprétatif (approche phénoménologique).

1.3.2.3 Classe de quatrième

En quatrième, l'enseignement vise à initier les élèves au concept de molécule qui permet d'expliquer les états physiques de la matière et les transformations physiques. Le concept d'atome est introduit pour l'interprétation atomique des transformations chimiques. Cet objectif est opéré moyennant, d'une part, le thème de l'air et de ses propriétés et, d'autre part, la combustion et, plus généralement, les transformations chimiques, interprétées désormais sous l'optique du modèle corpusculaire. Parallèlement à

la construction du savoir portant sur le fait que les gaz sont composés de molécules, il est préconisé à l'enseignant de faire travailler chez les élèves des capacités telles que l'argumentation sur la compressibilité des gaz et l'appréhension des différences entre corps purs et mélanges, ainsi qu'entre les états gazeux, solide et liquide de l'eau. D'après les instructions didactiques dégagées du bulletin officiel précédemment mentionné, la notion de molécule va permettre aux élèves de comprendre la non compressibilité de l'eau (liquide) et, aussi, la conservation de la masse lors des changements d'état. Quant au sujet des mélanges, on peut s'appuyer sur le modèle moléculaire afin d'interpréter la diffusion d'un gaz dans l'air ou d'un soluté moléculaire dans l'eau (par exemple, sucre, dioxygène, etc.). À partir de l'exemple de la combustion du carbone ou du méthane, l'enseignant explique ce qu'est une transformation chimique où les réactifs disparaissent (en partie ou en totalité) et les produits apparaissent. Ce procédé correspond à un réarrangement de l'atome pour former des nouvelles molécules, ce qui peut être représenté à l'aide d'un modèle moléculaire (une sorte de maquettes colorées en trois dimensions) dont la manipulation (*i.e.* désassemblage, assemblage) illustre la réorganisation des atomes, mais sans laisser croire qu'elle assimile le mécanisme réactionnel. L'enseignement doit donc induire chez les élèves la capacité d'interpréter une transformation chimique par un modèle moléculaire approprié. Au-delà, une fois la nouvelle connaissance que les atomes sont notés par des symboles (H, O, C, etc.) et les molécules par des formules (O_2 , CO_2 , CH_4 , etc.) établie, les élèves sont invités à coder, décoder pour écrire les formules chimiques, puis l'équation chimique dans le langage de chimie. Pour consolider la connaissance que « les atomes présents dans les produits (formés) sont de même nature et en même nombre que dans les réactifs », le professeur explique l'enchaînement des étapes pour ajuster une équation chimique et il entraîne la classe à partir de deux ou trois combustions étudiées, recommande le bulletin. Ainsi, le principe de conservation de la masse, au cours d'une transformation chimique, découle de manière naturelle.

Pour accompagner la mise en œuvre des programmes, la Dgesco (Direction générale de l'enseignement scolaire) élabore et propose à l'enseignant des ressources d'accompagnement pour faire la classe (parution EdUSCOL), tout en respectant le principe de liberté pédagogique. Autrement dit, les programmes sont la seule référence réglementaire adressée aux professeurs. En conséquence, il revient à chacun d'eux de s'approprier les programmes dont il a la charge, d'organiser le travail de ses élèves et de choisir les méthodes qui lui semblent les plus adaptées en fonction des objectifs à atteindre.

Dans cette perspective, les ressources d'accompagnement ne sont que des appuis à la libre disposition des enseignants.

En préambule et avant de passer aux parties thématiques liées aux savoirs à enseigner, les rédacteurs du texte se réfèrent aux « pratiques pédagogiques », englobant pour cela quelques éléments sur la démarche d'investigation, l'histoire des sciences, les thèmes de convergence parcourant différentes disciplines, les relations entre la physique-chimie et d'autres disciplines, l'évaluation, etc. Plus particulièrement, s'agissant de l'enseignement de la partie « De l'air qui nous entoure à la molécule », dispensé en quatrième, le document d'accompagnement, daté de mars 2008, est organisé en plusieurs paragraphes dont cinq attirent notre intérêt, puisque relevant des sections « Une description moléculaire pour comprendre » et « Les atomes pour comprendre la transformation chimique ». Nous les examinons tour à tour en en retirant le message essentiel :

1. « Évolution historique de la description de la matière »

L'enseignant se rappelle que les concepts de molécule et d'atome, initialement considérés comme des leviers explicatifs des propriétés macroscopiques de la matière, ont acquis de la fin du XIX^e siècle à nos jours le statut de véritables objets microscopiques. De plus, depuis quelques années, la (nano)science parvient à les manipuler un à un et à obtenir des images ;

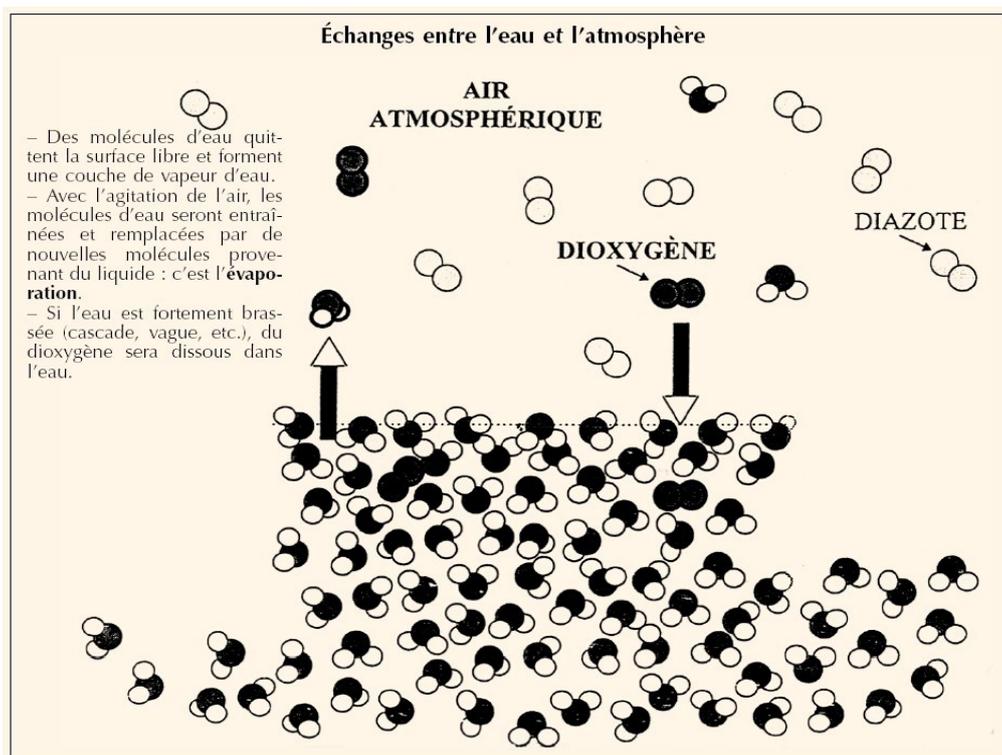
2. « Molécules et atomes, modèles ou réalité ? »

Martine Méheut (Université Paris 7), rédactrice de ce paragraphe, signale qu'il s'agit d'une question d'ordre épistémologique. A partir d'un certain nombre de citations, elle vise à montrer que le caractère non perceptible de ces entités microscopiques a conduit certains scientifiques (Ostwald, Berthelot, Dumas) à refuser la théorie atomique. L'auteur met en évidence l'opposition entre un point de vue empiriste, selon lequel la connaissance émane d'une observation sans *a priori*, et un point de vue instrumentaliste, pour lequel la connaissance, reposant sur des *a priori* intellectuels, est un instrument d'interprétation, de prévision et d'action sur le réel sensible. La section clôt avec une recommandation didactique : engager les élèves dans des démarches de construction et d'utilisation de modèles qui, plus que de décrire une réalité objective, possèdent une valeur explicative et prédictive à un moment donné des nos connaissances ;

3. « Introduction d'un modèle particulière »

Le document d'accompagnement, qui nous occupe ici, avertit que ce paragraphe propose des activités visant à amener les élèves à se construire une représentation moléculaire de la

matière. Inspirées de diverses publications, ces activités peuvent être considérées soit comme un ensemble, soit comme des exercices autonomes après enseignement. Le modèle envisagé se réfère aux états de la matière et doit interpréter ses phénomènes et propriétés (agitation, compressibilité des gaz, diffusion, etc.). De fait, les élèves s'initient aux activités de modélisation. La représentation donnée ci-après, issue du texte noosphérique, illustre, à partir du modèle moléculaire élaboré, les échanges entre l'eau et l'atmosphère :



Source : MEN / DGESCO

Figure 1.1 : Modélisation moléculaire du phénomène de l'évaporation

Enfin, sont indiquées pour un usage par les professeurs, des animations moléculaires interactives sur Educnet, le site nationale de l'éducation dédié au numérique ;

4. « L'observation de la matière »

Le document d'accompagnement fournit une recension des instruments d'observation des microstructures, telle une protéine contenant 5 000 atomes ou bien à l'échelle nanométrique, tel un cristal de bromure d'argent AgBr. Ces instruments et techniques sont les suivants :

- La diffraction des rayons X ;

- Les microscopies à champ proche : microscope à effet tunnel ; microscope à force atomique.

En tout cas, remarque le texte, les technologies employées reposent sur un modèle théorique selon lequel est analysée l'information récupérée par l'instrument de mesure. Dans ce sens, il ne s'agit pas d'une « photographie » de la matière dans son état réellement existant ;

5. « Les modèles de l'atome »

Ce paragraphe avance, dans sa première partie, une révision historique des modèles de l'atome et, dans une seconde partie, des suggestions didactiques susceptibles d'être transmises aux élèves. Ainsi, sont évoqués deux types de modèles atomiques : un modèle statique, avec des charges pas uniquement ponctuelles (J. J. Thomson), et un modèle dynamique ou planétaire, où les électrons, particules ponctuelles, se déplacent autour du noyau (Perrin, Rutherford, Bohr, Sommerfeld). La mécanique quantique (Heisenberg, Schrödinger) a provoqué une rupture dans la conception de l'atome : les électrons sont désormais délocalisés. Par ailleurs, il convient, à ce niveau de classe, de faire mémoriser d'emblée, chez les collégiens, des caractéristiques de l'atome (noyau positif, cortège électronique, dimensions de l'atome et de noyau) à travers un modèle planétaire. Bien que modifié plus tard, son apport didactique réside dans le fait que ces caractéristiques ne seront pas remises en cause par le modèle quantique qui va succéder au modèle planétaire.

Enfin, il est à noter qu'une des annexes attachées au texte d'accompagnement traite de l'histoire de la théorie moléculaire. Son germe remonte à l'hypothèse antique de discontinuité de la matière qui est supposée être composée à partir des atomes. Néanmoins, cette idée aura de sérieuses difficultés à s'imposer et ce sera seulement à la fin du XIX^e siècle que la réalité atomique et la théorie moléculaire ne feront plus aucun doute dans le monde des chimistes, concluent les rédacteurs du document.

1.3.2.4 Classe de troisième

D'après le programme officiel, les élèves étudient le thème d'enseignement « Conduction électrique et structure de la matière », c'est-à-dire le courant électrique, qui s'interprète par un déplacement d'électrons dans les métaux ou d'ions dans les solutions

aqueuses. Notons que selon les recommandations institutionnelles, l'enseignement doit établir la connaissance que « tous les solides ne conduisent pas le courant électrique », suivie de la capacité des élèves de « valider ou invalider une hypothèse sur le caractère conducteur ou isolant d'un solide. » Ensuite, sont présentés la structure de l'atome avec le noyau (sans référence à sa composition) et les électrons, le comportement électrique (charge) des électrons, des ions et de l'atome (neutre) et la structure lacunaire de la matière. Pour construire la conception que l'atome est presque vide, les élèves sont invités à puiser des informations sur les dimensions du noyau et de l'atome. Cependant, cette succession de connaissances pourrait induire, chez les élèves, la misconception que les atomes composant les isolants sont dépourvus d'électrons, puisque ce dernier concept a été auparavant introduit (hors du sujet de l'atome) et associé au courant électrique.

Le document d'accompagnement correspondant à la matière de la troisième, et qui date d'août 2008, reprend en introduction les pratiques pédagogiques (cf. §1.3.2.3). Le thème de l'atome et la structure atomique entrent en scène pour donner l'interprétation de la conductivité électrique dans les métaux. En l'occurrence, de différents sites académiques, qui proposent des pistes traitant de l'histoire de l'atomisme, sont indiqués. Parallèlement, le professeur est invité de consulter l'annexe du document intitulée « Ions et électrons ». Cette section est composée de deux réflexions : la première, « Électron et atome : survol historique », est destinée à l'enseignant, et la seconde constitue un extrait (adapté aux élèves) du livre classique de Jean Perrin, « Les atomes », publié en 1913. Cet extrait a, entre autres, une valeur didactique, au sens scientifique du terme : on n'est qu'à environ une décennie après les expériences de Perrin – qui postule, en 1895, l'existence d'« atomes d'électricité », à savoir de particules électriquement chargées – et de Thomson – qui découvre ces particules négatives qu'il baptise « électrons » et propose un premier modèle de l'atome, le fameux « pudding de Thomson ». Or, l'élève confronté à ce document, profite du récit personnel de Perrin, tout comme du contexte épistémologique de l'époque. Didactiquement parlant, il s'agit d'une activité de classe hors du commun, car le savoir en jeu n'a pas subi les processus transpositifs de dépersonnalisation et de désyncrétisation, au sens de Johsua et Dupin (1993, p. 195).

Pour récapituler, l'élève à la sortie du collège a appris que l'atome est constitué par un noyau et des électrons, et qu'entre ces deux entités il y a du vide. Il a aussi pris conscience que la production de nouvelles molécules et donc de substances est due à la réorganisation des atomes lors des transformations chimiques, de manière à ce que la

masse totale des réactifs se conserve. En effet, il s'agit de la construction didactique du modèle corpusculaire de la matière.

Nous passons maintenant aux instructions didactiques concernant l'enseignement de l'atome au lycée général.

1.3.2.5 Classe de seconde

À partir de la rentrée 2010, les programmes de physique-chimie de la seconde présentent une innovation. Les contenus d'enseignement tels qu'on les trouve dans les manuels ne sont plus structurés de manière classique, traditionnelle, mais d'après une entrée thématique. Ce mode d'arrangement consiste à organiser la matière « par thèmes qui ne relèvent pas de la discipline mais d'un champ d'application [santé, sport, etc. favorisant] le passage d'une question et / ou interprétation du point de vue de la physique ou de la chimie à une question et / ou interprétation qui vient de la vie quotidienne ou professionnelle et inversement. », (Tiberghien, 2011, p. 197). Le bulletin officiel spécial n°4 du 29 avril 2010 explique qu'une adaptation des démarches et des progressions à la diversité des publics accueillis en classe de seconde a été jugée nécessaire. Cette nouvelle présentation permet de

développer l'intérêt pour les sciences en donnant du sens aux contenus enseignés en explorant des domaines très divers, tout en gardant un fil conducteur qui assure une cohérence à l'ensemble des notions introduites (*ibid.*, p. 3).

Les trois thématiques au sein desquelles se développe la matière à enseigner sont relatives à la santé, à la pratique sportive et à l'Univers. Comme il est d'ailleurs précisé :

Certaines notions sont présentes dans plusieurs thèmes, voire plusieurs fois dans un même thème ; le professeur peut ainsi les aborder sous des angles différents, les compléter ou bien ne pas y revenir s'il considère qu'elles sont acquises (*ibid.*, p. 3).

Effectivement, l'atome se trouve abordé dans deux thèmes, la santé et l'Univers, tandis que les notions connexes de masse molaire atomique, de mole, etc. sont traitées dans le thème de la pratique du sport. Plus précisément :

1. D'après le bulletin, l'objectif du premier thème est de montrer et d'expliquer le rôle des sciences physiques et chimiques dans les domaines du diagnostic médical et des médicaments. Selon ce même document institutionnel, les résultats d'analyses

médicales se prêtent à introduire la notion d'espèce chimique, ainsi que d'envisager les savoirs portant sur la structure de la matière, de la façon que précise le tableau suivant, extrait du texte de référence précédent. Ce tableau (tout comme les tableaux suivants du genre) contient deux colonnes intitulées « Notions et contenus », précisant les concepts à étudier, et « Compétences attendues », englobant les connaissances à mobiliser, les capacités à mettre en œuvre (y compris des capacités expérimentales) et les attitudes à acquérir. Enfin, nous citons les objectifs spécifiques par lesquels se décline l'objectif général de chaque section discutée :

Tableau 1.5 : Thème « santé ». Notions et contenus à enseigner et compétences à accueillir. (Les lignes aux bordures pointillées se réfèrent à des savoirs connexes à l'atome)

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES ATTENDUES
Espèces chimiques, corps purs et mélanges.	Extraire et exploiter des informations concernant la nature des espèces chimiques citées dans des contextes variés.
Objectif visé : interpréter les analyses médicales par les considérations sur la constitution et la structure de la matière.	
Un modèle de l'atome. Noyau (protons et neutrons), électrons. Nombre de charges et numéro atomique Z. Nombre de nucléons A. Charge électrique élémentaire, charges des constituants de l'atome. Électroneutralité de l'atome.	Connaître la constitution d'un atome et de son noyau. Connaître et utiliser le symbole A_ZX . Savoir que l'atome est électriquement neutre.
Éléments chimiques. Isotopes, ions monoatomiques. Caractérisation de l'élément par son numéro atomique et son symbole.	Connaître le symbole de quelques éléments. Savoir que le numéro atomique caractérise l'élément. Mettre en œuvre un protocole pour identifier des ions.
Répartition des électrons en différentes couches, appelées K, L, M. Répartition des électrons pour les éléments de numéro atomique compris entre 1 et 18.	Dénombrer les électrons de la couche externe.
Les règles du « duet » et de l'octet. Application aux ions monoatomiques usuels.	Connaître et appliquer les règles du « duet » et de l'octet pour rendre compte des charges des ions monoatomiques usuels.

Formules et modèles moléculaires. Formules développées et semi-développées. Isomérisie.	Représenter des formules développées et semi-développées correspondant à des modèles moléculaires. Savoir qu'à une formule brute peuvent correspondre plusieurs formules semi-développées. Utiliser des modèles moléculaires et des logiciels de représentation.
Classification périodique des éléments. Démarche de Mendeleïev pour établir sa classification. Critères actuels de la classification : numéro atomique et nombre d'électrons de la couche externe.	Localiser, dans la classification périodique, les familles des alcalins, des halogènes et des gaz nobles. Utiliser la classification périodique pour retrouver la charge des ions monoatomiques.
La quantité de matière. Son unité : la mole. Constante d'Avogadro, N_A . Masses molaires atomique et moléculaire : M ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$).	Calculer une masse molaire moléculaire à partir des masses molaires atomiques.
Objectif visé : un médicament générique et un médicament « princeps » contiennent un même principe actif mais se différencient par leur formulation.	
[...] Système chimique. Réaction chimique. Écriture symbolique de la réaction chimique : équation de la réaction chimique.	[...] Décrire un système chimique et son évolution. Écrire l'équation de la réaction chimique avec les nombres stœchiométriques corrects. Étudier l'évolution d'un système chimique par la caractérisation expérimentale des espèces chimiques présentes à l'état initial et à l'état final.

Il est à noter que la dernière ligne de ce tableau apparaît également dans le tableau qui correspond au thème de la pratique sportive, puisqu'au cours d'une activité physique, des transformations chimiques et physiques se produisent et s'accompagnent d'effets thermiques. Les apports alimentaires constitués d'espèces ioniques ou moléculaires permettent de compenser les pertes dues au métabolisme et à l'effort, explicite le document noosphérique exprimant ainsi l'objectif didactique à atteindre, lié à ces connaissances ;

- Quant au thème de l'Univers, l'objectif général consiste à établir chez l'apprenant l'idée d'unité structurale fondée sur l'universalité des lois et des éléments. Là aussi, le rôle de l'atome reste primordial, qu'il s'agisse d'étudier des grandes structures cosmiques et la structure de la matière au niveau microscopique, les étoiles et leurs spectres émis, etc. Les objectifs particuliers figurent dans le tableau suivant qui synthétise les instructions concernant ce versant de l'enseignement de l'atome :

Tableau 1.6 : Thème « l'Univers ». Notions et contenus à enseigner et compétences à accueillir. (Les lignes aux bordures pointillées se réfèrent à des savoirs connexes à l'atome)

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES ATTENDUES
Objectif visé : appréhender que le remplissage de l'espace par la matière est essentiellement lacunaire aussi bien au niveau de l'atome qu'à l'échelle cosmique.	
Description de l'Univers : l'atome, [la Terre, le système solaire, etc.]	Savoir que le remplissage de l'espace par la matière est essentiellement lacunaire, aussi bien au niveau de l'atome qu'à l'échelle cosmique.
Objectif visé : comprendre que l'analyse de la lumière provenant des étoiles donne des informations sur leur composition chimique.	
Les spectres d'émission et d'absorption : [...] spectres de raies. Raies d'émission ou d'absorption d'un atome ou d'un ion. Caractérisation d'une radiation par sa longueur d'onde.	Repérer, par sa longueur d'onde dans un spectre d'émission ou d'absorption une radiation caractéristique d'une entité chimique. Interpréter le spectre de la lumière émise par une étoile : température de surface et entités chimiques présentes dans l'atmosphère de l'étoile. Connaître la composition chimique du Soleil.
Objectif visé : prendre conscience que les éléments chimiques se forment au sein des étoiles. La matière qui nous entoure présente une unité structurale fondée sur l'universalité des éléments chimiques.	
Un modèle de l'atome. Noyau (protons et neutrons), électrons. Nombre de charges et numéro atomique Z. Nombre de nucléons A. Charge électrique élémentaire, charges des constituants de l'atome. Électroneutralité de l'atome. Masse des constituants de l'atome ; masse approchée d'un atome et de son noyau. Dimension : ordre de grandeur du rapport des dimensions respectives de l'atome et de son noyau.	Connaître la constitution d'un atome et de son noyau. Connaître et utiliser le symbole A_ZX . Savoir que l'atome est électriquement neutre. Connaître le symbole de quelques éléments. Savoir que la masse de l'atome est pratiquement égale à celle de son noyau.
Éléments chimiques. Isotopes, ions monoatomiques. Caractérisation de l'élément par son numéro atomique et son symbole.	Savoir que le numéro atomique caractérise l'élément. Mettre en œuvre un protocole pour identifier des ions. Pratiquer une démarche expérimentale pour vérifier la conservation des éléments au cours d'une réaction chimique.
Répartition des électrons en différentes couches, appelées K, L, M. Répartition des électrons pour les éléments de numéro atomique compris entre 1 et 18.	Dénombrer les électrons de la couche externe.

Les règles du « duet » et de l'octet. Application aux ions monoatomiques usuels.	Connaître et appliquer les règles du « duet » et de l'octet pour rendre compte des charges des ions monoatomiques usuels.
Classification périodique des éléments. Démarche de Mendeleïev pour établir sa classification. Critères actuels de la classification : numéro atomique et nombre d'électrons de la couche externe.	Utiliser la classification périodique pour retrouver la charge des ions monoatomiques.

Nous remarquons quelques recouvrements d'éléments du savoir relatif à l'atome, tels que le modèle atomique ou la règle de l'octet, etc. Malgré tout, chacun de ces sujets est bien évidemment développé dans les manuels matérialisant le programme une seule fois. Par exemple, dans un manuel paru chez Belin, le modèle de l'atome est inclus dans la partie « Santé » du chapitre 2 intitulé « De l'atome à l'élément chimique ». Par ailleurs, les règles du duet et de l'octet sont discutées au chapitre 16, « Les éléments chimiques », appartenant à la section « L'Univers ».

Pour passer maintenant aux ressources d'accompagnement, dans le document correspondant, du 20 juillet 2010 (MEN / DGESCO), certaines connaissances sur l'atome, dont la structure atomique, les règles du duet et de l'octet et la classification périodique des éléments, constituent des prérequis pour l'activité documentaire autour de l'étude de l'étiquette d'un médicament, relevant de la thématique « Santé ». Et cela, parce que parmi les compétences à développer figurent la présentation de formules développées et semi-développées correspondant à des modèles moléculaires, le calcul de la masse molaire moléculaire à partir des masses molaires atomiques et, enfin, la détermination de la quantité de matière connaissant la masse d'un solide. Ensuite, dans le thème concernant la « pratique du sport », les symboles utilisés pour représenter les différents atomes et les formules pour les molécules (O_2 , H_2O , etc.) sont des prérequis dans l'enseignement du sous-thème « Les matériaux et les molécules dans le sport ». En son sein, sont attendues des compétences telles que représenter des formules développées et semi-développées correspondant à des modèles moléculaires, utiliser des modèles moléculaires et des logiciels de représentation, etc. Également, des connaissances sur l'atome pour comprendre la transformation chimique sont demandées pour l'enseignement du sous-thème « Les besoins et les réponses de l'organisme lors d'une pratique sportive ». En outre, on retrouve, en parcourant le document, assez de références à l'« atome » soit explicites, soit implicites : maquettes moléculaires éclatées et colorées, enchainement de l'atomes caractérisant la liaison peptidique, groupement de l'atomes constituant un ester, etc. Enfin,

des connaissances sur les raies d'émission et d'absorption d'un atome ou d'un ion sont à enseigner à propos du sous-thème « Les étoiles », de la troisième et dernière partie du programme, « L'Univers ». Il est précisé que parmi les compétences visées sont comprises les deux suivantes : repérer, par sa longueur d'onde dans un spectre d'émission ou d'absorption, une radiation caractéristique d'une entité chimique ; interpréter le spectre de la lumière émise par une étoile et détecter les entités chimiques présentes dans son atmosphère. Pour aider le professeur à mieux illustrer cette séance d'enseignement, les rédacteurs du document d'accompagnement fournissent un tableau, à l'usage des élèves, qui donne la longueur d'onde λ (en nm) et la couleur qu'un observateur perçoit quand il observe les raies spectrales d'atomes ou d'ions, tels que H, N, Fe, He⁺, etc. De plus, le développement du sous-thème d'enseignement « Une première présentation de l'Univers » semble établir une caractéristique de la matière communément rencontrée aux échelles microcosmique et mégacosmique : le remplissage de l'espace par la matière est essentiellement lacunaire, aussi bien au niveau de l'atome qu'à l'échelle cosmique. Comme cette « loi » n'est pas suivie au niveau du noyau atomique (là où la matière est extrêmement dense) ce parallèle, croyons-nous, pourrait contribuer à inculquer l'analogie entre l'atome et le système planétaire et, donc, favoriser le modèle planétaire de l'atome. Pour clore, nous indiquons un ensemble d'activités de type fil rouge pour traiter globalement du thème de l'Univers qui prend la forme de la question suivante : peut-on vivre ailleurs que sur Terre ? Selon les auteurs du document, cette problématique peut se décliner en plusieurs activités dont la comparaison de la composition d'une météorite martienne avec une roche terrestre. Pour ce qui nous concerne, cette investigation exige le recours aux notions – indiquent les auteurs – de masse atomique et d'isotope. Bien entendu, elle permet d'évoquer le modèle atomique admis pour les besoins de l'enseignement de physique-chimie en classe de la seconde.

1.3.2.6 Classe de première

Dès cette classe, trois séries de baccalauréat sont créées, au choix des élèves. Ainsi, nous distinguons les premières économique et sociale (ES), littéraire (L) et scientifique (S). Un cours de sciences est dispensé aux élèves des deux premières séries, alors que ceux de la série S suivent un cours de physique-chimie. Nous examinons tour à tour les programmes correspondants.

Le programme élaboré pour les séries ES et L, tel que précisé par le bulletin officiel spécial n°9 du 30 septembre 2010, est organisé en trois parties : « Représentation visuelle », « Nourrir l'Humanité », thèmes communs aux sciences de la vie et de la Terre et aux sciences physiques, et un thème propre par discipline, « Féminin - Masculin » pour les sciences de la vie et de la Terre et « Le défi énergétique » pour les sciences physiques et chimiques. Pour ce qui nous concerne, nous apportons une attention particulière au thème du déficit énergétique qui se décline, d'après le bulletin officiel, en trois sous-thèmes : activités humaines et besoins en énergie ; utilisation des ressources énergétiques disponibles ; optimisation de la gestion et de l'utilisation de l'énergie. Il se peut que le thème de l'atome ne se trouve pas explicitement abordé par le programme, cependant il est toujours sous-jacent, puisqu'il est question de ses aspects nucléaires. Dans ce sens, le tableau 1.7 constitue un extrait du document institutionnel et renseigne sur ces sujets d'enseignement.

Tableau 1.7 : Thème « Le défi énergétique ». Notions et contenus à enseigner et compétences à accueillir au sein des séries ES et L

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES EXIGIBLES
Utilisation des ressources énergétiques disponibles	
Ressources non renouvelables : - [...] ; - fissiles (Uranium : isotopes, $^{235}_{92}\text{U}$: isotope fissile).	Rechercher et exploiter des informations pour : - [...] ; - identifier des problématiques d'utilisation de ces ressources. Utiliser la représentation symbolique pour distinguer des isotopes.
Centrale électrique thermique à combustible fossile ou nucléaire. Réaction de combustion. Réaction de fission. Réaction de fusion.	Identifier les différentes formes d'énergie intervenant dans une centrale thermique à combustible fossile ou nucléaire. Interpréter l'équation d'une réaction nucléaire en utilisant la notation symbolique du noyau A_ZX . À partir d'exemples donnés d'équations de réactions nucléaires, distinguer fission et fusion. Exploiter les informations d'un document pour comparer : - les énergies mises en jeu dans des réactions nucléaires et dans des réactions chimiques ; - l'utilisation de différentes ressources énergétiques.
Optimisation de la gestion et de l'utilisation de l'énergie	

<p>Sous-produits de l'industrie nucléaire. Décroissance radioactive.</p>	<p>Rechercher et exploiter des informations pour comprendre : - [...] ; - la problématique de la gestion des déchets radioactifs. Analyser une courbe de décroissance radioactive. Faire preuve d'esprit critique : discuter des avantages et des inconvénients de l'exploitation d'une ressource énergétique, y compris en terme d'empreinte environnementale.</p>
--	---

Parmi les acquis du collège réactivés au cours de l'étude de ces sections, les rédacteurs de ce bulletin officiel renvoient à l'atome pour l'enseignement relatif au mécanisme de la réaction chimique.

À partir du document d'accompagnement, intitulé « Ressources pour la classe de première générale et technologique » (MEN / DGESCO, octobre 2011), on peut repérer quelques références à l'atome – sans que celui-ci constitue en lui-même un savoir à enseigner dans les programmes concernés –, notamment à ses aspects nucléaires relatifs au thème d'enseignement « Le défi énergétique », dispensé chez des élèves des sections ES et L.

Plus précisément, le répertoire suivant donne une image indicative :

- Dans la section « Activités humaines et besoins en énergie », il est question d'« énergie nucléaire (imagerie médicale RMN... fission ou fusion nucléaire) » ;
- Dans la section « Utilisation des ressources énergétiques disponibles », nous soulignons les expressions « fission nucléaire », « fusion nucléaire », « centrale nucléaire », « réaction nucléaire », « combustible nucléaire », « électricité "nucléaire" » et « parc nucléaire » ou « parc électronucléaire » ;
- Dans la section « Optimisation de la gestion et de l'utilisation de l'énergie », nous listons des risques dans le « domaine nucléaire » et des sous-produits de l'industrie nucléaire. Les rédacteurs du texte listent les acquis de la classe de seconde, dont les concepts d'atome et d'isotope. Ils conseillent aussi la lecture de l'atlas mondial du nucléaire, tandis qu'ils proposent des pistes de travail, telles que les déchets radioactifs, l'énergie nucléaire, etc. ;
- Dans la fiche « Projet pluridisciplinaire sur le thème de l'énergie nucléaire pour les classes de première des séries générales S, ES et L », sont abordées des sujets, tels que : découverte des particules élémentaires, modèle de l'atome, étude du noyau, découverte de la radioactivité et des réactions nucléaires, mise au point des bombes atomique et d'hydrogène, nucléaire = menaces / pression, traité de non prolifération

nucléaire, traité d'interdiction complète des essais nucléaires, usage civil de l'énergie nucléaire, etc. Il est à noter qu'à propos de ce projet pluridisciplinaire (qui croise la physique-chimie, l'histoire et l'anglais) sont proposés à l'étude des documents, comme «Atoms for peace», allocution prononcée par l'ex-président des États-Unis, Dwight David Eisenhower, et « The Göttingen Declaration », un manifeste signé par dix-huit physiciens nucléaires, qui a eu un très grand écho auprès du public et, surtout, auprès des politiciens en Allemagne. Cette déclaration appelait au désarmement nucléaire et prônait l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire. La mise en œuvre des ressources de cette nature montre la préoccupation de la noosphère de faire émerger les liens entre la science et la société.

Quant au programme de physique-chimie, lui aussi décrit par le bulletin officiel spécial n° 9 du 30 septembre 2010 et appliqué aux classes de première scientifique, il aborde, également, le thème du nucléaire mais de façon plus poussée. En outre, le concept de photon et son énergie, les formules de Lewis et la géométrie des molécules, les particules subatomiques, etc. s'y trouvent inclus. Pour une meilleure information, nous avons extrait de ce texte de référence les contenus et compétences attendues convenant à notre objet d'étude, l'atome, que nous présentons dans le tableau suivant :

Tableau 1.8 : Notions et contenus à enseigner et compétences à accueillir au sein de la série S. (Les lignes aux bordures pointillées se réfèrent à des savoirs connexes à l'atome)

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES ATTENDUES
Sources de lumière colorée	
Différentes sources de lumière : étoiles, lampes variées, laser, etc. Interaction lumière-matière : émission et absorption. Quantification des niveaux d'énergie de la matière. Modèle corpusculaire de la lumière : le photon. Énergie d'un photon. Relation $\Delta E = h \nu$ dans les échanges d'énergie.	Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière. Connaître les relations $\lambda = c / \nu$ et $\Delta E = h \nu$ et les utiliser pour exploiter un diagramme de niveaux d'énergie.
Matières colorées	

<p>Liaison covalente. Formules de Lewis ; géométrie des molécules. Rôle des doublets non liants.</p>	<p>Décrire à l'aide des règles du « duet » et de l'octet les liaisons que peut établir un atome (C, N, O, H) avec les atomes voisins. Interpréter la représentation de Lewis de quelques molécules simples. Mettre en relation la formule de Lewis et la géométrie de quelques molécules simples. [...] Utiliser des modèles moléculaires et des logiciels de modélisation.</p>
<p>Cohésion et transformation de la matière</p>	
<p>La matière à différentes échelles : du noyau à la galaxie. Particules élémentaires : électrons, neutrons, protons. Charge élémentaire e.</p>	<p>Connaître les ordres de grandeur des dimensions des différentes structures des édifices organisés. Connaître l'ordre de grandeur des valeurs des masses d'un nucléon et de l'électron. Savoir que toute charge électrique peut s'exprimer en fonction de la charge élémentaire e.</p>
<p>Interactions fondamentales : interactions forte et faible, électromagnétique, gravitationnelle. Cohésion du noyau, stabilité. Radioactivité naturelle et artificielle. Activité. Réactions de fission et de fusion. Lois de conservation dans les réactions nucléaires. Défaut de masse, énergie libérée. Réactions nucléaires et aspects énergétiques associés. Ordre de grandeur des énergies mises en jeu. [...] Variation de température et transformation physique d'un système par transfert thermique.</p>	<p>Associer, à chaque édifice organisé, la ou les interactions fondamentales prédominantes. Utiliser la représentation symbolique A_ZX ; définir l'isotopie et reconnaître des isotopes. Recueillir et exploiter des informations sur la découverte de la radioactivité naturelle et de la radioactivité artificielle. Connaître la définition et des ordres de grandeur de l'activité exprimée en becquerel. Utiliser les lois de conservation pour écrire l'équation d'une réaction nucléaire. Utiliser la relation $E_{\text{libérée}} = \Delta m c^2$. Recueillir et exploiter des informations sur les réactions nucléaires (domaine médical, domaine énergétique, domaine astronomique, etc.). Interpréter à l'échelle microscopique les aspects énergétiques d'une variation de température et d'un changement d'état.</p>
<p>Convertir l'énergie et économiser les ressources</p>	
<p>Oxydant, réducteur, couple oxydant / réducteur, réaction d'oxydo-réduction. Modèle par transfert d'électrons.</p>	<p>Reconnaître l'oxydant et le réducteur dans un couple. Écrire l'équation d'une réaction d'oxydo-réduction en utilisant les demi-équations redox.</p>
<p>Synthétiser des molécules et fabriquer de nouveaux matériaux</p>	
<p>Nanochimie. [...] Synthèses et propriétés de matériaux amorphes (verres), de matériaux organisés (solides cristallins, céramiques) et de matières plastiques.</p>	<p>Recueillir et exploiter des informations sur un aspect de la nanochimie (nanotubes de carbone, nanomédicaments, nanoparticules métalliques, etc.). [...] Recueillir et exploiter des informations pour relier les propriétés physiques d'un matériau à sa structure microscopique.</p>

Créer et innover	
Culture scientifique et technique ; relation science-société.	Comprendre les interactions entre la science et la société sur quelques exemples.

Ensuite, nous feuilletons de manière semblable le document d'accompagnement de juillet 2011, intitulé « Ressources pour la classe de première générale et technologique. Physique-Chimie. Série S ». Nous rappelons que le thème de l'atome ne fait pas partie du programme. Néanmoins, les quelques éléments de physique nucléaire enseignés, que nous exposons ci-après, en requièrent des connaissances adéquates. Plus particulièrement :

- Dans la section « Comprendre : lois et modèles », dès l'introduction nous trouvons le terme « particules subatomiques » servant comme exemple illustrant le constat que la matière présente, à différentes échelles, une stabilité dans ses structures. Cette stabilité cesse, expliquent les auteurs, en raison des réactions nucléaires, etc. Suit le chapitre « Cohésion et transformation de la matière » dont une activité documentaire proposée sur l'« énergie nucléaire » fait apparaître les formules « réacteurs nucléaires » et « unité de masse atomique u [...] utilisée pour mesurer la masse des atomes et des molécules ». Enfin, dans une citation extraite du site du CEA (Commissariat à l'énergie atomique), nous lisons que « la masse du noyau est inférieure à la somme des masses de chacun de ses nucléons ». Ensuite, pour l'activité « Les étoiles à neutrons » du chapitre « Champs et forces », le savoir que le noyau des atomes est composé de protons et de neutrons en constitue un des prérequis. De même, deux autres prérequis, pour l'activité « Une énigme de la radioactivité : le neutrino » du chapitre « Formes et principe de conservation de l'énergie », sont relatifs, le premier, à l'ordre de grandeur des valeurs des masses d'un nucléon (*i.e.* proton ou neutron) et de l'électron, et le second, aux lois de conservation dans l'écriture d'une réaction nucléaire. La fiche élève pour la même activité fournit un extrait d'un texte d'Étienne Klein (CEA) consacré à Pauli et ses travaux sur la transformation nucléaire liée à la radioactivité « bêta » sert comme situation déclenchante. Il est aussi indiqué qu'avant Chadwick (qui découvrit le neutron) l'atome est composé de protons et d'électrons. Plus longuement, une des pistes d'investigation associées au sujet « De nouvelles idées pour sauver la conservation de l'énergie » s'appuie sur la phrase suivante : « En 1932, James Chadwick découvre une particule neutre dans le noyau atomique dont la masse est légèrement supérieure à celle du proton (m (neutron) = 1,00866 u). » ;

- Dans la dernière section « Agir : Défis du vingt-et-unième siècle » et quant au chapitre « Convertir l'énergie et économiser les ressources », l'élève peut rappeler – si le professeur a l'intention de conduire en classe l'activité « Classe énergétique d'un véhicule » – la notion de masse molaire atomique. Pour ce qui est du dernier chapitre, « Synthétiser des molécules et fabriquer de nouveaux matériaux », nous retrouvons des occurrences sur : la structure du carbone et du diamant, la structure des nouvelles molécules issues de la nanotechnologie (« bukminster-fullerène » ou C_{60} , nanotube de carbone, nanofeuilles), etc. Enfin, notons la consigne récurrente des rédacteurs, destinée au professeur, mentionnant que les activités conçues peuvent être travaillées avec son collègue d'anglais.

À titre de conclusion, en classes de première, toutes séries confondues, le thème de l'atome est essentiellement hors programmes. Il en va de même pour les classes de terminales, que nous allons examiner ci-après du point de vue des programmes et des instructions didactiques.

1.3.2.7 Classe de terminale

Seuls les élèves inscrits en terminale S suivent un enseignement de physique-chimie. Selon le bulletin officiel spécial n°8 du 13 octobre 2011, ces cours

s'articulent autour des grandes phases de la démarche scientifique : observer, comprendre, agir et s'appuient sur des entrées porteuses et modernes introduites à partir de questionnements. (*ibid.*, p. 2).

Bien que le thème d'enseignement relatif au modèle de l'atome ne fasse pas partie du programme des terminales S, l'objet de l'atome y revient de manière récurrente. Nous allons assembler, dans le tableau ci-dessous, les différentes sections où il y a référence à ce concept. Avant, notons que ce programme aborde des éléments de mécanique quantique, comme la dualité corpuscule - onde et la nature probabiliste des phénomènes associés. Nous lisons relativement :

La dualité onde-corpuscule est une formulation qui s'applique aux manifestations du photon, qui se comporte soit comme une onde, soit comme une particule, selon le contexte expérimental considéré. Mais elle ne doit pas décrire la nature intrinsèque du photon lui-même, qui n'est ni une onde, ni une

particule, mais l'archétype d'un objet quantique, appelé parfois « quanton » par les scientifiques. (*ibid.*, p. 4).

Tableau 1.9 : Notions et contenus à enseigner et compétences à accueillir. (Les lignes à trame grise se réfèrent à des savoirs connexes à l'atome)

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES ATTENDUES
Ondes et particules	
Détecteurs d'ondes [...] et de particules (photons, particules élémentaires ou non).	Extraire et exploiter des informations sur : - des sources d'ondes et de particules et leurs utilisations ; - un dispositif de détection.
Analyse spectrale	
Spectres RMN (Résonance magnétique nucléaire) du proton.	Relier un spectre RMN simple à une molécule organique donnée, à l'aide de tables de données ou de logiciels. Identifier les protons équivalents.
Temps, mouvement et évolution	
Définition du temps atomique.	Extraire et exploiter des informations pour justifier l'utilisation des horloges atomiques dans la mesure du temps.
Structure et transformation de la matière	
Chiralité. Représentation de Cram. Carbone asymétrique. [...] Conformation : rotation autour d'une liaison simple ; conformation la plus stable. Formule topologique des molécules organiques.	Utiliser la représentation de Cram. Identifier les atomes de carbone asymétrique d'une molécule donnée. [...] Visualiser, à partir d'un modèle moléculaire ou d'un logiciel de simulation, les différentes conformations d'une molécule. Utiliser la représentation topologique des molécules organiques.
Énergie, matière et rayonnement	

<p>Du macroscopique au microscopique. Constante d'Avogadro. Transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques. Notions de système et d'énergie interne. Interprétation microscopique. [...] Transferts quantiques d'énergie. Émission et absorption quantiques. Émission stimulée et amplification d'une onde lumineuse. Oscillateur optique : principe du laser. Transitions d'énergie : électroniques, vibratoires.</p> <p>Dualité onde-particule. Photon et onde lumineuse. Particule matérielle et onde de matière ; relation de De Broglie. Interférences photon par photon, particule de matière par particule de matière.</p>	<p>Extraire et exploiter des informations sur un dispositif expérimental permettant de visualiser les atomes et les molécules. Évaluer des ordres de grandeurs relatifs aux domaines microscopique et macroscopique. Savoir que l'énergie interne d'un système macroscopique résulte de contributions microscopiques. [...] Connaître le principe de l'émission stimulée et les principales propriétés du laser. Associer un domaine spectral à la nature de la transition mise en jeu. Savoir que la lumière présente des aspects ondulatoire et particulaire. Extraire et exploiter des informations sur les ondes de matière et sur la dualité onde-particule. Connaître et utiliser la relation $p = h / \lambda$. Identifier des situations physiques où le caractère ondulatoire de la matière est significatif. Extraire et exploiter des informations sur les phénomènes quantiques pour mettre en évidence leur aspect probabiliste.</p>
Économiser les ressources et respecter l'environnement	
<p>Chimie durable : - économie de l'atomes ; [...]</p>	<p>Extraire et exploiter des informations en lien avec : - la chimie durable ; [...]</p>
Créer et innover	
<p>Culture scientifique et technique ; relation science-société.</p>	<p>Rédiger une synthèse de documents pouvant porter sur les interactions entre la science et la société. [...]</p>

Pour compléter le contexte de l'implication du thème de l'atome dans la matière de physique-chimie en terminale S, nous empruntons au bulletin ici examiné. En effet, pour le chapitre « Ondes et particules », il est mentionné que :

Les photons associés aux ondes électromagnétiques, les particules élémentaires (électrons, protons, neutrinos, etc.), ou composites (noyaux, atomes, molécules) sont, à côté des ondes électromagnétiques et mécaniques, des supports précieux d'information. (*ibid.*, p. 2).

Ensuite, à propos du chapitre « Temps, mouvement et évolution », on peut lire :

Le temps et sa mesure, la définition et l'évolution de son unité, reposent sur l'étude et l'exploitation de phénomènes périodiques. L'histoire de cette mesure [...] fournit la matière à l'étude documentaire d'une recherche de progrès tendue par le souci toujours plus grand de la précision, de

la stabilité et de l'universalité (rotation et révolution terrestres, oscillateurs mécaniques et électriques, horloges atomiques). (*ibid.*, p. 2-3).

Quant à la section « Énergie, matière et rayonnement », les rédacteurs du document officiel relatent que :

Les résultats des observations à très petite échelle fournissent des représentations au moyen d'images (il faudra être prudent sur la signification du terme « visualiser ») des atomes et des molécules, qui permettent de remonter aux dimensions et à la structure de la matière à ce niveau d'organisation. (*ibid.*, p. 3-4).

Enfin, dans leur intention de délimiter l'étrangeté des phénomènes quantiques pour le sens commun, les auteurs écrivent :

L'incertitude associée aux phénomènes quantiques, comme sur l'instant auquel se produit une désintégration, ne doit pas laisser croire que toutes les mesures physiques à ce niveau sont incertaines. Ainsi, l'énergie des niveaux quantiques stables peut être connue avec une précision exceptionnelle (de l'ordre de 10^{-13} par exemple pour le premier niveau d'énergie de l'atome d'hydrogène !). Si l'occurrence des phénomènes quantiques individuels ne peut être connue avec précision, la loi des grands nombres permet néanmoins de prévoir précisément le comportement des grands ensembles, c'est-à-dire des systèmes macroscopiques. Il faut bien voir alors que la limite de la précision dans leur connaissance réside dans l'acte de mesure lui-même, alors qu'elle est intrinsèque au niveau microscopique, en raison du caractère probabiliste de la réalité quantique. (*ibid.*, p. 4).

Nous nous attachons maintenant à compiler, depuis le tout récent document d'accompagnement de février 2014, intitulé « Ressources pour le cycle terminal – Série scientifique. Repères pour la formation en physique-chimie » (MEN / DGESCO), toutes les références, implicites et explicites, à l'atome. Nous le rappelons, le modèle atomique n'est pas abordé par le programme de la terminale scientifique. Ainsi :

- Dans la section « Ondes et matière », une des questions pour faire la classe se centre sur la façon de réaliser et exploiter des spectres pour identifier des atomes et des molécules ;
- Dans le paragraphe « Temps, mouvement et évolution », est incluse la définition du temps atomique, avec comme compétences exigibles la sélection et exploitation d'informations justifiant l'utilisation des horloges atomiques dans la mesure du temps. En outre, les horloges atomiques embarquées sont évoquées pour la confirmation expérimentale du phénomène de dilatation des durées, dans le cadre de la relativité restreinte ;

- Dans le paragraphe « Structure et transformation de la matière », les « atomes de carbone » se trouvent mentionnés pour la discussion du phénomène d'isomérisation, quant à la représentation spatiale des molécules, en chimie organique ;
- Dans le paragraphe « Énergie, matière et rayonnement », l'objectif des auteurs est double : introduire le lien entre l'échelle microscopique, atomique ou moléculaire, et l'échelle macroscopique ; donner une interprétation microscopique de l'énergie interne d'un système macroscopique, en termes d'énergie cinétique et d'énergie potentielle d'interaction des différents constituants. Concernant le contenu d'enseignement « Constante d'Avogadro », les compétences exigibles résident dans l'exploitation des informations sur un dispositif expérimental permettant de visualiser les atomes et les molécules ;
- Dans le paragraphe « Dualité onde - particule », deux points sont évoqués : la dualité onde-particule et l'aspect probabiliste de l'observation d'un système quantique. Les particules élémentaires, mais aussi atomes, molécules, etc. se comportent comme une onde, ce qui remet en cause la vision issue de la physique classique. Les auteurs du document remarquent que les élèves s'appuient sur leurs connaissances et vocabulaire « classiques » pour aborder les nouveaux concepts de mécanique ondulatoire. Néanmoins, cette démarche n'est pas sans soulever certaines difficultés d'apprentissage ;
- Dans le paragraphe « Économiser les ressources et respecter l'environnement », nous rencontrons le terme « économie de l'atome », lié au thème d'enseignement « Chimie durable » ;
- Dans le paragraphe « Matières colorées », les rédacteurs du texte de référence précisent les compétences attendues associées aux contenus « Liaison covalente ; Formules de Lewis et géométrie des molécules ; Rôle des doublets non liants » qui sont les suivantes :
 - Décrire à l'aide des règles du « duet » et de l'octet les liaisons que peut établir un atome (C, N, O, H) avec les atomes voisins ;
 - Interpréter la représentation de Lewis de quelques molécules simples ;
 - Mettre en relation la formule de Lewis et la géométrie de quelques molécules simples.
- Dans la section « Lois et modèles » et s'agissant du contenu « Particules élémentaires : électrons, neutrons, protons », connaître l'ordre de grandeur des valeurs des masses d'un nucléon, du noyau, de l'électron et de l'atome constitue

une compétence exigible. De plus, il est attendu des élèves, soulignent les auteurs, qu'ils puissent prévoir si un solvant est polaire, à partir des électronégativités des différents atomes et de la géométrie de la molécule ;

- Enfin, dans le paragraphe « Cohésion et transformation de la matière », les élèves doivent savoir que toute charge électrique peut s'exprimer en fonction de la charge élémentaire e (*i.e.* $+1,6 \cdot 10^{-19}$ C) et que la charge du proton est égale à la charge élémentaire. De plus, parmi les compétences à acquérir sont les suivantes : utiliser la représentation symbolique A_ZX d'un noyau ; Définir l'isotopie et reconnaître des isotopes ; Exploiter des informations sur la découverte de la radioactivité naturelle et de la radioactivité artificielle ; Utiliser les lois de conservation pour écrire l'équation d'une réaction nucléaire, etc.

À l'issue de cette section, se pose la question de savoir si l'enseignement de l'atome produit des apprentissages différents ou semblables (par rapport au cas grec), repérables dans le système des représentations - connaissances. Autrement dit, il s'agit de savoir quels sont les versants particuliers mis en exergue, à propos de ce thème d'étude scolaire, dans les deux enseignements, grec et français.

L'analyse des documents officiels français finalisée, nous tentons par la suite de confronter les deux systèmes éducatifs du point de vue des instructions institutionnelles.

1.3.3 Mise en comparaison des instructions noosphériques françaises et grecques

De la consultation des textes institutionnels officiels, il ressort que le thème de l'atome est en principe abordé, par les programmes français et grecs, de manière comparable. Effectivement, à l'exception du fait que ce thème se trouve, quant au cas grec, doublement enseigné (en physique et en chimie), les programmes présentent aussi bien de points communs que des particularités. Plus concrètement, les ressemblances observées sont les suivantes :

1. À l'issue du collège, les élèves sont initiés au modèle particulière de la matière, avec lequel différents phénomènes macroscopiques peuvent être interprétés (réaction chimique, courant électrique, etc.). L'atome, en tant qu'entité constituante des molécules, est aussi abordé. Enfin, sans entrer dans le détail, l'enseignement

- renseigne sur ses propres composantes : protons et neutrons formant le noyau et des électrons autour ;
2. L'enseignement de la structure atomique, sur la base d'un modèle opérationnel à usage scolaire et avec une description des modèles historiquement apparus, est principalement réservé pour la classe de seconde. Ce modèle de l'atome hybride constitue en réalité une simplification du modèle de Bohr, puisqu'il maintient quelques-unes de ses caractéristiques (couches K, L..., répartition des électrons en vertu des règles du duet et de l'octet, etc.) La classification périodique des éléments vient affermir la priorité donnée au thème de l'atome par les programmes de ce niveau de classe ;
 3. Les programmes des deux dernières classes du lycée se préoccupent plus ou moins de l'énergie nucléaire, de la radioactivité, des applications et retombées, etc. L'atome entre donc dans la classe de sciences de manière implicite. D'un point de vue didactique, le thème du nucléaire constitue un bon exemple de question scientifique socialement vive à usage scolaire.

Quant aux différences qui émergent de la juxtaposition entre les programmes français et grecs, on peut les synthétiser comme suit :

1. En troisième du collège grec, le programme de chimie inclut quelques éléments d'introduction sur le tableau périodique des éléments chimiques et, subséquentement, sur la configuration électronique de l'atomes simples. Par contre, les élèves français connaissent le concept d'élément en classe de la seconde ;
2. En première scientifique, mais aussi littéraire et économique sociale, les programmes français mettent en exergue les aspects nucléaires liés à l'atome, tant du point de vue scientifique que sociétal (défi énergétique, gestion des dégâts nucléaires, etc.). Au contraire, ce dernier versant du nucléaire est relativement beaucoup moins abordé par le programme grec des classes de terminale, toutes séries confondues. (En première, ni l'atome ni le nucléaire font explicitement partie des programmes) ;
3. En terminale scientifique grecque, l'atome est plus profondément abordé au sein de la chimie où est enseigné le principe d'aufbau – principe d'exclusion de Pauli, règle de Hund, principe d'énergie minimale ou, plus communément, règle de Klechkowski –, ainsi que le modèle probabiliste issu de la mécanique ondulatoire.

Cependant, le savoir autour de la dualité particule - onde se trouve également intégré dans le programme de la terminale S, au lycée français ;

4. Le modèle atomique de Bohr, avec ses postulats et son formalisme mathématique (incontestablement exigeant), traverse horizontalement les programmes de physique grecs, destinés aux trois séries de baccalauréat général, au moins jusqu'à l'année scolaire 2013-14. Au contraire, les lycéens français qui suivent les séries ES et L ne sont plus enseignés en la matière.

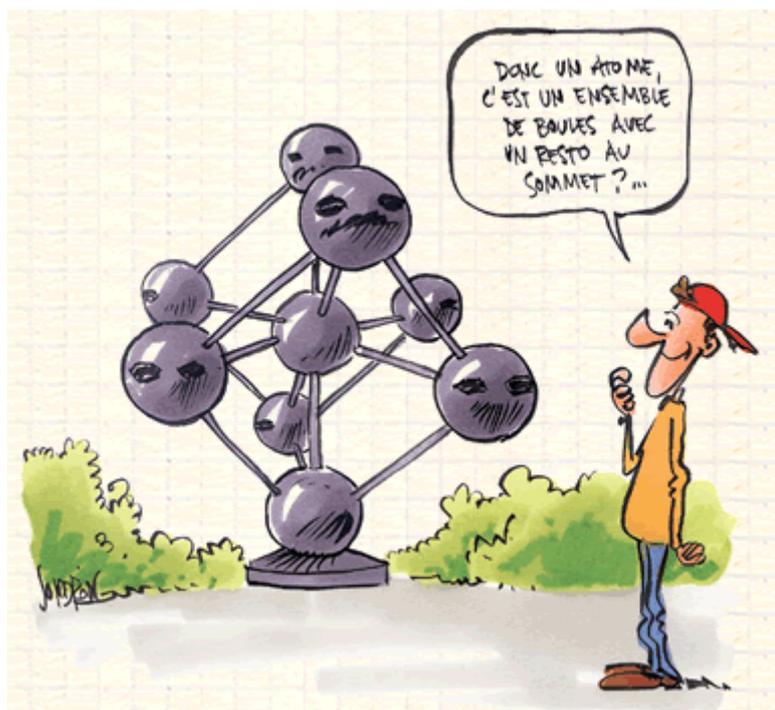
Pour clore, notons que les résultats comparatifs à propos du thème de l'atome tel que présenté à travers les manuels scolaires français et grecs font l'objet du chapitre 15.

CHAPITRE 2 : L'« ATOME » DANS DES ŒUVRES, EN CONTEXTES FRANÇAIS ET GREC

Ce chapitre a comme objectif d'argumenter sur l'apparition récurrente de l'objet « atome » dans les sociétés contemporaines, moyennant les « œuvres », une notion empruntée à Chevallard (1996). Contrairement à d'autres concepts, procédés, etc. relevant de la science, mais d'une nature plus technique (tel que le théorème de Bernoulli, l'oxydoréduction, etc.), l'« atome » préoccupe le sens commun qui le manipule, pour se l'approprier d'une manière compréhensible, sous le prisme des représentations sociales. L'élève, sujet à la fois épistémique et social, est donc assujéti à ces deux approches, scientifique et naturelle.

2.1 L'« atome » dans plusieurs œuvres

Les représentations sociales recouvrent l'ensemble des stéréotypes, croyances, opinions, images mentales, connaissances, etc. partagés par les individus d'un même groupe social, à l'égard d'un objet donné (cf. §6.1). Cependant, ces élaborations s'opposent aux constructions de l'expert ou du scientifique, précise Guimelli (1999). Selon cet auteur « les représentations sociales constituent un lieu privilégié où s'exprime la pensée sociale. » (*ibid.*, p. 63). Mais, comment une élaboration savante, abstraite à propos, par exemple, de l'atome – pour nous centrer sur notre problématique de départ – qui véhicule dans les ouvrages universitaires, les manuels scolaires, les sites web spécifiques, les médias, etc., devient en dernier ressort familière pour le groupe social ? Par le truchement de deux processus, expliquent les psychologues sociaux : l'objectivation et l'ancrage (cf. §6.3). Très sommairement, l'objectivation permet de simplifier, concrétiser la théorisation abstraite pour être intégrée dans le sens commun. L'ancrage conduit à établir l'articulation de la représentation au système de pensée sociale préalable ; autrement dit, c'est l'intégration d'éléments de connaissance nouveaux dans un réseau préexistant de catégories plus familières pour le groupe. Le dessin humoristique suivant nous a paru très parlant afin de caricaturer rapidement les processus qui ont lieu :



Source : cf. sitographie, lien 17

Figure 2.1 : La pensée de sens commun traite du concept de manière banale qui, finalement, peut l’user

À cet égard, Wagner et Hayes (2005) cités par Bangenrter (2008) donnent l’exemple de la théorie atomique. Le fait que le concept d’atome circule depuis déjà longtemps dans le savoir populaire, a entraîné une transformation de sa signification plus concrète :

celle d’un petit objet analogue à une bille. La matière serait ainsi constituée d’une multitude de petites billes. Cette représentation constitue l’objectivation du concept théorique et abstrait de l’atome. Elle est partagée par des adultes et mêmes des enfants de toutes les sociétés modernes (*ibid.* p. 21).

Dans le même esprit, nous citons, depuis le corpus d’entretiens que nous avons réalisés, la formulation d’un élève : « [...] la prof de physique-chimie a dit cette année que ça [molécule d’eau] ressemblait à la tête à Mickey. » Nous voyons donc comment l’objectivation, qui réduit le concept complexe aux boules daltoniennes, et l’ancrage, qui le rend familier en l’intégrant dans des catégories banalisées, interviennent dans la formation de la RS.

Par la suite, nous tentons d’esquisser, avec quelques exemples, la présence (la vie) de l’objet cognitif « atome » dans quelques « œuvres », terme pris dans le sens

chevallardien. Très brièvement, Chevallard (1996) considère que les savoirs produits dans des « lieux » bien précis doivent vivre aussi en d'autres lieux dans la société, pour satisfaire aux besoins sociaux. De ce fait, les savoirs subissent nécessairement des transformations, ce que l'auteur dénomme « transposition institutionnelle des savoirs » (cf. §7.1). Par la notion d'« œuvre », Chevallard entend toute élaboration humaine, fruit anonyme de l'action diachronique de collectifs innombrables, qui a pour finalité de répondre à des questions que la société pose. À titre d'exemple et pour ainsi emprunter à l'auteur, la République, la ville, l'École, la langue maternelle, le théâtre, les associations, l'Internet, etc. sont, en ce sens, des œuvres. Il convient ici de justifier la raison pour laquelle nous avons recours à la notion d'œuvre : comme nous l'avons plus haut relaté, le savoir scientifique relatif à l'atome est exporté des laboratoires de recherche, dans lesquels il a été produit, pour migrer dans plusieurs œuvres présentes dans les institutions éducatives, la littérature, l'art, les médias, etc. C'est grâce à sa présence dans des modalités d'œuvres au sein de diverses institutions que l'homme de la rue rencontre l'objet de « atome ». Ses différentes manifestations contribuent au processus d'élaboration de la représentation sociale à son propos chez les membres d'un groupe d'individus, soit qu'il s'agisse d'élèves grecs ou français, pour ne pas perdre de vue notre population cible. La figure suivante fournit des illustrations issues de la vie quotidienne qui démontrent l'omniprésence de l'atome dans différentes œuvres.



Figure 2.2 : a) Ancien billet de 500 francs français affichant le modèle atomique et le laboratoire des Curie ; b) La pièce de 2 euros commémorative Belgique affichant l'Atomium ; c) Ancien billet grec de 100 drachmes avec le buste de Démocrite et le modèle de l'atome ; d) timbre hommage à Niels Bohr avec sa photo et son modèle de l'atome ; e) message écologique de Greenpeace ; f) timbre relatif au discours du président des États-Unis Eisenhower, « Des atomes pour la paix », en 1953 ; g) L'art engagé du tatouage : « atome sans noyau » ou, un monde sans nucléaire ; h) Panneau indiquant, en grec, l'Université « Démocrite », à Thrace ; i) La Une d'un journal français consacrée à un des essais nucléaires, liés à la politique de dissuasion nucléaire de la France

Outre ces évocations figuratives, le thème de l'atome et ses implicites attirent l'intérêt de plusieurs écrivains, poètes, cinéastes, musiciens, etc. dans le monde entier : ces œuvres emplissent notre quotidien. À titre indicatif, nous rappelons la chanson «Enola Gay», succès musical des années 1980, dont le titre fait référence à l'avion éponyme qui,

en août 1945, a largué la première bombe atomique sur la ville de Hiroshima. Une autre chanson de Moby, artiste de musique électronique américain, a pour titre «We are all made of stars» ce que la NASA vient de « vérifier » (au moins dans le sens littéral de la phrase) avec l'astronome Michelle Thaller qui explique que le fer dans le sang provient d'explosions de supernova archaïques (cf. sitographie, lien 18). Autre évocation de l'atome, tous les 7 Octobre, jour de naissance de Niels Bohr, les moteurs de recherche Internet lui consacrent un doodle. Mentionnons encore les innombrables reportages et photoreportages, interviews, documentaires, etc. qui s'emparent du fait nucléaire civil et militaire. Le plus récent incident ayant reçu un écho médiatique universel, celui de Fukushima, continue de hanter l'actualité. De même, l'atome pénètre le culte : ce mot est mentionné dans plusieurs sourates du Coran. À titre indicatif, nous empruntons à Ibrahima Sakho, Enseignant - Chercheur au Département de Physique de l'UFR de Sciences et Technologies de l'Université de Ziguinchor au Sénégal, qui cite le verset suivant (traduction de l'auteur) :

Quiconque fait un bien fût-ce du poids d'un atome, le verra, et quiconque fait un mal fût-ce du poids d'un atome, le verra. Sourate 99 / V. 7-8.

L'usage de cette allégorie, selon laquelle le bien et le mal sont matérialisés au travers de l'atome signale, d'après Sakho, que « toute action, bonne ou mauvaise, si minime soit-elle sera notifiée à son auteur le Jour de la Résurrection. » (Source : cf. sitographie, lien 19). Enfin, dans la presse spécialisée dans la vulgarisation scientifique, ou bien en littérature, sont apparus, pour le grand public, des articles, des études historiques, des best-sellers de Prix Nobel ou d'autres écrivains - scientifiques de renom, des romans, etc., tels que :

1. « Les intuitions atomistiques : essai de classification », de Gaston Bachelard ;
2. « L'atome dans l'histoire de la pensée humaine », de Bernard Pullman ;
3. « Lumière et matière - Une étrange histoire », de Richard Feynman ;
4. « Les atomes », de Jean Perrin ;
5. « La désagrégation de l'atome », de Gueorgui Ivanov ;
6. La bande dessinée « Souvenirs de l'empire de l'atome », de Thierry Smolderen et Alexandre Clérisse.

La liste n'étant pas exhaustive, ce ne serait pas exagéré, pensons-nous, d'inférer que le concept d'« atome » rencontre un écho chez l'homme de la rue et pas seulement chez les scientifiques.

2.2 L'« atome » dans les dictionnaires

Il serait raisonnable d'explorer séparément ce genre d'œuvres particulières – par rapport à notre point de vue didactique – que sont les dictionnaires. En effet, avant l'ère d'Internet, ceux-ci constituaient, avec les encyclopédies, les ressources domestiques les plus accessibles pour l'apprenant. Même aujourd'hui, ces ressources classiques, bien que plus ou moins évincées par la toile, continuent à offrir la garantie que les informations fournies – ou éléments de réponse pour telle ou telle question⁹ (cf. §5.5) – sont légitimes et fiables, tandis que l'intentionnalité et la crédibilité des ressources Web restent fortement discutables... Comme le souligne Lahlou (2007), le dictionnaire (à l'encontre de l'encyclopédie) :

offre théoriquement l'avantage d'être un système fermé et entièrement auto-défini, sans référence au monde extérieur [parce que] tous les mots utilisés comme traits de description y figurent également comme entrée de définition. (*ibid.*, p. 41).

Pour l'auteur, le dictionnaire en tant que dépositaire de la culture humaine, contient du savoir social sédimenté et renvoie au vécu du monde, représenté dans le discours depuis les origines.

Par conséquent, l'atome « vit » dans des dictionnaires français et grecs. Plus précisément, le dictionnaire français Larousse et sa version électronique (cf. sitographie, lien 8) donne, à propos de l'entrée « atome », les éléments suivants (les passages en italique servent d'illustrations et le symbole « < » se lit « dérive de ») :

- Étymologie : latin *atomus* du grec *atomos*, qu'on ne peut couper ;
- Définitions :
 - Constituant fondamental de la matière dont les mouvements et les combinaisons rendent compte de l'essentiel des propriétés macroscopiques de celle-ci. (Un corps constitué de l'atomes de même espèce est appelé corps simple ou élément chimique) ;
 - Synonyme familier de « énergie nucléaire » : L'ère de l'atome. Autres synonymes : bribe, brin, grain, miette, parcelle, particule, poussière ;
 - Partie infiniment petite de quelque chose ; grain, miette : Il n'a pas un atome de bon sens ;
 - Philosophie : Élément indivisible, chez les philosophes matérialistes grecs.

⁹ D'un point de vue didactique, un dictionnaire constitue un « média » à l'apprentissage, d'après la modélisation initiée par Chevillard 2007, en théorie anthropologique du didactique.

- Expressions :
 - Familier : « Avoir des atomes crochus avec quelqu'un », avoir avec quelqu'un des points communs qui font naître un courant de sympathie ;
 - Anthropologie : « Atome de parenté », structure la plus élémentaire de parenté, comprenant le sujet, la mère, le père et l'oncle maternel ;
 - Philosophie : « Atomes crochus », atomes que les systèmes de Démocrite et d'Épicure supposent recourbés en croc, pour leur permettre de s'attacher les uns aux autres.

En outre, le Nouveau Petit Robert (édition 2008) après avoir indiqué l'étymologie du mot (latin *atomus* du grec *atomos* « indivisible »), en fournit deux significations :

- En Philosophie : Selon les atomistes anciens (Leucippe, Démocrite, Épicure, Lucrèce), élément constitutif de la matière, indivisible et homogène. *Atomes crochus*. Sens figuratif : Chose d'une extrême petitesse ;
- En Chimie : Particule d'un élément chimique qui forme la plus petite quantité susceptible de se combiner. *La molécule d'eau (H₂O) contient deux atomes d'hydrogène et un d'oxygène*. Sens en physique nucléaire : Cette particule en tant que système complexe (selon des modèles conceptuels successifs). *L'atome est formé d'un noyau (cf. lemmes proton ; neutron) et d'un nuage d'électrons. Atomes d'un corps simple différant par leur nombre de neutrons (cf. lemme isotope). Atome radioactif : marqué. Fission du noyau de l'atome (cf. lemmes atomique, nucléaire).*

Par ailleurs, nous pouvons consulter le « dictionnaire du grec standard » (cf. sitographie, lien 9), qui a été édité en 1998 par l'Institut d'études des Lettres grecs modernes de l'Université d'Aristote, à Thessalonique. Pour le mot en question apparaissent deux entrées, celle relative à l'individu et l'autre relevant des sciences physiques. Concrètement, on peut y trouver les connotations suivantes :

- 1a. L'Homme comme unité avec ses caractéristiques uniques et particulières, en distinction au groupe, à la société : *La déclaration des droits de l'individu et du citoyen*. [...] ; b. La personne, l'être humain : *Personne suspecte, intelligente, etc.* || (en tant qu'unité numérique) : *Invitation pour deux personnes [...]*. 2. Tout organisme biologique en distinction à l'espèce, à la troupe : *La reine des abeilles est le seul individu femelle fertile de la colonie* ;

Étymologie : du grec ancien atomon [ἄτομον], neutre de l'adjectif atomos [ἄτομος], insécable, indivisible. Cette acception du mot atome constitue un emprunt sémantique au mot français « individu ».

- I. En Chimie et en Physique : la partie minimale de matière d'un élément chimique, qui ne peut pas être divisée par des procédés ordinaires : *Il existe autant d'espèces d'atomes que d'éléments chimiques. Les concepts d'atome et de molécule coïncident dans le cas où la molécule n'est constituée que d'un seul atome. L'atome d'hélium est constitué de deux protons, deux neutrons et deux électrons. La molécule d'eau contient deux atomes d'hydrogène et un d'oxygène. La désagrégation de l'atome.* II. En Philosophie : l'atome des philosophes atomistes anciens (Leucippe, Démocrite, Épicure), la partie ultime, homogène et indivisible et de la matière.

Étymologie pour le sens II : grec ancien atomon [ἄτομον], neutre de l'adjectif atomos [ἄτομος], insécable, indivisible | Pour le sens I : Emprunt sémantique du mot français « atome » < grec ancien ἄτομον.

Enfin, dans le « dictionnaire de la langue grecque moderne » (Mpampiniotis, 1998) sont recensées cinq acceptions du mot « atome ». Plus particulièrement :

- En Chimie : La plus petite particule de matière d'un élément chimique qui conserve ses propriétés et est constituée de protons, neutrons et électrons. *Désagrégation de l'atome* (cf. lemme fission nucléaire) ;
- Quantité de matière infinitésimale hypothétique non susceptible d'être davantage divisée. Synonyme : élément, molécule ;
- En Biologie : tout organisme simple ou isolé qui constitue, par lui-même [*i.e.* de manière autonome], de l'existence, en distinction avec l'« espèce » ;
- Tout être humain séparément et en distinction avec les autres humains et avec l'ensemble des gens ; le particulier, par rapport au groupe, à l'ensemble social. Synonyme : la personne. Cette acception a été conçue et introduite dans le grec moderne en 1804 (avec les termes «ἄτομο», «ἄτομικισμός», etc.), afin d'attribuer les notions « individu / personne », « individualisme », etc. créées en Europe les XVIII^e et XIX^e siècles (Mpampiniotis, 2011, p. 315) ;
- L'humain en tant que personne, en tant qu'entité distincte par les autres : *je vous garantie personnellement de cette personne, personne inconnue, personne cultivée, [...]*. Synonyme : humain, personne. Antonyme : groupe, ensemble.

D'un point de vue étymologique, l'auteur nous indique que le mot vient du grec ancien atomon [ἄτομον], neutre de l'adjectif atomos [ἄτομος], insécable < ἄτμητος < ἄ privatif -τομος < τομή [coupure, incision] < τέμνω [couper, inciser].

Il ressort de ces ressources deux remarques importantes : premièrement, bien qu'une sorte de définition scientifique de l'atome soit fournie, les dictionnaires attribuent également au concept, par la rubrique des synonymes, des significations nébuleuses ou métaphoriques, relevant du sens commun, par exemple les suivantes : élément, grain, muette, etc. Cependant, chez l'usager profane, cela peut déclencher, le cas échéant, un processus de mise en cause de la rigueur scientifique à partir de laquelle il faut penser l'atome ; deuxièmement, en contexte grec et par un effet de langage, l'« atome » entre en scène beaucoup plus fréquemment qu'en contexte français – où il n'a qu'un usage sophistiqué –, mais dans sa signification anthropologique : l'atome désigne l'individu. Encore plus grave, comme son étymologie – basée sur le verbe (ancien et moderne) «τέμνω» (couper, inciser) – n'est guère triviale chez l'homme de la rue, celui-ci ne prend pas conscience de ce que ce mot dit : « a-tome », qu'on ne peut plus couper. Il se réduit en un son conventionnel pour entendre « individu ». En effet, un élève issu d'un milieu culturellement défavorisé va connaître pour la première fois le verbe «τέμνω» et, par extension, construire le sens du substantif associé «τομή» (intersection) en géométrie, à travers par exemple le savoir concernant les diagonales d'un parallélogramme qui se coupent en leur milieu. En bref, aussi bien pour les français que pour les grecs, l'« atome » (en sciences physiques et chimiques) ne va pas de soi de par son étymologie, mais il s'agit de quelque chose qui s'apprend.

CHAPITRE 3 : L'« ATOME » DANS L'HISTOIRE DE LA PENSÉE SCIENTIFIQUE

Dès son apparition, le concept d'atome n'a guère cessé d'interpeler la pensée humaine à partir de nombre d'élaborations antinomiques, que nous allons esquisser dans ce qui suit. Ensuite, nous porterons un regard sur les obstacles épistémologiques, relatifs à ce concept, qui ont freiné l'avancée de l'esprit.

3.1 Bref historique du concept

À coup sûr, l'idée atomiste a connu, dans l'histoire de la pensée scientifique et philosophique, une péripétie remarquable. Initialement apparue en Grèce antique comme une méditation philosophique, elle était combattue pendant plus de vingt siècles jusqu'à sa validation et son intronisation en tant que concept scientifique au début du XIX^e siècle. Tout au long de cette période, l'atome a suscité de vives controverses scientifiques, épistémologiques, mais aussi religieuses.

Le premier épisode majeur de cette joute intellectuelle remonte à l'Antiquité avec les philosophes présocratiques, Thalès, Pythagore, Parménide, Démocrite..., qui ont vécu du VII^e siècle av. J.-C. jusqu'au IV^e siècle av. J.-C. L'événement culturel capital de cette époque consiste en la recherche d'explications rationnelles pour le monde observable, à la base de la « désacralisation et [de] la démythologisation du problème ontologique [...], sans le contours de dieux ni des récits fabulateurs, mais avec les concepts d'être, de devenir, d'éléments, de matière, d'esprit. » (Morin, 1991, p. 53). Thalès, le fondateur de l'École de Milet, et ses successeurs dont Anaximandre, Anaximène et Héraclite, recherchaient les substances primordiales et les principes qui régissent chaque forme créée dans la nature, tels que l'eau, le feu, l'« apeiron », etc. En 420 av. J.-C., Leucippe de Milet invente la notion d'« atome » (insécable) pour étayer son postulat atomiste de discontinuité (granularité) de la matière¹⁰. Il admet deux principes : le plein et le vide. Certes, son hypothèse philosophique repose sur l'intuition ; cependant, elle s'avérera être, dans

¹⁰ En Inde antique, sont, également apparues plusieurs doctrines atomiques, associées à des différents systèmes théologiques (bouddhisme, etc.). Fruits de germinations spontanées ou de contacts inconnus entre les savants indiens et grecs, ces deux genres d'atomisme présentent des ressemblances, mais aussi des particularités importantes.

l'histoire des sciences, la pierre angulaire pour la compréhension du monde. Comme le dit Bachelard (1938 / 2004),

avant tout, il faut savoir poser des problèmes. [...] C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit. (*ibid.*, p. 16).

À Abdère, cité grecque de la Thrace antique, Démocrite (~ 460 - 370 av. J.-C.), disciple et continuateur de Leucippe, enseignait que la matière est constituée de corpuscules invisibles (à cause de leur extrême petitesse), indivisibles, pleins (pas de vide à l'intérieur) et entourés d'un espace vide. Ils peuvent se combiner entre eux d'innombrables manières différentes, ce qui explique la diversité observée dans la nature (cf. figure 3.1, ci-dessous).



a) Source : Manuel de Physique-Chimie 4^e, Belin, 2007

b) Source : Manuel de Physique-Chimie 2^{de}, Nathan, 1997

Figure 3.1 : La conception des « atomes crochus » qui s'accrochent entre eux, assurant ainsi la cohésion des corps

Chez Démocrite, les atomes sont à la fois éternels, invariables et en perpétuel mouvement, des priorités qui viennent satisfaire aux postulat de Parménide (l'être comme principe un, immuable) et d'Héraclite (thèse du mouvement universel), stipulent indépendamment l'un de l'autre Pullman (1995) et Pelegrinis (1998).

Le protagoniste du deuxième épisode de la théorie atomique ancienne est Épicure (~ 341 - 270 av. J.-C.), fondateur de l'épicurisme, doctrine matérialiste et atomiste dans laquelle s'inscrit, un peu plus tard, le poète et philosophe latin Lucrèce. Épicure remet en forme les idées des premiers philosophes atomistes, Leucippe et Démocrite, et introduit l'hypothèse du « clinamen » (Pullman, 1995, p. 55), selon laquelle toute création dans la nature est due à la déclinaison des atomes, dans leur chute vers le bas, et aux chocs ainsi

produits entre eux. Pourtant, cette thèse n'a jamais eu beaucoup de partisans. Au fil du temps, la doctrine atomiste se heurtera à l'antiatomisme des philosophes socratiques et stoïciens, notamment les autorités Platon et Aristote ; ce dernier adoptant la théorie antérieure des quatre éléments d'Empédocle (l'eau, la terre, l'air et le feu auxquels il ajoute un cinquième, l'éther). Inévitablement, l'atomisme sombrera dans l'oubli pendant de longs siècles – et aussi, à cause de la destruction de la bibliothèque d'Alexandrie et, plus tard, des objections vives que l'Église opposera à la théorie atomique – jusqu'à ce que l'anglais Dalton (1766-1844) admette, d'après ses expérimentations, que les gaz sont constitués d'atomes en mouvement.

Mais auparavant, il mérite de nous attarder pour suivre très brièvement les tentatives de certains scientifiques des Lumières (XVII^e - XIX^e siècle) afin de redynamiser la théorie atomique. Dans cette troisième épisode, plusieurs hommes scientifiques de renom, dont Galilée, Gassendi, Boyle et Newton reconnaissent l'existence de petits corpuscules dans la nature. En revanche, d'autres, comme Descartes et Leibniz, sont des antiatomistes déclarés. Un des premières indices de la validité de la théorie atomique arrive avec le français Pierre Gassendi (1592-1655) qui ose s'opposer au rejet du vide proclamé par Aristote, depuis des lustres. Sa certitude de l'existence du vide (conformément à l'atomisme antique) sera renforcée par les expériences d'Evangelista Torricelli et de Blaise Pascal sur la pression de l'air. Pour Gassendi, l'atome est bel et bien

un corpuscule réel bien qu'extrêmement petit : la forme des atomes est ainsi la source de différences perceptibles. Ainsi, par exemple, des atomes pointus constituent des choses piquants ou amères, des atomes ronds des choses fluides et douces. (Pullman, 1995, p. 154).

Notons au passage que cette conception est liée à l'obstacle mécaniste, un des obstacles épistémologiques (cf. §3.2) qui ont entravé la pensée scientifique. Cependant, Gassendi, par sa tentative de « christianisation de l'atomisme », comme le formule Pullman, rejette, devant le dogme de la création, le caractère éternel des atomes non créés et affirme qu'ils ont été créés par Dieu. Un autre personnage emblématique vers la fin du XVI^e siècle, Giordano Bruno, critique vivement la philosophie d'Aristote et défend, puisque hylozoïste, un atomisme doublé d'un vitalisme : « L'atome est centre de vie, il est un point où vient s'insérer l'Âme du monde. » (P.-H. Michel, 1960 cité par Thuillier, 1997, p. 100). Enfin, Thuillier (*ibid.*, p. 103) conte parmi d'autres expériences celle du médecin français Jean-Chrysostome Magnenus qui calcula – un siècle avant Avogadro – le nombre des atomes contenus dans un grain d'encens de la taille d'un petit pois. Ils auraient dû être au moins

de 777 600 000 000 000 000 (approximativement $7,8 \cdot 10^{17}$ atomes). Pour une comparaison, ce résultat se rapproche de la constante d'Avogadro $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ atomes / mol, un bon siècle avant.

En bref, pendant la Renaissance et les Lumières, où la censure de l'Église romaine s'impose sur toute idée critiquant l'aristotélisme et favorisant la recherche expérimentale, l'atomisme ancien s'actualise, mais sous des versions diverses et parfois ambiguës, comme nous en informe l'épistémologue Pierre Thuillier (1997, p. 89).

Avec les expérimentations de Lavoisier (fin de XVIII^e siècle) sur la composition de l'air et de l'eau, celles de Dalton (début du XIX^e s.) sur les mélanges des gaz, ainsi que celles faites par beaucoup de chimistes (dont Richter, Proust, Avogadro...) sur les proportions observées avec lesquelles réagissent les substances dans les réactions chimiques, nous assistons à un nouvel épisode de l'histoire de l'atome : l'avènement de l'atomisme scientifique, basé désormais sur des démonstrations expérimentales. Au fil du temps, davantage de preuves irréfutables s'accumulent de sorte qu'à la fin du XIX^e siècle la réalité de l'existence des molécules et des atomes est amplement reconnue. Cependant, parmi les derniers adversaires de l'atomisme figurent les équivalentistes et les énergétistes. Perrin écrit en 1913 que les premiers utilisaient, sous le nom d'« équivalents », une certaine liste de nombres proportionnels pouvant donner les rapports dans les composés, tel que l'eau, avec la valeur 8 attribuée au rapport O / H. Marcellin Berthelot (1827-1907) défendait avec persévérance l'équivalentisme, à savoir la thèse que la chimie doit être une science positive, expérimentale avec comme objectif d'établir des classifications et des relations entre les phénomènes observables et non pas entre des hypothèses arbitraires et confuses que le sont les atomes, ce que dénonçait ce chimiste (Pullman, 1995, p. 288). Depuis ses postes élevés dans l'administration française, il n'autorisait pas l'enseignement de la théorie atomique jusqu'en 1890. Par ailleurs, l'énergétisme s'intéresse à l'étude purement phénoménologique de la nature, sous le prisme de la logique mathématique qui régit les lois expérimentales. Il n'y est pas question de concevoir des modèles, « ce qui implique inévitablement un refus de considérer comme démarche scientifique l'étude de la structure "intime" des corps », affirme Pullman (*ibid.*, p. 291). Les représentants les plus marqués de ce courant sont Ernst Mach (qui fut explicitement critiqué par Albert Einstein et Max Planck), Wilhelm Ostwald et Pierre Duhem. Einstein, avec son interprétation atomique du mouvement de Brown, a délibérément contribué à l'acceptation intégrale de la théorie atomique. Au-delà de la frontière de la science, la philosophie a été aussi

préoccupée par les atomes, avec Nietzsche, Marx et Bergson, mais en référence aux enseignements de leurs lointains prédécesseurs de la Grèce antique.

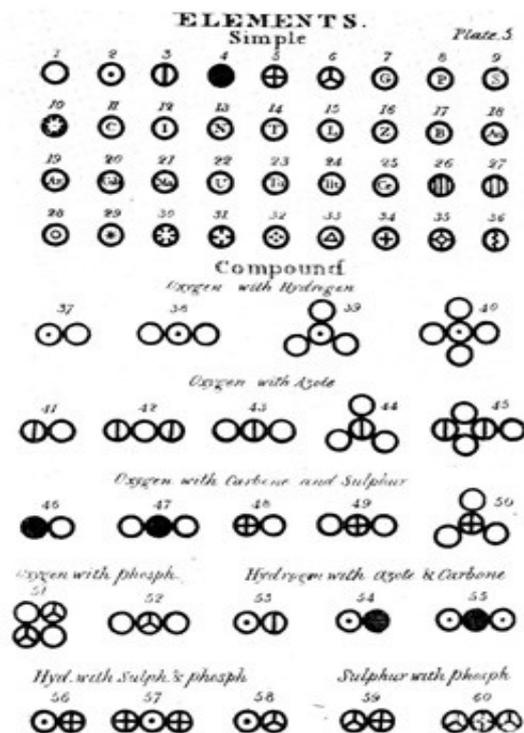
Par la suite, nous nous bornerons à décrire à grands traits les modèles de l'atome historiquement les plus importants.

3.1.1 Modèle de Dalton

Les caractéristiques importantes du modèle de l'atome élaboré par Dalton sont les suivantes :

1. Les substances pures (éléments chimiques et composés) sont composées de particules microscopiques, invisibles et indivisibles, les atomes ;
2. Les atomes d'un même élément sont tous identiques. Les atomes des éléments différents – une quarantaine d'éléments connus à l'époque – ont des poids différents ;
3. Les atomes des éléments peuvent se combiner entre eux avec des proportions simples (par exemple, 1 : 1 ou 1 ; 2, etc.) pour former les composés ;
4. Les atomes sont impérissables et ils se transportent d'un composé à l'autre, lors des réactions chimiques.

La figure suivante est extraite de l'œuvre de Dalton intitulée «A New System of Chemical Philosophy», parue en 1808.

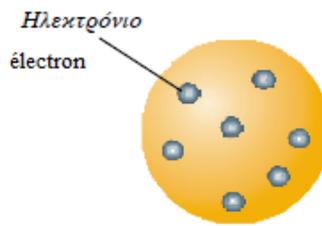


Source : Harman (1980)

Figure 3.2 : La représentation daltonienne des atomes et des molécules connus à l'époque. Il est caractéristique que Dalton utilisait pour les molécules le terme « atomes composés » (*compound atoms*)

3.1.2 Modèle de Thomson

En 1897, James John Thomson a découvert que l'atome possède une structure interne et a, ainsi, mis fin à l'hypothèse de l'atome insécable. Les petites particules de charge électrique négative ont été nommées des électrons. D'après son modèle, le fameux *plum pudding*, l'atome contient des électrons dispersés de façon homogène dans un volume de charge positive, comme les raisins dans un cake (cf. figure 3.3, ci-dessous) :



Source : Physique de Γ' de Lykeion (OEDB¹¹, 2002)

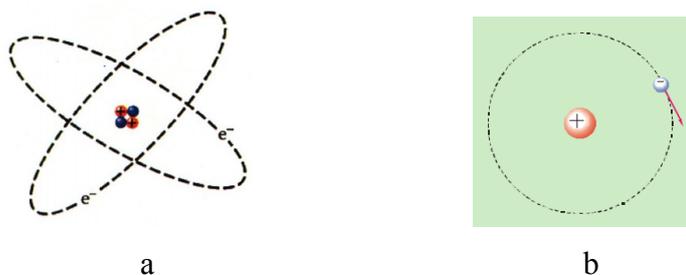
Figure 3.3 : Le modèle atomique de Thomson

3.1.3 Modèle de Rutherford

À la suite des travaux de Becquerel puis de Curie sur la radioactivité, Rutherford et ses collaborateurs ont étudié les résultats d'une expérience, selon laquelle des particules α traversent une mince feuille d'or sans déviation, à l'exception de quelques rares particules qui rebondissent en arrière. Cet effet remet en cause le modèle atomique de Thomson. Rutherford conclut que la charge positive de l'atome devrait être fortement localisée en un centre massif et compact, le noyau. Entre le noyau et les électrons il y a du vide. Ainsi, en 1911, il postule, par son article «*The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom*», une représentation lacunaire de la matière avec le modèle planétaire, affiché par la figure 3. 4 ci-après. Dans son modèle, les électrons gravitent autour du noyau (sur des orbites de rayons divers et avec des valeurs d'énergie variées), à la manière des satellites autour de la planète Neptune¹² (Mehra et Rechenberg, 1982 cités par Christidis, 1997).

¹¹ Organisme d'édition de manuels didactiques.

¹² Le premier, peut-être, modèle planétaire de l'atome a été lancé par le japonais Nagaoka, en 1904, qui l'assimila à Saturne avec son système d'anneaux.



Source : a) Chimie de A' de Lykeion (OEDB, 2001)
 b) Physique de Γ' de Lykeion (OEDB, 2002)

Figure 3.4 : Deux illustrations du modèle de l'atome planétaire de Rutherford (dit aussi modèle de Rutherford - Perrin). L'atome est vide, car la quasi-totalité de sa masse est concentrée dans le noyau qui, selon lui, est composé de particules positives et d'autres, sans charge électrique

3.1.4 Modèle de Bohr

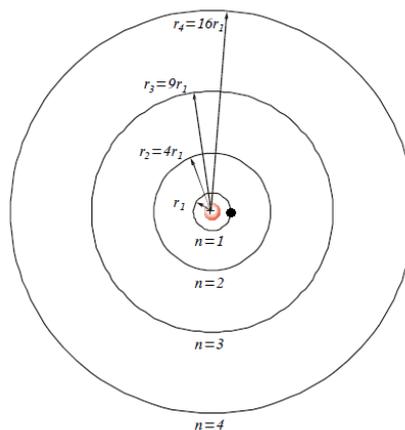
Le modèle de Rutherford échoue dans l'interprétation des spectres linéaires des gaz, tel l'hydrogène, puisqu'il prévoit un spectre d'émission continu, selon la théorie électromagnétique. En outre, l'électron se rapprocherait, au cours du temps, du noyau en vertu de la diminution de son énergie causée par son rayonnement. En tout état de cause, le modèle de Rutherford conduit à l'instabilité de l'atome. Niels Bohr publie, en 1913, l'article «*On the Constitution of Atoms and Molecules*» où il avance un modèle planétaire quantique (sur le cas le plus simple possible, l'atome de l'hydrogène) sur la base de deux axiomes rompant avec la physique classique de l'époque : l'axiome des « états stationnaires » qui correspondent à une série discrète de valeurs de l'énergie – définie, quant à l'hydrogène, par récurrence par $E_n = -13,6 \text{ eV} / n^2$, $n \in \mathbb{N}^*$ –, dans tout système atomique ; l'axiome du « quantum de rayonnement », selon lequel l'énergie qu'un atome émet ou absorbe est égale à la différence d'énergie entre les états initial et final du processus de transition électronique (Pullman, 1995, p. 325). De ces propositions découlent les corollaires suivants (Serway, 1990) :

1. mouvement circulaire de l'électron (sans rayonner de l'énergie) sous l'action de la force de Coulomb entre noyau et électron ;
2. quantification du moment cinétique orbital de l'électron (d'où l'exigence d'orbites précises) ;

3. niveaux d'énergie par état stationnaire (d'où la quantification de l'énergie) ;
4. transitions électroniques suivies d'émissions de photons monochromatiques,
 $\Delta E = hf$.

Parce que le but immédiat de ce modèle était de pouvoir interpréter les spectres d'émission de l'hydrogène, Bohr a négligé certains principes de la théorie classique, comme le rayonnement d'une charge électrique en accélération, qu'est l'électron dans l'atome. De surcroît, le « postulat de quantification [du moment cinétique] ne fait pas référence aux propriétés ondulatoires de l'électron [annoncées plus tard par De Broglie]. » (Kane et Sternheim, 1995, p. 625).

La figure d'après synthétise le modèle de Bohr pour l'hydrogène, avec les orbites précises, de rayons $r_n = n^2 \alpha_0$ où $\alpha_0 = 5,29 \cdot 10^{-11} \text{ m}$, le rayon de Bohr (cf. r_1 dans la fig. 3.5) et $n = 1, 2, 3 \dots$ les nombres quantiques principaux correspondant aux couches K, L, M... :



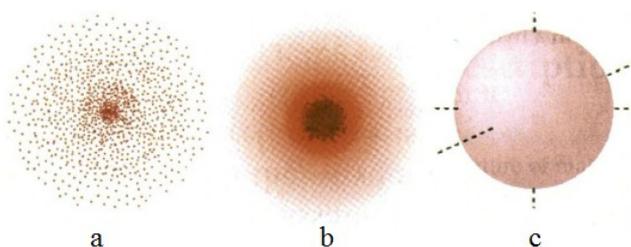
Source : Physique de Γ' de Lykeion (OEDB, 2002)

Figure 3.5 : Le modèle atomique de Bohr avec les orbites autorisées. Le dessin n'est pas à l'échelle

Le modèle atomique de Bohr sera poussé plus loin par Sommerfeld et Wilson qui tiennent aussi compte des orbites elliptiques (ovales), afin de décrire de manière quantitative la structure fine des raies spectrales de l'hydrogène.

3.1.5 Modèle probabiliste

Le modèle de Bohr s'avère peu efficace dans l'interprétation des spectres de l'atome polyélectronique, tout comme l'interprétation de la liaison chimique. Vers 1925 la science connaît une révolution radicale dans son histoire avec la naissance de la physique quantique : ses aspects probabilistes dans les mesures sur les particules subatomiques et le principe d'incertitude mettent en cause la mécanique classique où l'énergie est une grandeur continue et le mouvement des particules déterminé (Akrivos, 2010). Dans le cadre du nouveau paradigme, Erwin Schrödinger puis Werner Heisenberg et Paul Dirac fondent la mécanique ondulatoire, s'appuyant sur l'idée de dualité onde - corpuscule pour les particules, initiée par Louis de Broglie. Dorénavant, l'électron n'est plus animé d'un mouvement de révolution à la manière d'un « satellite » sur son orbite géométriquement précise. Dans l'atome l'électron « se dissout » en un « nuage » diffus qui s'étend autour du noyau. Par une propriété intrinsèque au micromonde, il est impossible de localiser l'électron dans l'espace, la seule possibilité étant de calculer la probabilité de sa présence ici ou là, dans l'orbitale. Cette dernière notion mathématique renvoie à des régions de l'espace autour du noyau qui remplacent l'orbite classique de Bohr. La figure suivante présente trois modes pour illustrer le modèle de l'atome probabiliste.



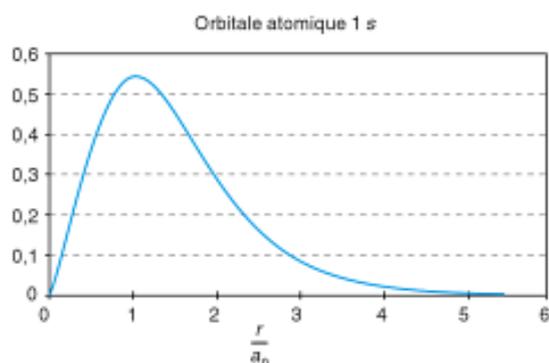
Source : Chimie de Γ' de Lykeion, TS (OEDB, 2000)

Figure 3.6 : Le modèle probabiliste de l'atome, ou modèle quantique moderne¹³, représenté par trois modes : a) points ; b) gradation de couleur ; c) surface frontalière. L'électron a d'autant plus de chance de se trouver dans une région de l'espace autour du noyau qu'il y a de points dans cette zone (a) ou que la couleur est plus foncée (b). L'orbitale 1s pour l'atome d'hydrogène¹⁴ avec un rayon orbitalaire $r = a_0 = 0,529 \text{ \AA}$ (c)

¹³ Par opposition au modèle quantique ancien, à savoir celui de Bohr.

¹⁴ Par catachrèse, on identifie l'orbitale – qui est définie comme une fonction d'onde – à la région de l'espace qu'occupe le nuage électronique. Ainsi, on dit par abus de langage « l'électron occupe une orbitale ».

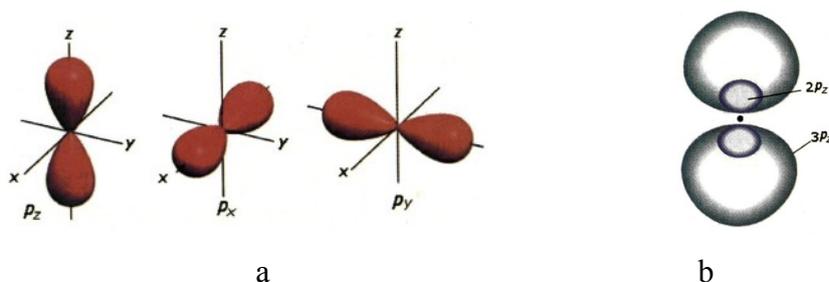
La figure d'après donne l'évolution de la densité radiale de probabilité de présence de l'électron en fonction de la distance r au noyau. Il est étonnant que cette courbe soit maximale pour $r = a_0$, c'est-à-dire, la distance la plus probable entre l'électron et le noyau est égale au rayon de Bohr, qui correspond à la première orbite dans le modèle éponyme (cf. aussi figure 3.6).



Source : Chimie PCSI option PC, Classe Prépa (Nathan, 2006)

Figure 3.7 : Densité de probabilité radiale en fonction de la distance r au noyau, à l'atome d'hydrogène

Si pour les modèles antérieurs, l'atome a une forme sphérique, dans le modèle probabiliste, cette forme ne correspond qu'à des orbitales s (cf. figure 3.7, ci-dessus). En général, la forme géométrique – qu'il ne faut pas penser avec la rigueur mathématique, justement en raison du caractère probabiliste – dépend du genre de symétrie que représentent les orbitales. Dans la figure d'après, nous en illustrons quelques-unes :



Source : Chimie (TS) de Γ' de Lykeion (OEDB, 2000)

Figure 3.8 : a) Les trois orbitales p ; b) Formes et dimensions relatives des orbitales $2p_z$ et $3p_z$ de l'atome d'hydrogène. Dans tous les cas, le noyau atomique est au centre de symétrie

Pour clore cet exposé historique assez court, il faut d'évoquer quelques grands moments consubstantiels à l'étude scientifique de l'atome qui ont marqué la science et l'humanité : le tableau périodique des éléments de Mendeleïev, la découverte de la radioactivité, notamment avec les Curie, la diffraction des rayons X par les cristaux, la découverte du neutron par Chadwick, l'interprétation de l'École de Copenhague de la mécanique quantique et sa vérification par différentes expériences (Bell, 1964 ; Aspect, 1982 ; Tittel, 1998), la construction de la bombe atomique, les particules élémentaires décrites par le modèle standard (fermions dont les quarks, bosons), la fission nucléaire et, plus récemment, les nanotechnologies qui permettent de manipuler la matière au niveau atomique. Or, cette course à l'artificialisation de la nature et à la reconceptualisation du rapport conventionnel humain / machine (Bensaude-Vincent, 2004) soulèvent des questions d'ordre éthique auxquelles l'humain doit réfléchir.

3.2 Obstacles épistémologiques

Dans l'objectif d'analyser les conditions psychologiques du savoir scientifique, Bachelard (1938) soutient la thèse que la science progresse par le franchissement des préjugés, croyances, assertions, etc., faisant office de connaissances antérieures, mais constituant, en réalité, des « causes de stagnation et même de régression [...] causes d'inertie » qu'il appelle des obstacles épistémologiques (*ibid.*, p. 15). Ces « connaissances mal faites » sont inhérentes à l'acte de connaître, souligne l'auteur, en ce sens qu'elles se présentent comme des entraves, pourtant constructives, sur le chemin vers la connaissance

scientifique. Par conséquent, il ne s'agit simplement pas d'erreurs ni de difficultés dans la résolution d'un problème pour lequel les moyens pour des solutions sont déjà disponibles au plan théorique (Bouazzaoui, 1988, p. 32-33), mais des habitudes intellectuelles, des expériences primitives sans critique, des connaissances fort généralisées, des images familières, des routines, des préjugés métaphysiques d'origine socioculturelle et psychologique enracinés dans l'inconscient du chercheur. Le dépassement de ces troubles exige « une restructuration de la connaissance et un changement important de point de vue », précise cette auteure.

Allant à l'essentiel, avec sa notion d'obstacle épistémologique, Bachelard reprend la distinction entre *doxa* et *épistémè*, chez Platon, en des termes de discontinuité, de rupture entre l'opinion ou connaissance de sens commun et la connaissance scientifique. Dans ce sens, écrit Bachelard, « on connaît contre une connaissance antérieure, en détruisant des connaissances mal faites, en surmontant ce qui, dans l'esprit même, fait obstacle à la spiritualisation. » (*ibid.*, p. 15). Et, plus bas :

La science [...] s'oppose absolument à l'opinion. [...] L'opinion pense mal ; elle ne pense pas : elle traduit des besoins en connaissances. [...] On ne peut rien fonder sur l'opinion : il faut d'abord la détruire. Elle est le premier obstacle à surmonter. (*ibid.*, p. 16).

À titre d'exemple, la connaissance unitaire et pragmatique fait obstacle à la pensée : l'intuition d'une Nature (tantôt Lumière, tantôt Ciel, etc.) homogène et harmonique est soulevée, par l'esprit préscientifique, en principe d'explication générale. Cette croyance conduit à « poser une surdétermination » que vient masquer la détermination. À la suite du surdéterminisme, de nombreux expérimentateurs concluent à une corrélation universelle des phénomènes, d'où l'idée de l'astrologie. Or, l'obstacle épistémologique du rationalisme pragmatique, illimité et séduisant, immobilise le progrès scientifique, remarque l'auteur. Bachelard aborde également, parmi d'autres obstacles, celui de la première expérience subjective et simpliste, ou « l'obstacle du sensualisme sans critique ». À l'opposé, la pensée moderne, instruite dans les laboratoires, essaie d'objectiver toutes les variables de chaque phénomène spécifique à la recherche des lois. La rationalisation complexe et discursive de l'expérience doit émaner d'un processus de « rectification de raisons multiples », loin de « désirs inconscients et de passions sourdes » de l'humain, impliqués dans l'empirisme vulgaire, où, très souvent, la réponse précède une question peu raffinée, ce que le philosophe caractérise comme « inconscience de l'esprit scientifique. »

Il justifie d'ailleurs sa posture en s'appuyant sur des œuvres de savants de l'âge préscientifique, relatives à l'électricité et à l'alchimie.

Après avoir défini la notion d'obstacle épistémologique, passons maintenant à l'énoncé de quelques-uns relatifs à la structure et aux propriétés de la matière au niveau microscopique :

1. Obstacle de continuité de la matière :

Cet obstacle tourmentait l'esprit depuis très longtemps, en raison de l'authenticité d'Aristote qui s'opposa à l'hypothèse atomique (le monde est fait de l'atomes et de vide) par le fameux aphorisme « la nature a horreur du vide ». En effet, cet obstacle relève – pour emprunter à Bachelard – de la première expérience subjective et simpliste animée du pragmatisme immédiat, l'obstacle du sensualisme sans critique, lorsqu'Aristote retient la thèse que « le monde est tel que nous le percevons, le touchons, l'entendons ou le sentons. » (Pullman, 1995, p. 81). Et, c'est parce que les atomes étaient censés être éternels et exister depuis toujours, donc non pas créés par Dieu, que la conception aristotélicienne a reçu l'appui des religieux et a traversé les siècles qui suivirent, pendant lesquels il y a eu une perpétuation de cet obstacle. Les chimistes des XVII^e et XVIII^e siècles (Boyle, Lavoisier, Dalton...) ont pu le vaincre par la preuve scientifique de granularité de la matière et en ont su imposer un modèle corpusculaire ;

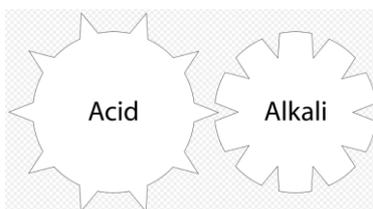
2. Obstacle réaliste :

Les propriétés macroscopiques de la matière sont censées caractériser les atomes eux-mêmes (De Vos, 1987 ; Anderson, 1990 ; Garnett et Hackling, 1995). En d'autres termes cet obstacle consiste en l'admission que la description au niveau microscopique se déduit de l'observation macroscopique. Par exemple, un morceau d'or est doré parce que chacun des atomes d'or l'est également, ou le fer est un matériau dur parce que les atomes de fer sont durs. D'après Laugier et Dumon (2003, p. 76) le franchissement de cet obstacle nécessite de renoncer « à l'idée qu'il est possible d'accéder à une description de la réalité [macroscopiquement perceptible] au niveau microscopique » ;

3. Obstacle mécaniste trivial :

Relatif au précédent, cet obstacle consiste en l'explication des perceptions saisies au niveau macroscopique de la matière, par les propriétés mécaniques de ses constituants venus du niveau atomique et moléculaire. Ainsi, un corps acide « a » des pointes, « il suffit

de le goûter pour tomber dans ce sentiment car il fait des picotements sur la langue » écrit en 1757 le chimiste français Nicolas Lémery (cité par Laugier et Dumon, 2003, p. 75). La figure ci-dessous représente le modèle de la liaison acide-base de Lémery, en 1680 :



Source : cf. sitographie, lien 20

Figure 3.9 : Une illustration de l'obstacle mécaniste

4. Obstacle de dualité microscopique - macroscopique :

Depuis déjà deux siècles, les phénomènes macroscopiques s'expliquent aussi bien par leurs aspects microscopiques (modélisation particulière) que par des lois statistiques d'observables macroscopiques (pression, température, concentration, etc.). Pourtant, la dichotomie entre équivalentistes et atomistes avant le XIX^e siècle – les premiers n'étant intéressés qu'aux résultats expérimentaux, alors que les deuxièmes cherchaient à confondre résultats et interprétation microscopique –, provoquait un obstacle à une approche complémentaire entre les deux démarches d'explication (Barlet et Plouin, 1997) ;

5. Obstacle animiste :

L'obstacle animiste renvoie à l'« intuition aveuglante qui prend la vie comme une donnée claire et générale » (Bachelard, 2004, p. 179) qui se propage dans le temps et dans l'espace ; ce que l'auteur qualifie de « vivacité ». Les explications de phénomènes physiques par le truchement de phénomènes biologiques ne sont pas rares. De fait, par une sorte d'anthropomorphisme visant à doter de plaisir ou de désirs la matière inerte, les atomes « veulent » compléter leur couche externe par huit électrons, répète souvent le professeur en classe des sciences, à propos de la règle de l'octet ;

6. Obstacle physicaliste :

Selon cet obstacle, le scientifique tente d'attribuer aux objets du réel modélisé les propriétés des objets physiques chargés de représenter les objets du modèle. Pour en

illustrer un exemple, les chimistes de l'époque de Dalton considèrent l'atome comme étant une entité insécable, conformément à son appellation grecque. Autre exemple, les corpuscules sont pensés comme des corps minuscules qui se heurtent entre eux, dans leur agitation thermique, par des chocs réels, tels ceux des boules de billard. À suivre Bachelard (1951) sur cette conception : « la notion de corpuscule conçue comme un petit corps, la notion d'interaction corpusculaire conçue comme le choc de deux corps, voilà exactement des notions obstacle, des notions arrêt de culture contre lesquelles il faut se prémunir » (*ibid.*, p. 85) ;

7. Obstacle verbal :

Il réside dans la fausse explication à base d'un seul mot, d'une image familière, d'une analogie simpliste. D'après Bachelard, « l'idée scientifique trop familière se charge d'un concret psychologique trop lourd, [...] elle amasse trop d'analogies, d'images, de métaphores, et [...] elle perd peu à peu son *vecteur d'abstraction*, sa fine pointe abstraite. » (2004, p. 17). Certes, il ne faut pas conclure que l'outil de l'analogie ne sert en rien à la science et à l'enseignement de la science. Cependant, la question cruciale réside dans le moment opportun pour utiliser l'analogie qui « dans la mentalité scientifique joue *après* la théorie. » À titre d'illustration, on peut évoquer l'analogie électron - Terre qui a la côte dans l'enseignement du concept de spin (Grivopoulos, 2014) lequel reste, néanmoins, une propriété quantique, sans analogue classique.

Bachelard envisage doublement l'étude des obstacles épistémologiques : dans le développement historique de la science, mais aussi dans la pratique de l'éducation. « J'ai souvent été frappé du fait que les professeurs des sciences [...] ne comprennent pas qu'on ne comprenne pas » écrit-il (Bachelard, 2004, p. 21). Selon son point de vue, l'élève, avant d'être enseigné en sciences, dispose déjà des connaissances empiriques. Donc, l'éducation ne vise pas seulement à faire « acquérir une culture expérimentale, mais bien de changer de culture [...], de renverser les obstacles déjà amoncelés par la vie quotidienne. » (*ibid.*, p. 21), un processus qu'il qualifie de « catharsis intellectuelle et affective ». Reprenant la notion d'obstacle épistémologique, Brousseau introduit celle d'obstacle (d'origine) didactique, quant à l'enseignement des mathématiques : c'est un obstacle généré par les choix d'enseignement ou les projets du système éducatif. Quant à l'enseignement de la physique et chimie, Astolfi et Peterfalvi (1993) considèrent l'obstacle comme le « noyau dur » des représentations des élèves, « ce qui fait résistance aux apprentissages et aux raisonnements scientifiques, tout en répondant de façon "confortable" aux besoins

d'explication des enfants. » (*ibid.*, p. 108). Par son « caractère plus général et plus transversal », ce noyau peut expliquer et stabiliser en profondeur une ou plusieurs représentations associées à différents thèmes d'enseignement. Celles-ci, soulignent les auteurs, apparaissent « comme les points d'émergence d'un même obstacle ». Les obstacles didactiques nous préoccuperont plus en détail dans la quatrième partie de la thèse où nous répondrons à la question suivante : quels obstacles didactiques peut déceler le travail d'analyse transpositive des manuels de physique-chimie français et grecs traitant du thème de l'atome ? Enfin, bien qu'une réciprocity absolue entre les obstacles épistémologiques, qui se sont historiquement incrustés sur le concept de l'atome, et les obstacles d'apprentissage, que rencontrent les élèves, ne puisse pas être établie, nous questionnons cependant les différentes composantes de ce thème d'enseignement pour savoir lesquelles font obstacle chez l'apprenant (cf. Partie 4).

CONCLUSION DE LA PREMIÈRE PARTIE

Le thème de l'atome est enseigné, en collège et en lycée, au sein de la discipline de physique-chimie, en France et, au sein des deux disciplines séparées et autonomes (physique et chimie), en Grèce. Dans les deux systèmes éducatifs, les programmes du collège abordent la structure de la matière et le modèle particulaire pour l'interprétation de quelques phénomènes physiques (changement d'états physiques, courant électrique, etc.) et chimiques (construction de molécules, réaction chimique, etc.). De manière comparable dans les deux cas, le savoir à propos de l'atome est principalement dispensé aux lycéens des classes de la seconde, en physique-chimie ou de A' de Lykeion, en chimie. Deux différences majeures sont à remarquer entre les deux contextes éducatifs : en premier lieu, les élèves français étudient le modèle atomique une seule fois dans leur scolarité, alors que les grecs, même ceux des séries autres que S, sont obligés d'en poursuivre l'étude dans le cadre des cours de physique de culture générale ; c'est une question ouverte en vue de la réforme des programmes mise en œuvre. Ainsi, dans le secondaire grec, est observé un effet de « désagrégation » de l'« atome » entre la physique et la chimie ; en second lieu et contrairement au cas français (où par décret existe le métier du « Professeur des sciences physiques et chimiques »), en Grèce, le poste correspondant est celui de « Professeur des sciences physiques », le terme englobant la physique, la chimie, la biologie, la géographie, la géologie et l'astronomie. Par conséquent, il est potentiellement possible qu'un enseignant, par exemple diplômé en chimie et donc instruit dans un cadre épistémologique donné, assure l'enseignement de la physique, et inversement. Ainsi et compte tenu de particularités transpositives de ce genre, nous formulons la question de savoir quelles convergences et, le cas échéant, divergences caractérisent les deux enseignements et comment se manifestent-elles dans les deux systèmes représentationnels étudiés.

Par ailleurs, l'atome, surtout en raison de son caractère socialement vif (cf. les questions de l'énergie nucléaire, des armes atomiques, les nanotechnologies, etc.), est présent, *via* des « œuvres », dans la vie de tous les jours, chez l'homme de la rue qui l'interprète comme un problème. Faute de connaissances spécifiques, il recourt au sens commun pour créer du sens autour de ce concept. Il s'établit ainsi un processus d'élaboration de représentation sociale, partagé par les individus d'un groupe social donné confronté à cet objet. Notre problématique comparatiste se centre sur des groupes sociaux particuliers : des élèves grecs et français, en collège et en lycée.

Enfin, nous avons évoqué quelques-unes des étapes majeures de la construction du concept d'atome, tout au long des vingt-cinq siècles depuis sa conception, ainsi que les obstacles épistémologiques associés qui ont marqué les péripéties suivies par les esprits qui se sont engagés dans un processus scientifique laborieux.

PARTIE 2

PROBLÉMATIQUE THÉORIQUE

CHAPITRE 4 : THÉORIE DES SITUATIONS DIDACTIQUES

Brousseau (1998 / 2004) retient de l'enseignement la conception que le maître et l'élève interagissent dans un milieu (physique et cognitif) à intentions didactiques et que le premier doit provoquer chez l'autre les connaissances souhaitables, en lui proposant des problèmes à résoudre, raisonnablement choisis. Dans sa modélisation, l'auteur introduit (parmi d'autres) les notions de situation adidactique, de situation didactique, de contrat didactique et de milieu. Le mot situation « désigne l'ensemble des circonstances dans lesquelles une personne se trouve, et des relations qui l'unissent à son milieu. » (Kuzniak, 2004). Et, selon le point de vue socio-épistémologique de Simonneaux (2011), la notion de situation signale

une démarche certes proposée par l'enseignant mais qui ne peut être totalement définie par lui et sous son contrôle car elle va être en interaction avec ce que vivent les élèves dans la classe et ce qu'ils perçoivent hors de la classe. (*ibid.*, p. 29).

Par conséquent, dans le cas des représentations sociales, il convient de tenir compte de la dimension sociale relative à cette complexité préexistante.

Nous revenons aux concepts élaborés par Brousseau pour les circonscrire tour à tour :

Situation adidactique :

L'élève sait bien que le problème [proposé par le maître] a été choisi pour lui faire acquérir une connaissance nouvelle [laquelle] est entièrement justifiée par la logique interne de la situation [et non pas] à des raisons didactiques. [L'élève] n'aura véritablement acquis cette connaissance que lorsqu'il sera capable de la mettre en œuvre [...] en dehors de tout contexte d'enseignement et en l'absence de toute indication intentionnelle. (*ibid.*, p. 59).

Si la situation adidactique est dénuée d'intention didactique, d'intention d'enseigner, la situation didactique apparaît chaque fois où une situation adidactique est aménagée *ad hoc* par le maître à des fins d'enseignement - apprentissage :

[...] le maître cherche à faire dévolution à l'élève d'une situation adidactique qui provoque chez lui l'interaction la plus indépendante et la plus féconde possible. [...] L'enseignant est donc impliqué dans un jeu avec le système des interactions de l'élève avec les problèmes qu'il lui pose. Ce jeu ou cette situation est la situation didactique (*ibid.*, p. 60).

En référence à ce « jeu », Brousseau (*ibid.*) définit le contrat didactique comme étant

la règle du jeu et la stratégie de la situation didactique. [...]. Alors se noue une relation [un système d'obligations et d'attentes réciproques] qui détermine [...] ce que chaque partenaire, l'enseignant et l'enseigné, a la responsabilité de gérer et dont il sera [...] responsable devant l'autre. [...].

- Le professeur est supposé créer des conditions suffisantes pour l'appropriation des connaissances [...];
- L'élève est supposé pouvoir satisfaire ces conditions ;
- La relation didactique doit « continuer » coûte que coûte ;
- Le professeur assure donc que les acquisitions antérieures et les conditions nouvelles donnent à l'élève la possibilité de l'acquisition. Si cette acquisition ne se produit pas, s'ouvre un procès à l'élève qui n'a pas fait ce que l'on est en droit d'attendre de lui mais aussi un procès au maître qui n'a pas fait ce à quoi il est tenu (implicitement). (*ibid.*, p. 61).

Selon Brousseau (1988), les situations didactiques

paraissent s'appuyer sur l'« intervention » d'un « milieu » dont on attend qu'il se manifeste par des propriétés « par exemple physiques » indépendantes de la connaissance des protagonistes. [...] Le milieu qu'il soit physique, social, culturel ou autre joue un rôle dans l'emploi et l'apprentissage des connaissances par l'enseignant et par l'élève, qu'on le sollicite ou non dans la relation didactique. (*ibid.*, p. 309).

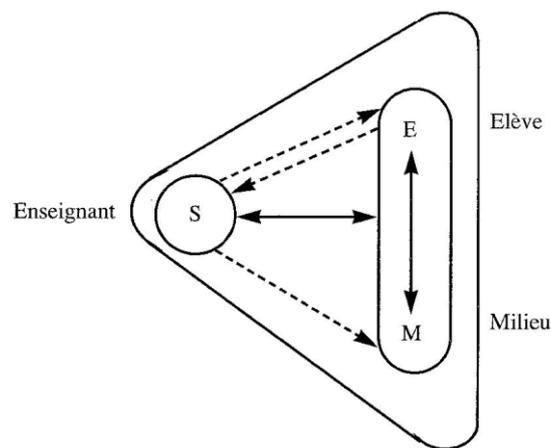
L'auteur précise à propos du milieu qu'

une partie de la situation va devoir entrer comme partie intégrante des savoirs correspondants. [Elle] sert de *référence* aux savoirs et d'*objet à la connaissance*. Dans notre culture, l'univers, à la fois environnement, source d'influences, objet de connaissance, et référence du savoir en tant que description, est considéré comme un système, non *finalisé* et donc non téléologique.

La situation didactique est [...] la situation d'action, d'apprentissage ou d'enseignement pour l'élève, le cadre de l'enseignement pour l'enseignant. Le système antagoniste [de l'élève ou du professeur] est [...] une modélisation de la partie de l'univers à laquelle se réfère la connaissance en jeu et les interactions qu'elle détermine.

C'est ce système antagoniste que nous avons proposé d'appeler *milieu*. (Brousseau, 1988, p. 320-321).

D'après la modélisation qu'élabore l'auteur, « l'élève [...] influence (nous dirons agit sur) le milieu, et le milieu [...] « informe » ou sanctionne l'élève. » (Brousseau, 2004, p. 90). Ce rapport réciproque est représenté dans le schéma suivant par la flèche verticale à double sens entre l'élève et le milieu, l'environnement immédiat, matériel et cognitif de l'élève. Par cette schématisation, l'auteur entend que « le jeu du maître dans chaque système d'action concret, définit et donne un sens au jeu de l'élève et à la connaissance. » (*ibid.*, p. 91). L'auteur souligne que « la situation didactique doit inclure et mettre en scène un autre système, distinct du système éducatif et qui représentera 'le milieu'. » (*ibid.*, p. 93).



Source : (Brousseau, 2004)

Schéma 4.1 : La relation didactique et l'activité des joueurs (enseignant, élève) au sein d'un jeu formel

Il serait judicieux ici de suivre Brousseau dans sa remarque sur le fait que la notion de milieu rend compte, non pas de l'environnement holistique absolu, mais « seulement de l'environnement spécifique d'un savoir ou d'un de ses aspects. » Cependant, cette approche est « nécessaire parce que les connaissances des élèves et celles des professeurs fonctionnent manifestement de façon différente des savoirs savants correspondants. » (Brousseau, 1988, p. 312).

Sur l'articulation du milieu avec le contrat didactique, Brousseau (1988) considère que

Les connaissances enseignées et les savoirs communiqués doivent permettre à l'élève d'entrer dans toutes les situations et pratiques sociales [adidactiques] comme sujet majeur en non en tant qu'élève. Ceci implique [...] que l'enseignant [...] reconnaisse ce milieu adidactique comme territoire de référence culturelle et de fonctionnement des savoirs qu'il enseigne. (*ibid.*, p. 323).

Brousseau (1996) distingue six stratégies didactiques ou types de contrats fortement didactiques mises en œuvre au cours de l'enseignement : « l'imitation ou reproduction formelle, l'ostension, le conditionnement (appuyé sur les thèses béhavioristes), la maïeutique socratique, les contrats d'apprentissage empiriste et constructiviste. » (Kuzniak, 2004, p. 30). Nous situant au croisement de la didactique des sciences et du paradigme des représentations sociales, nous nous intéressons à ce dernier type de contrat qui est qualifié par Brousseau – en référence à la théorie piagétienne (assimilation et accommodation) – comme le processus d'apprentissage par adaptation qui s'opère au sein

de « situations dans lesquelles le sujet peut apprendre en s'adaptant à un milieu. » (Margolinas, 1998, p. 4). Ce milieu est construit de façon pertinente par l'enseignant dans l'objectif d'assurer la responsabilité d'accusation des savoirs délivrés. Matheron et Salin (2002) explicitent¹⁵ que

La situation d'enseignement est construite autour d'une *situation adidactique d'apprentissage* (l'intention d'enseigner étant déléguée à un milieu et non portée par l'enseignant) grâce à laquelle l'élève peut se situer en « résolveur de problèmes », en interagissant avec un milieu de référence. Les connaissances nouvelles sont alors issues d'une confrontation des connaissances anciennes à une situation qui nécessite le recours aux premières pour réussir ; les rétroactions du milieu, si la situation est bien conçue, doivent permettre le développement de connaissances nouvelles sur lesquelles l'enseignant peut s'appuyer pour mener à son terme l'institutionnalisation des savoirs correspondants. (*ibid.*, p. 58-59).

Cependant, au plan pragmatique, des travaux portant sur l'enseignement « ordinaire » de la classe confirment la « prégnance de procédures ostensives, éventuellement locales, mais pouvant s'insérer dans un contrat global se voulant constructiviste. » (*ibid.*, p. 60). De ce fait, Matheron et Salin (*ibid.*) désignent le « milieu pour l'enseignement » :

En effet, pour enseigner, le professeur doit pouvoir porter à la connaissance de la classe les savoirs et savoir-faire anciens qu'elle aura à mobiliser, « garder présents à l'esprit ». [...] Il ne crée pas alors un milieu adidactique, puisque porteur d'une forte intention didactique, mais plutôt un ensemble de souvenirs de notions jugées communes à un nombre suffisant d'élèves, afin que l'enseignement puisse être mené sous forme coopérative [...]. Un tel milieu réalise la nécessité de montrer, au sein de l'institution, que l'intention d'enseigner rencontre l'intention d'apprendre, que l'étude peut s'engager de manière collective ; conditions nécessaires à la pérennisation de la relation didactique. (*ibid.*, p. 63).

Les procédures ostensives, précédemment citées, renvoient à la forme du contrat d'ostension, caractérisé par Brousseau (1996), comme suit :

Le professeur montre un objet et l'élève est supposé le voir comme le représentant d'une classe dont il devra reconnaître les éléments dans d'autres circonstances. La communication de connaissance ne passe pas par son explicitation sous forme d'un savoir. Il est sous-entendu que cet objet est l'élément générique d'une classe que l'élève doit imaginer par le jeu de certaines variables souvent implicites. (Kuzniak, 2004, p. 30).

S'agissant plus particulièrement d'objets engagés dans une activité mathématique, Bosch et Chevillard (1999) établissent une dichotomie fondamentale entre les objets ostensifs et non ostensifs.

¹⁵ Ce sont les auteurs qui soulignent.

Nous parlerons d'*objet ostensif* [...] pour nous référer à tout objet ayant une nature sensible, une certaine matérialité, et qui, de ce fait, acquiert pour le sujet humain une réalité perceptible. Ainsi en est-il d'un objet matériel quelconque et, notamment, de ces objets matériels particuliers que sont les sons (parmi lesquels les mots de la langue), les graphismes (parmi lesquels les graphèmes permettant l'écriture des langues naturelles ou constitutifs des langues formelles), et les gestes. Les objets *non ostensifs* [notions, concepts, idées, intuitions, etc.] sont alors tous ces « objets » qui [...] existent institutionnellement – au sens où on leur attribue une existence – sans pourtant pouvoir être vus, dits, entendus, perçus ou montrés par eux-mêmes : ils ne peuvent qu'être *évoqués* ou *invoqués* par la manipulation adéquate de certains objets ostensifs associés (un mot, une phrase, un graphisme, une écriture, un geste ou tout un long discours). (*ibid.*, p. 92).

À titre d'illustration, Chevallard (1994) avance l'exemple de la fonction mathématique du logarithme qui est un non ostensif – car évoqué, nommé mais pas manipulé – auquel est articulé un système d'ostensifs manipulables, tels les ostensifs scripturaux de l'équation : $2^x = 10 \Leftrightarrow \ln 2^x = \ln 10 \Leftrightarrow \dots$

Or, il en est de même pour l'enseignement de physique-chimie où la modélisation sémiotique occupe une place prégnante et, à la suite de la théorisation jusqu'ici exposée, qui peut être décrite avec les notions d'ostensifs et de non ostensifs. Nous illustrons ce point de vue avec l'exemple suivant qui relève de notre problématique : la notion d'orbitale atomique constitue un non ostensif, en ce sens qu'on ne peut la dire que parce que l'ostensif langagier « orbitale » est disponible. En outre, pour circonscrire son contenu sémantique, il faudra disposer d'ostensifs adéquatement conçus (scripturaux, graphiques, etc.) qui permettront, par exemple, d'écrire à propos de l'atome de carbone ${}_8\text{O}$:

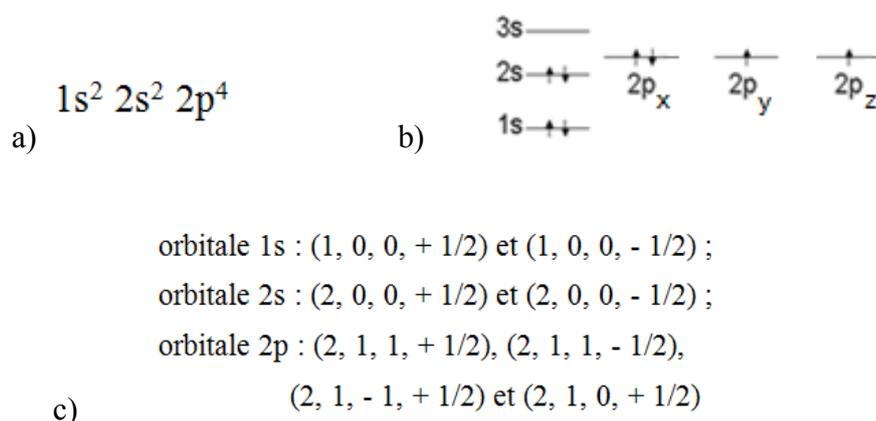


Figure 4.1 : Systèmes d'ostensifs permettant de matérialiser le non ostensif d'orbitale

Chacune des trois écritures ou registres est formée à partir d'ostensifs, tels que $1s^2$, $2p_x$, les flèches verticales, les rationnels 0, 1, - 1/2... Ces symboles sont pas seulement empruntés à des systèmes de signes (alphabet, rationnels, etc.) mais transposés en physique de l'atome,

c'est-à-dire dotés de significations spécifiques, cohérentes avec ce nouveau contexte. Ainsi, dans une orbitale précise, une flèche en haut (cf. b) indique qu'elle sera couplée soit par une flèche en bas, soit par rien, évoquant ainsi le principe d'exclusion de Pauli, selon lequel les électrons d'une même orbitale complète ont leurs spins opposés.

En dernier ressort, les manuels des sciences physiques et chimiques (mais pas seulement) peuvent être appréhendés comme des compositions d'ostensifs et de non ostensifs. Les modèles, diagrammes, formules, règles (de l'octet, par exemple), etc. en relèvent. Certes, de manière alternative, nous pouvons nous référer à la notion de registre de représentation sémiotique (Duval, 1993), car les ostensifs s'organisent en registres susceptibles de les traiter, de les mettre en relation avec d'autres ou de les comparer entre eux, comme c'est le cas des deux écritures différentes dans l'exemple des orbitales.

Très sommairement, les notions de registre sémiotique¹⁶ et de congruence sémantique ont été élaborées par R. Duval (1993 ; 1995) en didactique des mathématiques, dans l'objectif d'étudier les processus de conceptualisation, chez l'apprenant, des objets mathématiques. Privés de réalité matérielle, ces objets doivent être appréhendés par le truchement de représentations mentales et sémiotiques. Si les premières correspondent aux conceptions du sujet sur un objet mathématique, les secondes renvoient à des productions à la base de signes appartenant à un système (sémiotique) de représentation qui se caractérise par ses propres contraintes de fonctionnement. Ces systèmes de signes sont appelés par Duval des registres de représentation sémiotique. En première approximation, la notion de registre sémiotique peut être comprise comme famille de signes partageant un ensemble de caractéristiques matérielles à partir desquelles se construit leur signification. Ainsi, les types de langage naturel, formel et gestuel, les esquisses / figures, les images, les équations, la géométrie vectorielle, les graphes, les simulations... font l'objet de registres sémiotiques. Bien évidemment, un objet mathématique possède plusieurs représentations sémiotiques. D'après l'auteur, un registre sémiotique permet de remplir les trois fonctions cognitives suivantes :

1. La fonction de communication d'une représentation identifiable, conforme à des règles données qui régissent l'usage de ses signes, au sein du registre de référence. En effet, l'expression $3 + 20 : 5$ est bien arrangée, alors que la suivante $7 - : (-2) + 9$ n'est pas conventionnelle dans le registre arithmétique ;

¹⁶ Sémiotique (1a) : science des modes de production, représentation et perception des différents systèmes de signes de communication.

2. La fonction de traitement, assurant la transformation de la représentation dans le registre même où elle a été formée. Par exemple, dans le registre algébrique, on applique l'identité algébrique $(a + b)^2$ pour écrire que $(x + 3)^2 = x^2 + 6x + 9$;
3. La fonction d'objectivation, permettant à la fois la prise de conscience de l'existence de la représentation en tant que telle, et sa conversion dans un autre système sémiotique (Malafosse et Lerouge, 2000). À titre illustratif, l'énoncé du théorème de Pythagore selon lequel « le carré de la longueur de l'hypoténuse est égal à la somme des carrés des longueurs des côtés de l'angle droit » (registre du langage naturel) se convertit en la figure 1, ci-dessous (registre géométrique), ou bien en $c^2 = a^2 + b^2$ (registre algébrique).

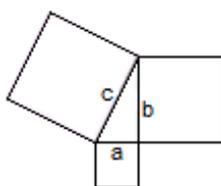


Figure 4.2 : Registre géométrique du théorème de Pythagore

La condition de mise en œuvre coordonnée des divers registres, ce que l'auteur qualifie de congruence sémantique, est étroitement liée à la construction des connaissances. En effet, « la compréhension (intégrative) d'un contenu conceptuel repose sur la coordination d'au moins deux registres de représentation, et cette coordination se manifeste par la rapidité et la spontanéité de l'activité de conversion [...] » souligne Duval (1993, p. 51). Cette position vient rejoindre l'hypothèse émise par Tiberghien et collaborateurs (2002), selon laquelle « la construction du sens se fait à partir d'établissement de relations entre éléments de connaissances, en particulier entre les descriptions d'objets et événements et les concepts, ou à la suite de Duval (1995) entre les registres sémiotiques d'un même concept ou d'une même relation » (*ibid.*, p. 89). Les difficultés rencontrées par les élèves au cours de l'activité de conversion les amènent au cloisonnement des registres en adoptant souvent une approche mono-registre. À titre d'exemple, l'application de la formule algébrique linéaire $v = v_0 + at$ pour calculer la vitesse à tel moment semble être plus préférable que le recours au graphique $v = f(t)$, dans lequel on peut directement préciser cette valeur.

CHAPITRE 5 : THÉORIE ANTHROPOLOGIQUE DU DIDACTIQUE

L'œuvre de Chevallard propose d'analyser les savoirs mathématiques (et pas seulement) en lien avec les institutions humaines où ces savoirs sont considérés comme des activités humaines créées, développées, utilisées, diffusées, enseignées et apprises. Ce point de vue permet d'étudier les assujettissements implicites que toute institution impose à ses membres qui maîtrisent (bien ou moins bien) ses pratiques. L'auteur écrit, de façon caractéristique que « les objets mathématiques que manipulent l'ingénieur, l'économiste ou le géographe doivent-ils se mettre à vivre 'en association' avec d'autres objets, qui [...] apparaissent propres à ces domaines spécifiques de la pratique sociale. » (Chevallard, 1996, p. 1). Par cette remarque, il illustre ce qu'il nomme la « relativité institutionnelle de la connaissance » :

La relativité institutionnelle de la connaissance est marquée à la fois par l'existence d'une diversité pratiquement illimitée de façons de « connaître » un objet o et par l'inexistence d'un « bon rapport » *universel*, reconnu tel en toute institution [...]. » (Chevallard, 2002, p. 4).

La question des rapports des personnes et des institutions avec le savoir est discutée plus longuement, dans le chapitre 7, « Rapport au savoir ». Pour poursuivre chronologiquement l'exposé partiel des thèses de l'auteur, la première question qu'il se pose porte sur la provenance du savoir présent dans les systèmes didactiques, une question qui donne naissance à la théorie de transposition didactique (Chevallard, 1985).

5.1 Fondements de la transposition didactique

Conformément à l'approche institutionnelle, les savoirs mathématiques, physiques, etc. sont, en principe, produits en dehors de l'institution scolaire et subissent une série d'adaptations avant d'y pénétrer pour y être enseignés. De ce fait, la forme des objets scientifiques que produit la science n'est pas tout à fait la même avec elle des objets d'enseignement à l'École. Par exemple, dans son œuvre maîtresse « *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* » de 1687, Newton formule les lois du mouvement des corps. À l'époque, est employé un mode de présentation uniformément géométrique plutôt que des preuves et des expressions algébriques. Ainsi, lui-même n'a jamais écrit les

fameuses formules – enseignées actuellement dans le secondaire – $F = m a$ et $F = m dv / dt$ (formules introduites ultérieurement par le suisse Euler).

En effet, l'objet d'étude de la transposition didactique est de rendre compte de ces phénomènes de transformations des savoirs depuis leur production jusqu'à leur enseignement. C'est ainsi que la théorie de la transposition didactique permet de distinguer entre les savoirs savants, les savoirs à enseigner, les savoirs (effectivement) enseignés par le professeur et, enfin, les savoirs appris par les élèves. D'après Chevallard (1985) :

Le passage d'un contenu de savoir précis à une version didactique de cet objet de savoir peut être appelé plus justement transposition didactique *stricto sensu*. Mais l'étude scientifique du processus de transposition didactique [...] suppose la prise en compte de la transposition didactique *sensu lato*, représentée par le schéma :

objet de savoir → objet à enseigner → objet d'enseignement

dans lequel le premier chaînon marque le passage de l'implicite à l'explicite, de la pratique à la théorie, du préconstruit au construit. (*ibid.*, p. 39).

Dans la seconde édition du même ouvrage, nous lisons :

[...] dans le passage de tel élément du savoir savant à l'élément qui lui répond – ou plutôt, dont il répond – dans le savoir enseigné, il y a d'abord un invariant [...], et il y a une variation, un écart, qui fait toute la différence [...]. D'une manière très massive, le savoir enseigné s'est trouvé [...] modifié profondément [...].(Chevallard et Johsua, 1991, p. 20).

Chevallard insiste donc sur le décalage entre le fonctionnement savant du savoir et son fonctionnement dans l'enseignement, comme le disait Verret en 1975, dont les travaux en sociologie du savoir ont inspiré le premier (Tavignot, 1995), mais l'apport de Chevallard fut fondamental et décisif. Quant à cet écart qui sépare le savoir savant du savoir scolarisé, Chevallard et Johsua (1991) soulignent que « l'analyse de la transposition didactique part nécessairement de l'analyse du savoir savant, sans quoi rien ne serait possible – l'écart n'apparaissant qu'à la confrontation des termes qu'il sépare. » (*ibid.*, p. 126). Arsac, Develay et Tiberghien (1989) font remarquer que l'objet de savoir correspond au savoir savant, l'objet d'enseignement au savoir à enseigner. Ils ajoutent que le savoir à enseigner ne se réduit pas au programme. Chevallard insiste sur le fait qu'un objet d'enseignement ne peut en aucun cas se réduire à une simplification d'un objet aussi complexe que le savoir issu de la sphère des chercheurs. La transposition didactique est ainsi à appréhender comme le passage et les transformations qui l'accompagnent, d'un objet de savoir (« le savoir savant ») à un objet d'enseignement (« le savoir à enseigner »). Ces transformations

sont le fait de contraintes imprimées aux objets de savoir, auxquelles il nous faut à présent nous intéresser.

5.2 Contraintes de la transposition didactique

Deux types de contraintes qui conditionnent la transformation des objets de savoir peuvent être distingués :

- Des contraintes externes liées à la place du système d'enseignement dans la société et aux relations qu'il est amené à entretenir avec son environnement ;
- Des contraintes internes qui interviennent dans le traitement par lequel un objet de savoir, désigné pour être enseigné, devient un objet d'enseignement.

Plus précisément :

Contraintes externes

Ces contraintes sont définies par la nécessité de respecter une certaine distance, d'une part entre le savoir savant et le savoir à enseigner, d'autre part entre le savoir à enseigner et le savoir des parents (ou, plus largement, de la société). Une double contrainte est dès lors imposée au savoir :

- être suffisamment proche du savoir savant pour éviter que le savoir à enseigner ne soit récusé par les scientifiques et perde donc sa légitimité scientifique ;
- être suffisamment éloigné du savoir des parents pour éviter que le savoir à enseigner ne soit banalisé dans la société et perde donc sa légitimité sociale.

La place du savoir à enseigner entre ces deux pôles doit être en équilibre permanent. Mais, « puisque le savoir savant évolue, il est donc juste de se préoccuper de ce que l'on doit changer du savoir à enseigner. » (Tavignot, 1995, p. 35). Avec le temps, ce dernier est victime d'« obsolescence », il apparaît trop éloigné du savoir savant et l'équilibre se rompt. Cette situation entraîne à terme une « incompatibilité » du système d'enseignement avec son environnement, d'où la nécessité d'opérer une nouvelle transposition didactique.

Contraintes internes

Chevallard et Johsua (1991) énumèrent cinq contraintes inhérentes au système didactique (cf. schéma 5.1, plus bas) qui correspondent à la désyncrétisation du savoir, la dépersonnalisation et décontextualisation du savoir, la publicité du savoir, la programmabilité du savoir et au contrôle social des apprentissages. Toutes les cinq, sont satisfaites par un processus qui aboutit à ce qu'on peut nommer un « apprêt didactique » (opérations sur les savoirs) que les auteurs appellent la « mise en texte du savoir ». En bref :

1. La désyncrétisation du savoir

Possibilité de délimiter des savoirs partiels pouvant s'exprimer dans un discours autonome. Une fois le savoir « extrait de l'environnement épistémologique où il s'est initialement ancré [...] subit donc une désyncrétisation » (Johsua et Dupin, 1993, p. 195), autrement dit, un découpage en champs spécialisés ;

2. La dépersonnalisation et décontextualisation du savoir

Dans ce processus, c'est la personnalité du chercheur-créditeur du savoir qui est mise de côté. Le savoir quitte les processus réels qui ont conduit, à l'époque, à son élaboration. Ainsi, il devient public, anonyme et accessible à tout usager ;

3. La programmabilité de l'acquisition du savoir

C'est organiser le savoir de manière linéaire et selon un ordre de présentation et un temps d'enseignement accordés par les instructions officielles (cf. noosphère, §5.3). Cependant, il faut différencier l'ordre de présentation des éléments de connaissance et l'ordre de leur acquisition par l'élève. Et encore, le temps d'enseignement et le temps d'apprentissage ; deux différenciations pour lesquelles Mercier (2001) écrit que

le temps de l'apprentissage n'est pas le temps didactique : chaque fois que des savoirs nouveaux sont introduits, ils doivent trouver place dans une organisation intellectuelle qui n'est pas isomorphe au *texte du savoir*. [...] le *texte du savoir* est nécessairement réécrit par chaque élève, pour lui-même, par morceaux, au cours de ses études. (*ibid.*, p. 4-5).

4. La publicité du savoir

Il faut y voir la nécessité de définir explicitement le savoir à enseigner, et ceci notamment au travers de la publication et circulation libres des programmes. La publication du savoir

repose essentiellement sur la dépersonnalisation du savoir – le savoir à transmettre devient le savoir à savoir – qui permet son appropriation en tant que production sociale.

5. Le contrôle social des apprentissages

C'est contrôler ce qui est appris pour pouvoir le déclarer compatible en attestant que la reconstruction, à partir des connaissances des apprenants, est compatible avec le savoir savant. Il s'agit, en définitive, de l'exigence d'évaluation : l'éducation 'formelle', bureaucratique – développée dans le cadre institutionnel – est marquée par l'exigence de mise en œuvre d'un contrôle social des apprentissages. Le savoir à transmettre étant ici explicitement défini, il devient « savoir à savoir ». Chevallard insiste sur le poids de cette contrainte, tant dans le choix des objets de savoir à transposer qu'au niveau de certaines transformations appliquées à ces objets.

5.3 Le système d'enseignement et son environnement

Le travail transpositif est une construction sociale réalisée par une multitude de personnes hétéroclites, issues de diverses institutions : l'instance politique, les savants (mathématiciens, didacticiens, etc.), les professeurs, inspecteurs et leurs associations, les auteurs des manuels, aussi les « parents »¹⁷ et autres partenaires et acteurs sociaux de l'institution scolaire. Chevallard introduit le néologisme noosphère pour définir cet ensemble large – aux contours souvent flous – de personnes et de lieux assurant et contrôlant les échanges entre le système d'enseignement et son environnement. Citons l'auteur : « une instance essentielle au fonctionnement didactique, sorte de coulisses du système d'enseignement, véritable *sas* par où s'opère l'interaction entre ce système et l'environnement sociétal. [La noosphère désigne] la sphère où l'on pense le fonctionnement didactique. », (Chevallard et Johsua, 1991, p. 24). Par système d'enseignement est entendu un ensemble de systèmes didactiques, à savoir, des structures ternaires reliant trois pôles épistémologiques : l'élève, l'enseignant et le savoir (cf. schéma 5.1, ci-dessous). Les premiers didacticiens des disciplines, précise Mercier (2002),

ont montré qu'un système didactique était contraint, d'abord, par le savoir ou plus précisément par le sous-système des objets à enseigner et à apprendre et par les pratiques qu'il permet à un élève

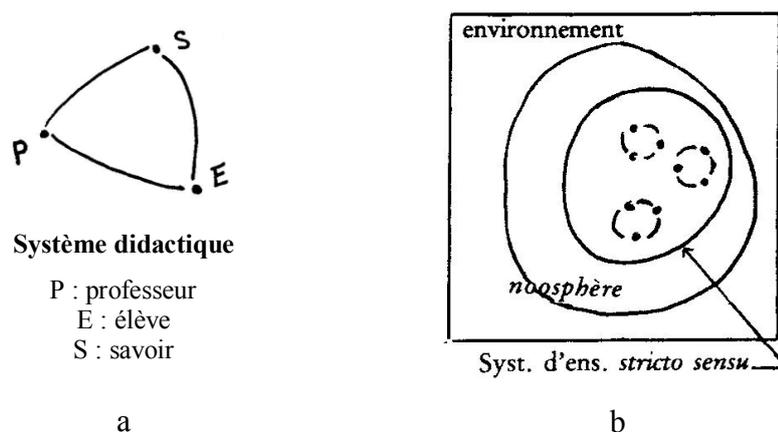
¹⁷ Chevallard entend l'institution des parents d'élèves, en dernier ressort « la société 'laïque', par contraste avec [...] le système d'enseignement. » (1991, p. 24).

d'engager, sous la conduite d'un professeur. Un tel système est constitué par la triade des sous-systèmes suivants : *Système enseignant*, *Système étudiant / apprenant*, *Système des savoirs enseignés et étudiés / appris*. (*ibid.*, p. 9-10).

La noosphère est, au sens strict, l'instance qui détermine les enjeux de l'enseignement, choisit ce qui doit être enseigné et sous quelles formes et élabore les programmes scolaires :

La noosphère [...] procède à la sélection des éléments du savoir savant qui, désignés par là comme savoir à enseigner, seront alors soumis au travail de transposition ; c'est elle, encore, qui va assumer la partie visible de ce travail, ce qu'on peut appeler le travail externe de la transposition didactique, par opposition au travail interne, qui se poursuit, à l'intérieur même du système d'enseignement, bien après l'introduction officielle des éléments nouveaux dans le savoir enseigné. (Chevallard et Johsua, 1991, p. 30-31).

Située à l'interface entre le système d'enseignement et son environnement, c'est par son intermédiaire que s'effectue le flux des savoirs de la sphère savante vers le système d'enseignement. Chevallard propose la schématisation suivante :



Source : Chevallard et Johsua (1991)

Schéma 5.1 : a) Système didactique ; b) Place de la noosphère entre le système d'enseignement (englobant plusieurs systèmes didactiques) et son environnement

5.4 Écologie didactique des savoirs

Chez Chevallard, la problématique écologique du savoir interroge son arrivée (depuis d'autres institutions) dans l'enseignement, son interrelation avec d'autres objets de

savoir, aussi, les conditions et contraintes pesant sur son fonctionnement, sa survie ou son obsolescence, etc. (Chevallard, 1988 ; 1994 ; 1997 ; Rajoson, 1988 ; Assude, 1992). Les questions de départ sont exprimées de la manière suivante :

D'où viennent ces nouveaux objets enseignés ? Comment sont-ils arrivés là ? Quelles interrelations, avec quels autres objets, y nouent-ils ? Et, aussi, surtout : *pourquoi* sont-ils arrivés jusque-là ? (Chevallard, 1994, p. 142).

D'après Artaud (1997) :

La problématique écologique se présente d'emblée comme un *moyen de questionner le réel*. Qu'est-ce qui *existe*, et *pourquoi* ? Mais aussi qu'est-ce qui *n'existe pas* et *pourquoi* ? Et qu'est-ce qui *pourrait* exister ? Sous quelles *conditions* ? Inversement, étant donné un ensemble de conditions, quels objets sont-ils poussés à vivre, ou au contraire sont-ils empêchés de vivre dans ces conditions ? (*ibid.*, p. 101).

Chevallard emprunte à la science de l'écologie et utilise l'analogie entre un organisme qui vit dans un écosystème et le savoir. Tout comme l'organisme qui a son habitat (sa « résidence »), mais aussi sa niche (l'ensemble des fonctions qu'il y remplit ; sa « profession »), un savoir transposé de l'institution des mathématiciens, par exemple, et intégré dans l'école est

en train de changer d'habitat, de s'établir en une résidence nouvelle : l'enseignement général du second degré. [...] avec ce changement d'habitat se produisait aussi *un changement de niche*. Que les objets de savoir nouvellement introduits, plongés tout à coup dans un écosystème différent, allaient changer de « profession », pour s'adapter à un environnement neuf où ils devraient entrer en interrelation avec de nouveaux « partenaires », pour composer avec eux des « associations » jusque-là inédites. (Chevallard, 1994, p. 142).

Ainsi, la notion d'habitat désigne les lieux d'existence d'un savoir – dans les cinq niveaux de détermination didactique, soit : discipline, domaine, secteur, thème, sujet (Chevallard, 2002) –, ainsi que son environnement conceptuel. La notion de niche écologique englobe l'ensemble des fonctions descriptives, explicatives, apodictiques, etc. que cet objet remplit, dans le système des objets avec lesquels il interagit. S'agissant, plus particulièrement, de l'objet de notre étude, le concept d'atome possède, à coup sûr, une niche assez étendue, couvrant une grande surface de l'écosystème dans lequel il vit, qu'est l'enseignement des sciences au secondaire. On peut facilement le constater, car l'atome est au centre de l'interprétation microscopique de plusieurs phénomènes physiques et chimiques. Entre les concepts, lois, etc., modélisant ces phénomènes et l'atome

s'établissent des relations rationnelles. À titre d'exemple, les états physiques de la matière (solide, liquide, gazeux) trouvent leur exégèse au niveau microscopique et, plus particulièrement, à la façon dont les particules se sont liées pour former la matière. Il en va de même pour une multitude d'effets, tels que la conductivité électrique, le rayonnement électromagnétique, la radioactivité, la périodicité des éléments chimiques, la réaction chimique, etc. (cf. indicateur 8, annexe 4). En outre, les questions de l'obsolescence et de la disparition des savoirs sont fécondes afin de penser les programmes, en sciences physiques et chimiques. De manière indicative, les anciens modèles de l'atome – ceux des atomistes grecs et de Dalton, qui monopolisent presque les manuels des années '50 et '60 – cèdent progressivement la place aux modèles d'un atome avec structure, comme on a pu le corroborer suite à l'analyse des manuels réalisée (cf. Partie 4).

5.5 Organisation praxéologique

Suivant le lexique de Chevallard dans ses leçons sur la didactique des parcours d'étude et de recherche (désormais notés PER), l'investigation d'un secteur scientifique – en l'espèce, la physique atomique – nécessite l'engagement dans un « processus d'étude, un processus didactique, dont le moyen sera un certain système didactique $S(X ; Y ; \heartsuit)$ ». Notons que chez Chevallard, X désigne le(s) apprenant(s) – une personne x ou une institution I, telles qu'un élève, une classe, etc. –, Y désigne un acteur qui remplit la fonction d'aide à l'étude (par exemple, l'enseignant), et le symbole \heartsuit (dit cœur) représente l'enjeu didactique, « le 'savoir' étudié – que la didactique, mais non toujours la culture, met *au cœur* du système didactique. » (Chevallard, 1997, p. 47). Le didactique « une intention, portée par une personne ou une institution [...], de faire quelque chose (un 'geste didactique') pour que [...] quelque *instance* (personne ou institution) *rencontre* quelque *entité praxéologique* \heartsuit » (Chevallard, 2011, p. 1). Autrement dit, un ensemble de praxéologies mettant en jeu les notions relatives au savoir, par exemple, à l'atome. Cet enjeu didactique se décline donc en un nombre de questions Q_0 étudiées par la mise en fonctionnement du système didactique $S(X ; Y ; Q_0)$ qui, à son tour, produit (signe \blacktriangleright , cf. la formule ci-après) une réponse R_0 à chaque question Q_0 , ce que l'auteur note ainsi :

$$S(X ; Y ; Q_0) \blacktriangleright R_0$$

S'engager dans une telle enquête, nous dit Chevallard (2009), revient à s'engager dans un *parcours d'étude et de recherche* motivé par cette enquête même. La réponse R_0 prendra alors la forme d'une certaine « organisation praxéologique ». Pour élucider ce terme, nous empruntons aux propos de l'auteur :

l'analyse de l'activité humaine [dont les faits didactiques] conduit à dégager des entités minimales, les praxéologies, qu'on peut désigner par la formule $[T / \tau / \theta / \Theta]$, parce qu'elles sont faites d'un *type de tâches* T , d'une *technique* τ pour accomplir les tâches du type T [partie *praxis*], d'une *technologie* θ qui justifie et rend intelligible la technique τ , enfin d'une *théorie*, que l'on note usuellement Θ [partie *logos*], qui justifie et éclaire la technologie θ , et permet même, en nombre de cas, de l'engendrer. » (Chevallard, 2006, p. 4).

De ce fait, la production de la réponse R_0 définit l'étape de la création de praxéologies (savoirs, savoir-faire, connaissances) autour de types de tâches T , destinées à l'instance X du système didactique précédemment cité. Il est à élucider que ces types de tâches contiennent au moins une tâche t . Par exemple, « mesurer », « calculer »... constituent des types de tâches T , alors que « mesurer la longueur du tableau noir », « calculer l'intensité du courant électrique dans un circuit simple »... commandent d'accomplir des tâches t . Cette approche s'articule harmoniquement avec la problématique écologique, parce que, comme le souligne Matheron (2000) :

cette dimension écologique permet de poser des questions telles que: pour un objet identifié dans les programmes comme étant à enseigner, quels types de tâches, accomplies avec quelles techniques, disponibles ou pas, enseigner et être en droit d'exiger des élèves ? Quelle organisation mathématique et, par conséquent, quelle progression mettre en place ? Comment évaluer une « activité » proposée par un manuel et comment en construire ? (*ibid.*, p. 52).

Mais, revenons à la question principale Q_0 . Son étude entraîne, d'après Chevallard, d'autres questions « engendrées par Q_0 » dans le PER amorcé ; les Q_0' , Q_0'' , etc. qui impulsent le fonctionnement des systèmes didactiques notés : $S(X ; Y ; Q_0')$, $S(X ; Y ; Q_0'')$, etc. respectivement. D'abord, X organise « un milieu de travail M réunissant ensemble des ressources anciennes ou nouvelles », afin de chercher des réponses. Quelques-unes sont toutes faites, éventuellement fragmentaires, et d'autres ont reçu une « estampille institutionnelle ». Chevallard les symbolise $R_1^\diamond, R_2^\diamond, \dots, R_n^\diamond$, (prononcer « r poinçon ») et c'est à partir de ces réponses qu'apparaît la possibilité de construction d'une réponse propre à la question Q_0 , notée R^\heartsuit . Les œuvres existantes dans le milieu M (par exemple, la culture) et mobilisées par $X - O_i, O_j, \dots$ – sont, pour ainsi dire, amenées (signe

↗, par opposition à ↘) dans l'espace de travail du système didactique $S(X ; Y ; Q_0)$, ce qui est décrit par cette formule :

$$S(X ; Y ; Q_0) \rightsquigarrow \{O_i, O_j\}$$

Pour récapituler,

une communauté d'étude X cherche à apporter réponse à une certaine question Q ; pour cela, elle se met en route, avec l'aide ou sous la direction des membres d'un collectif d'encadrement Y, pour rechercher 'dans la culture' des réponses [...] $R_1^\diamond, R_2^\diamond, \dots, R_n^\diamond$, et cela en vue de créer une réponse propre, notée R^\heartsuit . (Chevallard, 2007, p. 6).

En général, le système didactique $S(X ; Y ; Q_0)$ mobilisera d'autres œuvres¹⁸ O_{n+1}, \dots, O_m . En somme, le travail accompli à la fin d'un certain PER pourra s'exprimer par le « schéma herbartien », soit :

$$[S(X ; Y ; Q) \rightsquigarrow \{R_1^\diamond, R_2^\diamond, \dots, R_n^\diamond, O_{n+1}, \dots, O_m\}] \rightsquigarrow R^\heartsuit$$

ou, plus brièvement, $[S(X ; Y ; Q) \rightsquigarrow M] \rightsquigarrow R^\heartsuit$, (Chevallard, 2009, p. 2).

Cependant, apparaît une question de validité qui renvoie « au verdict des autorités », c'est-à-dire au dilemme « conjecture ou preuve ? » Car, même si un système de représentations du réel nous fournit des démonstrations étayant une réponse R_i^\diamond , « qu'est-ce qui prouve que cette démonstration [...] ne comporterait pas d'erreur ? », s'interroge Chevallard. Pour que des obstacles didactiques soient évités, l'auteur met en place ce qu'il nomme la dialectique des médias et des milieux. Pour cela, il fournit les définitions suivantes :

- On appelle média tout système de mise en représentation d'une partie du monde naturel ou social à l'adresse d'un certain public : le « cours » du professeur de mathématiques, un traité de chimie, [...] un site Internet, etc., relèvent en ce sens du système des médias.
- Par milieu on désigne tout système qu'on croit pouvoir regarder, à propos de telle question, comme dénué d'intention [contrairement aux médias] dans la réponse qu'il peut apporter, de manière explicite ou implicite à cette question. (*ibid.*, p. 7).

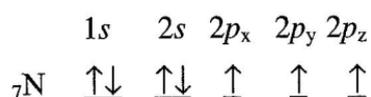
Les œuvres consultées par X, dans son PER, fonctionnent comme des médias ou des milieux susceptibles de contenir des erreurs scientifiques (obstacles didactiques¹⁹), ou de

¹⁸ Les œuvres, chez Chevallard, sont des « constructions humaines visant à apporter réponse à certaines questions, qui sont les raisons d'être de ces œuvres. » (*cf.* Chapitre 2).

confirmer ou infirmer les réponses $R_1^\diamond, R_2^\diamond, \dots, R_n^\diamond$. C'est, ainsi que le travail de construction d'une réponse R^\heartsuit avance, que Chevallard nous suggère de ne pas « écourter abusivement la dialectique des médias et des milieux » ; par contre, il nous invite à résister à la « croyance simplificatrice » et à « corroborer les conclusions établies en les confrontant encore à de multiples milieux », puisque l'arrivée aux réponses correctes, aux preuves décisives ne va pas en soi. Les connaissances ainsi acquises revêtiront le caractère de « ressources exploitables pour nourrir de futures dialectiques medias / milieux. »

À titre d'illustration, nous allons donner un exemple type que nous avons souvent rencontré dans les manuels scolaires analysés. Soit comme exercice résolu, soit pour entraînement, il porte sur le type de tâches (enjeu didactique \heartsuit) « établir la formule électronique d'un atome ». Prenons concrètement l'exemple de la tâche suivante : « Donnez la structure électronique de l'atome d'azote, ${}_7\text{N}$ ». En effet, la technique τ consiste à :

- placer 2 électrons sur la première couche, K ;
- faire la soustraction $7 - 2 = 5$, puis placer ces 5 électrons sur la deuxième couche, L ;
- écrire la formule électronique dans l'état fondamental de l'atome de C : $K^2 L^5$;
- appliquer²⁰ la règle de Klechkowski pour formuler la configuration dans les sous-couches : $1s^2 2s^2 2p^3$;
- appliquer le principe d'aufbau pour considérer les orbitales et le spin des électrons et, enfin, établir :



Source : Manuel de Chimie de TS (OEDB, 2000)

La technologie θ justifiant cette technique est, en effet, inhérente à la règle de l'octet. Enfin, la théorie Θ dont provient la technologie mise en œuvre s'identifie à la théorie atomique quantique (nombres quantiques, principe d'exclusion de Pauli, etc.).

¹⁹ À titre explicatif, nous empruntons au site Pénombre, cité par Chevallard, un extrait d'analyse d'un expert en géostratégie, selon qui les Russes ont perdu « entre 300 % et 400 % » de leur niveau de vie ; cette absurdité témoigne d'un savoir erroné sur la notion de pourcentage.

²⁰ Les deux dernières étapes concernent les objectifs de l'enseignement de chimie grec dont les programmes incluent le principe d'aufbau, ce qui n'est pas le cas pour les prescriptions officielles françaises. Nous pouvons ainsi mettre en évidence le fait qu'à une même question correspondent deux réponses valables (l'une étant emboîtée dans l'autre), selon l'habitat écologique du savoir en jeu.

En termes d'organisation praxéologique, la question de départ Q_0 pourrait être la suivante : que sont (ou, pourraient être) les praxéologies concernant la configuration électronique dans les atomes ? Une fois donc le système didactique $S(X ; Y ; Q_0)$ mis en œuvre, X rencontre un inventaire de types de tâches T_1, T_2, \dots de sorte :

T_1 : Déterminer le nombre des couches atomiques, à partir du numéro atomique Z d'un élément chimique donné.

T_2 : Déterminer le classement dans le tableau périodique de l'élément dont le numéro atomique est donné.

...

Pour remplir le tétragramme praxéologique $[T / \tau / \theta / \Theta]$ et pour avancer dans l'étude de la Q_0 , X cherche dans la culture des réponses à des questions Q_0', Q_0'', \dots déduites de la Q_0 et qui sont, admettons, celles-ci :

Q_0' : Quelles sont les règles de répartition électronique dans les différentes couches ?

Q_0'' : Quelle est la signification de la formule $1s^2 2s^2 2p^3$ concernant l'élément ${}_{7}\text{N}$?

...

Invité à le faire par Y, dans le cadre des systèmes didactiques ainsi établis $S(X ; Y ; Q_0')$, $S(X ; Y ; Q_0'')$, ..., X examine des documents, des œuvres O_i, O_j, \dots comme, par exemple le chapitre « Physique atomique » d'un manuel scolaire, l'article « Configuration électronique » de l'encyclopédie en ligne Wikipédia, le blog « C@fé des sciences », une affiche du tableau de Mendeleïev, etc. En d'autres termes, le fonctionnement des systèmes didactiques précités amène dans l'étude de la Q_0 des œuvres O_i , et des réponses R_i^\diamond dans l'objectif de produire la réponse R^\heartsuit .

Du point de vue de la dialectique des médias et des milieux, rappelons que le chapitre du manuel consulté, le site Wikipédia, le tableau de Mendeleïev, et ainsi de suite, font partie des médias et des milieux jugés pertinents pour évaluer l'exactitude des $R_1^\diamond, R_2^\diamond, \dots, R_n^\diamond$.

CHAPITRE 6 : CADRE THÉORIQUE DES REPRÉSENTATIONS SOCIALES

Les êtres et les objets sociaux (matériels ou idéels) de l'environnement sont perçus par l'individu sous la forme d'idées, attitudes, concepts, définitions, schèmes cognitifs, diagrammes, images, figures, préjugés, stéréotypes, prototypes, croyances, mythes... jouant un rôle déterminant dans sa vie mentale.

6.1 Éléments de définition psychosociale des Représentations Sociales

En raison de sa transversalité inter et intra-disciplinaire et de son caractère réunificateur, le concept de représentation sociale « se traduit difficilement en des termes opérationnalisables », remarquent Bonardi et Roussiau (1999, p. 20). Nous citons ici quelques définitions, les plus couramment répandues, et des commentaires caractéristiques issus d'auteurs expérimentés :

D'après Moscovici, le père fondateur du concept, la RS est :

une manière d'interpréter le monde et de penser notre réalité quotidienne, une forme de connaissance sociale que la personne se construit plus ou moins consciemment à partir de ce qu'elle est, de ce qu'elle a été et de ce qu'elle projette et qui guide son comportement. Et corrélativement, [la RS est] l'activité mentale déployée par les individus et les groupes pour fixer leur position par rapport à des situations, événements, objets et communications qui les concernent. (Moscovici, 1984, p. 132).

Jodelet a formulé une définition opérationnelle reproduite par le dictionnaire Larousse de la psychologie :

Forme de connaissance courante, dite de sens commun, caractérisée par les propriétés suivantes :

- elle est socialement élaborée et partagée ;
- elle a une visée pratique d'organisation, de maîtrise de l'environnement (matériel, social, idéal) et d'orientation des conduites et communications ;
- elle concourt à l'établissement d'une vision de la réalité commune à un ensemble social (groupe, classe, etc.) ou culturel donné », (Jodelet, 1991, p. 668).

Comme le souligne Dany (2006, p. 108), citant Jodelet (1989), « les RS sont reliées à des systèmes de pensée plus larges (idéologiques ou culturels), à un état des connaissances

scientifiques [sans qu'elles-mêmes le soient], comme à la condition sociale et à la sphère de l'expérience privée et affective des individus. ».

Selon Abric :

La représentation est le produit et le processus d'une activité mentale par laquelle un individu ou un groupe reconstitue le réel auquel il est confronté, et lui attribue une signification spécifique [...]. La représentation est donc un ensemble organisé d'opinions, d'attitudes, de croyances et d'informations se référant à un objet ou une situation. (Abric, 1987, p. 64).

D'après l'auteur, deux dimensions sont impliquées dans le concept de RS : la dimension individuelle, puisque la représentation « est déterminée par le sujet lui-même (son histoire, son vécu) » et la dimension sociale car elle est également déterminée « par le système social et idéologique dans lequel il [l'individu] est inséré et, par la nature des liens que le sujet entretient avec ce système social », (Abric, 1989, p. 206).

Flament et Rouquette avancent une triple définition hiérarchisée suivant trois axes, descriptif, conceptuel et opérationnel :

Une RS est une façon de voir un aspect du monde, qui se traduit dans le jugement et dans l'action. [...] Cette « façon de voir » ne peut être suffisamment appréhendée chez un individu singulier ; elle renvoie à un fait social. Une RS est un ensemble de connaissances, d'attitudes et de croyances concernant un « objet » donné. Une RS, enfin, peut être caractérisée comme un ensemble d'éléments cognitifs liés par des relations [qui se trouvent] attestés au sein d'un groupe déterminé (Flament et Rouquette, 2003, p. 13).

Vergès souligne l'articulation entre le collectif et l'individuel que fonde le paradigme des représentations qui permet :

d'envisager dans le même mouvement, d'une part les déterminations collectives et, d'autre part, la liberté de choix et de création de l'acteur social. Vergès (1995, p. 28).

De surcroît, l'auteur envisage les RS sous leur double aspect cognitif et social :

Toute représentation est cognitive en ce qu'elle suppose une tâche de connaissance pour traiter une information reçue, l'interprétation d'un objet donné [...]. Mais cet acte de connaissance est activé par une pratique et influencé par le discours circulant dans la société. En ce sens, toute représentation est sociale [...] dépendante des cultures, des idéologies et des pratiques. (Vergès, 2001, p. 538).

En conclusion, dans la plupart des définitions psychosociales, trois aspects caractéristiques émergent des RS : la communication sociale, la reconstruction du réel et la maîtrise de l'environnement par le sujet.

6.2 Composition des Représentations Sociales

Selon Bonardi et Roussiau (1999, p. 23), le système représentationnel se compose :

- d'un ensemble d'informations, c'est-à-dire, du corpus des connaissances des sujets sur l'objet de la représentation, ainsi que son organisation ;
- d'une attitude générale marquant les dispositions positives ou négatives de la personne envers l'objet de la RS ;
- d'un champ de représentation vu comme une structure qui organise, articule et hiérarchise entre eux les éléments d'information. Le champ de représentation suppose qu'une information soit intégrée au niveau de l'image et qu'elle soit organisée au niveau de l'image.

6.3 Processus de formation des Représentations Sociales : objectivation, ancrage

S'interrogeant sur l'origine de la formation et du fonctionnement des RS, Moscovici distingue deux processus majeurs : objectivation et ancrage. Plus concrètement :

– Processus d'objectivation : parmi les informations socialement disponibles, le sujet va privilégier celles de plus forte signification pour lui, en fonction de critères culturels, construisant ainsi le « noyau figuratif²¹ » de la RS dont les éléments seront hiérarchisés. Un concept abstrait va subir, par le groupe qui forme sa représentation, une simplification suite à une sélection de certaines informations ou éléments constituant ce concept, les autres étant négligés ou rejetés. Comme le précise Cuimelli (1999, p. 65), « l'information retenue est celle qui est consonante avec les valeurs du groupe. » À l'issue de ce filtrage, le groupe social peut se servir d'un concept « simple, concret, imagé et cohérent avec la culture et les normes sociales ambiantes. » (Rouquette et Rateau, 1998, p. 32). De plus, le concept banalisé est désormais détaché de son contexte sémantique initial, en vertu de la logique

²¹ Le terme est attribué à Moscovici et a été repris sous le vocable de noyau central (ou noyau structurant), en théorie structurale des RS.

interne du groupe, explicite Guimelli (*ibid.*). Enfin, le concept ainsi transformé peut intégrer le noyau figuratif de la représentation. À titre d'illustration, Jodelet (1984, p. 371) cite Roqueplo (1974) pour qui « le sens commun utilise la notion de poids dont il y a une évidence sensible pour interpréter la notion de masse, concept abstrait [...] », plus difficile à appréhender ;

– Processus d'ancrage : l'objet de la RS sera ancré dans le système de valeurs prégnantes du sujet et le noyau figuratif sera qualifié d'une efficacité concrète. La représentation deviendra un système d'interprétation ce qui veut dire, un système de médiation entre l'individu et son environnement. En effet, la reconstruction mentale de l'objet passe par son enracinement dans le système de pensée préexistant, écrit Guimelli (*ibid.*, p. 67). C'est-à-dire, l'ancrage consiste en l'« intégration d'éléments de connaissance nouveaux dans un réseau de catégories plus familières, déjà signifiantes pour le groupe. » (*ibid.*). Ce réseau catégoriel,

ce 'déjà-là', ce système de savoirs, influence à son tour le destin et le degré de l'intégration progressive de la nouveauté [...] le nouvel élément devient reconnaissable, imaginable et fonctionnel, en un mot *représentable*, objet social et médiateur d'interprétations au sein des groupes sociaux. [...] Au contraire, une chose non-classifiée et non-nommée est étrangère, inexistante et, en même temps, menaçante. (Kalampalikis, 2009, p. 20).

Ce processus de catégorisation, poursuit Guimelli (*ibid.*), permet de réduire la complexité de la situation, d'identifier des objets connus et de s'approprier des objets nouveaux moyennant les catégories existantes, et, enfin, de mettre de l'ordre par des effets d'assimilation intracatégorielle et de contraste intercatégoriel. L'exemple récent de l'appellation « particule de Dieu », pour le Boson de Higgs découvert en 2012 à CERN, est très caractéristique.

6.4 Fonctionnalité des Représentations Sociales

Typiquement, les RS accomplissent les fonctions suivantes :

1. Des fonctions cognitives

Les RS servent aux individus à expliquer, à comprendre, et à avoir des actions cohérentes sur le réel ;

2. Des fonctions d'interprétation et de construction de la réalité

Les RS constituent une manière de penser et d'interpréter le monde et la vie quotidienne. Les valeurs et le contexte dans lequel elles s'élaborent ont une incidence sur la construction de la réalité ;

3. Des fonctions d'orientation des conduites et des comportements

Grâce aux RS, les gens communiquent, se dirigent dans leur environnement et agissent socialement. Elles engendrent donc des attitudes, des opinions et des comportements ;

4. Des fonctions identitaires

Les représentations permettent de définir et de distinguer le groupe qui les produit des autres groupes, en lui assurant une cohésion groupale ;

5. Des fonctions de justification des pratiques

Elles concernent particulièrement les relations entre groupes et les représentations que chaque groupe va se faire de l'autre groupe, justifiant *a posteriori* des prises de position et des comportements ;

6. Des fonctions normatives

Les représentations préparent l'individu à l'action et suscitent un ensemble d'attentes normatives de l'individu par la société.

6.5 Approche structurale des Représentations Sociales : centralité et périphérie

La théorie du noyau central ou École Aixoise des RS (Abric, 1989 ; Flament, 1994 ; Guimelli, 1993 ; Guimelli et Rouquette, 1992 ; Moliner, 1988 ; 1989) constitue un des plus marquants courants actuels dans l'étude des RS. Dans cette approche, les RS se composent d'un noyau central autour duquel gravitent des schèmes cognitifs périphériques. Si le noyau structurant (central) peut se comprendre comme la partie abstraite de la représentation, le système périphérique doit être entendu comme la partie concrète et opérationnelle. Plus particulièrement : toute RS déjà cristallisée s'organise en un double système sociocognitif, central et périphérique. Le noyau (système central) – qui se constitue suivant des critères propres à l'individu lui-même et au groupe d'appartenance, propres à l'objet, ainsi qu'à la situation globale (Abric, 1994) – est le composant fondamental de la représentation et son repérage permet l'étude comparative entre différentes RS. Il consolide sa signification et assure sa cohésion et sa stabilité. Il est, en général, constitué d'un ou de quelques éléments non négociables de la part des individus (Abric, 2001). Au contraire, la périphérie comporte des éléments annexes

organisés et hiérarchisés autour du noyau permettant à la représentation de fonctionner économiquement (compréhension, mémorisation), sans qu'il soit besoin, à chaque instant, d'analyser la situation par rapport au noyau central (Flament, 1989). Autrement dit, le système périphérique constitue la partie la plus accessible, la plus concrète et, à la fois, la plus mouvante de la RS, car plus sensible au contexte immédiat du moment. À ce titre, le système périphérique permet l'intégration d'éléments nouveaux dans la représentation, ce qui conduit progressivement à sa transformation.

6.6 Processus représentationnels d'objets scientifiques

Sous le titre « De la science au sens commun », Moscovici et Hewstone (1984) avancent une réflexion autour de la dichotomie entre l'épistémologie populaire et l'épistémologie scientifique. En psychosociologie, il est admis que la science constitue une partie intégrante de notre vision de la vie quotidienne, soit qu'il s'agisse de nos activités intellectuelles, ou bien de nos relations sociales. La diffusion du discours économique, la biogénétique, le nucléaire, la psychanalyse, etc. le confirment. Selon Moscovici et Hewstone (1984, p. 539), « nos idéologies [...] et notre soi-disant sens commun [...] fourmillent d'images, de mots de raisonnements tirés de la physique, de la médecine, de la psychologie, de la sociologie et d'autres. » Cependant, les gens – membres instruits d'une civilisation technicienne – sont loin de penser suivant une méthode rationnelle. Ils se comportent en scientifiques amateurs, a pu dire Moscovici, en ce sens qu'ils retiennent le contenu de la science en en modifiant la forme et les règles. Or, la théorie des représentations sociales a été conçue pour étudier comment le jeu de la science devient en partie le jeu du sens commun, autrement dit, d'après quels processus l'épistémologie scientifique se convertit-elle en épistémologie populaire, la pensée rationnelle (c'est-à-dire, l'idéal d'une pensée conforme à la science, à la raison, au « logos ») glisse-t-elle vers la pensée du sens commun (à savoir, la réalité de la pensée dans le monde social, induite chez l'homme de la rue). Si le recours au premier univers séduit les gens (par la puissance et les prouesses de la science, y compris la technologie), le deuxième leur permet d'avoir des contacts entre eux de n'importe quel genre : amicaux, institutionnels, professionnels, de formation variée, etc. Bien évidemment, la pensée critique (Moscovici, 1981), formule des critères pour infirmer ou confirmer ses raisonnements, alors que la pensée automatique (*ibid.*) correspond à une forme de pensée plus innée, plus intuitive, bref, influencée par des

croyances antérieures et des stéréotypes de langage, que l'on acquiert sans formation laborieuse ni particulière. Cette bifurcation, expliquent Moscovici et Hewstone (*ibid.*), résulte d'une division dans la société elle-même : d'une part, les savoirs élaborés par des spécialistes donnent naissance à une culture scientifique autonome, encapsulée dans ses institutions et ses disciplines ; d'autre part, la soi-disant connaissance profane de l'ordre du sens commun a été délaissée, fragmentée et essorée dans la culture de masse.

Par ce terme de « sens commun », les auteurs entendent un corpus de connaissance fondé sur des traditions partagées et enrichi par des milliers d'« expériences » et d'« observations », sanctionnées par la pratique. Cet ensemble de noms, images, schémas, contextes, hiérarchies et catégories liés entre eux par des liaisons mentales est emmagasiné dans le langage, dans l'esprit et le corps des membres de la société, précisent les auteurs. Par ailleurs, le travail scientifique transforme par la raison ce qui a été accumulé par la tradition et soumet au contrôle de l'expérience ce qui n'était assujéti qu'au contrôle de la pratique et du groupe. À titre d'exemple, l'idée courante de force, décrivant l'effort musculaire ou l'action d'une machine, a été modifiée et rendue abstraite par la science en un concept mathématique. Le propre de la science contemporaine est de rompre avec le sens commun. Les médias, par la diffusion des images, des notions et des langages propres à la science peuvent catalyser ces transformations. Ainsi, on peut supposer que tout un chacun cherche à goûter le pur désir de savoir, voire la participation à la grande aventure scientifique de notre temps.

En effet, le paradigme des représentations sociales se situe, nous disent Moscovici et Hewstone (*ibid.*), au centre d'un double processus : d'une part, il s'agit de la socialisation de la science, de sa diffusion et de son appropriation par tous les membres de la société ; d'autre part, ce processus tend à la rationalisation, par la science, de toutes les sphères de la société, y compris le sens commun.

L'homme de la rue, qualifié par Moscovici de « savant amateur », pullule dans nos sociétés et croit savoir, de manière autodidacte, comment les espèces ont évolué, comment l'univers est devenu ce qu'il est, comment se guérir de la fièvre, comment atteindre au bonheur, etc. Il acquiert ses connaissances dans des magazines et des ouvrages de vulgarisation, ainsi que dans ses contacts avec les médecins, pédagogues, psychologues, techniciens, etc., ou il les puise dans les discours des hommes politiques, scientifiques ou philosophes. Toutes les fois qu'une théorie nouvelle apparaît et capte les imaginations, l'homme de la rue souhaite en parler et comprendre ce qu'elle signifie et en quoi elle le concerne. Les processus d'objectivation et d'ancrage sont à ces fins activés. À coup sûr,

L'outil des représentations sociales nous permet de décrire en détail la manière dont ce savant amateur applique ses connaissances à déchiffrer les énigmes de la vie et de la science, ce qui nous intéresse principalement ici. Mais, comment le savant amateur reproduit-il le contenu de la science pour élaborer une connaissance de sens commun qui lui soit de quelque utilité ? Pour expliciter la chose, Moscovici et Hewstone (*ibid.*) ont recours au paradigme de l'activité cognitive propre au sens commun. Très schématiquement, les individus (membres de la société de l'information) acquièrent la connaissance scientifique en reconnaissant et triant les éléments d'information qui leur parviennent du monde extérieur. En même temps, ils s'appuient sur des partis pris, stéréotypes, préjugés, etc., dont l'origine se trouve dans les systèmes conceptuels (schèmes, métaphores, idéologies, etc.) lesquels diffèrent d'individu à individu ou de groupe à groupe. D'après le mécanisme cognitif « apprendre-représenter », poursuivent les auteurs, les gens apprennent principalement ce qu'ils sont capables de représenter, ce qui conduit à la distinction suivante : capacité à apprendre et capacité à représenter. La première a trait au travail mental, tandis que la seconde concerne la reproduction des objets abstraits, absents pour ainsi dire, fictifs ou étranges sous forme d'objets présents, effectifs ou familiers. À ce propos, les gènes, les atomes, les ondes, l'énergie, la notion d'infini, etc. tous objets scientifiques par définition invisibles, intangibles, sont rendus visibles, en quelque sorte palpables par des images, des modèles, des schémas, des analogies, etc. L'activité cognitive, ainsi tracée, met en jeu des processus transformatifs (et, secondairement, des processus informatifs). Ainsi, le scientifique lui-même, après avoir conçu une expérience, une hypothèse ou une théorie, en crée une « copie ». En réalité, il change de registre une fois son produit popularisé pour son auditoire. Les représentations figurent exactement parmi ces copies, précisent les psychologues sociaux. Par la suite, le savant amateur se forme des représentations des histoires scientifiques, sans doute stimulantes et mystérieuses sur, les trous noirs, la dilatation de l'univers, les volcans, les dinosaures, l'origine de la vie, les phénomènes du micromonde, les divers exploits technologiques, etc., pour ainsi répondre à son besoin de rendre familier (cf. ancrage) ce monde onirique des faits et des choses. Les psychologues distinguent deux genres de processus transformatifs : premièrement, les processus externes décrivant les changements générés par la science pour devenir des représentations de sens commun, et, deuxièmement, les processus internes concernant les transformations enregistrées à l'intérieur de ces représentations elles-mêmes. Les processus externes séparent le contenu scientifique de sa forme d'origine et lui donnent une forme qui le rend intelligible,

assimilable. Sur l'autel de la vulgarisation, le discours apodictique (démonstrations mathématiques, expériences spécifiques, terminologie rigoureuse) se sacrifie au profit d'un langage métaphorique, beaucoup moins précis. Ensemble, ces processus font que la science, entrée en culture et pénétrée dans le milieu social, a une autre structure, une autre rationalité et un autre impact en dehors de sa propre institution et de la corporation des professionnels.

Quant aux processus internes, ceux-ci se traduisent par la transformation quasi automatique de la description en explication. À son terme, la représentation concernée semble avoir réponse à tout, être à même de saturer n'importe quel champ de réalité. Plus précisément, les représentations sociales jouent un rôle de « théories implicites », conçues pour montrer « comment ça marche » et « pourquoi », et cela de manière assertorique, répondant ainsi au besoin de certitudes des gens. En somme, les représentations ont pour mission de décrire, de classer, mais, prioritairement, d'expliquer. En revanche, la science focalise sur le problème du « comment » et souligne toujours l'incertitude, la précarité de ses concepts et de ses modèles, ce que l'épistémologue Karl Popper (1934 / 1990) a désigné sous le terme de réfutabilité.

Pour récapituler, toute représentation sociale d'un concept ou d'une théorie de la physique, de la chimie, etc. comporte une altération profonde du contenu, mais aussi de la structure cognitive. Elle confère ainsi à l'étrange scientifique un schéma en apparence cohérent. Dans l'épistémologie populaire, l'information est créée par les gens, dans l'objectif de leurs offrir le critère de validation des prévisions, des argumentations et des explications. Ce qui est notamment remarqué est la transformation des cognitions informatives en cognitions représentatives, des contenus descriptifs en contenus explicatifs et, d'une pensée assujettie au réel (science) en le désir que le réel soit assujetti à la pensée (sens commun).

6.7 L'« atome » en tant qu'objet de représentation

Est-il légitime de poser l'hypothèse de l'existence de phénomènes représentationnels de l'objet de l'atome, chez les élèves ? Est-ce que l'atome peut, pour ainsi dire, déclencher les processus d'une RS ? En d'autres termes, en quoi les discours, opinions, stéréotypes, attitudes recueillis sur le terrain, peuvent-ils constituer des éléments de RS ? Avant de citer les réflexions de chercheurs sur la question, il est à préciser ce que

nous entendons par « objet de l'atome ». Les atomes, corps matériels constituant la matière, existent bien sûr, sans pour autant être perceptibles chez l'homme de la rue, en raison de leur taille. De fait, pour le sens commun (l'homme de la rue, même l'élève, le non spécialiste) ces entités jamais vues lui paraissent plutôt étrangères, en dehors de son univers sémantique. Mais, le concept d'atome– l'objet de notre recherche – fait, très probablement, partie de son bagage cognitif minimal, au moins à partir du mot « atome » lui-même ou bien de ses proches (atomique, atomiser, etc.), socialement diffusés de façon massive et récurrente. Dans le cadre éducatif – qu'est le nôtre, puisque nous enquêtons des élèves à propos d'un savoir scolaire –, l'« atome » devient en effet un objet épistémique évoquant les modèles atomiques élaborés par la science. En un mot, il revêt la deuxième connotation : celle liée au concept de l'atome, un « surobject » non pas donné ni « naturel », mais qui se construit intellectuellement, ou comme le dit Bachelard : « Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit. » Pour ce philosophe, c'est à partir de la destruction des intuitions empiriques, liées à l'expérience première, que le nouvel esprit scientifique élabore les concepts. Et, il illustre avec l'exemple de l'atome (quelle chance !):

Nous dirions donc volontiers que l'atome est exactement *la somme des critiques* auxquelles on soumet son image première. La connaissance cohérente est un produit, non pas de la raison architectonique, mais de la raison polémique. Par ses dialectiques et ses critiques, le surrationalisme détermine en quelque manière un *surobject*. Le surobject est le résultat d'une objectivation critique, d'une objectivité qui ne retient de l'objet que ce qu'elle a critiqué. Tel qu'il apparaît dans la microphysique contemporaine, l'atome est le type même du surobject. (Bachelard, 1940 / 2002, p. 139).

Pour revenir au sujet de ce paragraphe, d'un point de vue didactique, Tavignot (1995, p. 49) affirme que « des représentations sociales existent à propos des connaissances à apprendre, à propos des contenus d'enseignement, à propos des processus de sélection et de réorganisation des connaissances, et même à propos de la transposition didactique. » En psychosociologie, Moscovici a posé les conditions nécessaires à l'apparition d'une RS et Moliner (1993) introduit cinq critères indispensables pour donner naissance à un phénomène représentationnel. Nous nous attardons sur cette question, toujours en corrélation avec notre objet paradigmatique, l'atome. Moscovici a posé les conditions suivantes :

1) Condition 1 : la dispersion de l'information

La transmission indirecte des savoirs relatifs à l'objet de représentation par diverses sources (institution scolaire, médias, entourage familial, opinion publique) favorisera

l'apparition de nombreuses distorsions. Ainsi que nous l'avons vu (cf. chapitre 2), l'atome est présent dans plusieurs œuvres ;

2) Condition 2 : la focalisation

Les sujets focalisent sur des versants différents de l'objet, n'ayant pas une vision globale de son contenu. Il existe plutôt une diversité d'attitudes envers l'objet en question, d'un milieu socioprofessionnel à l'autre. Si par « milieu socioprofessionnel » nous entendons ici les différentes séries de baccalauréat, il est vrai que les modèles de l'atome retenus et évoqués par les élèves se différencient selon la filière ou le niveau de classe ;

3) Condition 3 : la pression à l'inférence

Dans sa réalité sociale, l'individu a besoin de « donner son idée sur... » l'objet de la RS (même s'il le connaît mal). De ce fait, en classe de sciences et de technologie, l'élève rencontre l'occasion de parler sur les modèles de l'atome, leur succès et lacunes, sur l'énergie par l'atome, sur le nucléaire, sur la manipulation de la matière au niveau atomique (*i.e.* les nanotechnologies), etc.

D'après Moscovici et ses filtres théoriques, il en résulte donc la possibilité de repérer des éléments d'un processus représentationnel autour du concept d'atome. Plus récemment, Moliner a formulé les critères suivants :

1) L'objet social

L'objet de représentation doit correspondre à une classe d'objets plus particuliers, à savoir, qu'il soit polymorphe et non pas monosémique. Effectivement, l'atome, en tant qu'objet épistémique de nature physique, satisfait à ce critère pourvu que l'on évoque les différents modèles proposés (de Dalton, de Thomson, planétaire, probabiliste) ou les éléments le constituant (proton, neutron, électron), ou, enfin, les effets physiques qu'il génère, à partir de l'émission de lumière jusqu'à la radioactivité ;

2) Le groupe

L'existence d'un groupe spécifique est, soit « structurelle » (intimement liée à l'objet de la représentation, puisque c'est l'objet qui a fondé le groupe), soit « conjoncturelle » (groupes préexistants confrontés à un objet nouveau et problématique). En fonction du niveau de classe, les élèves connaissent et étudient l'atome, le décrivent, solutionnent des exercices, en font des dessins (boules de Dalton, configuration électronique...) À ce titre, un groupe

d'élèves tel que, par exemple, une classe précise est caractérisée par une existence conjoncturelle²² ;

3) L'enjeu

Les enjeux associés à l'objet, constitués par l'objet au sein du groupe, se distinguent, pour Moliner, en : i) enjeux identitaires (identité psychosociale des membres du groupe) ; ii) enjeux de cohésion sociale du groupe (dont le maintien est mis en question dès l'apparition de l'objet). Des enjeux identitaires (par exemple, le choix d'une option scientifique ou non, la série de 'bac', etc.) et des enjeux de cohérence sociale (ici, pédagogique et en général, scolaire) influent, certainement, sur les élèves, leur faisant surestimer l'une ou l'autre des interprétations épistémologiques de l'atome ;

4) La dynamique sociale

La dynamique sociale répercute à l'interaction sociale entre des groupes différents dans laquelle l'objet revêt une certaine utilité sociale et correspond à un besoin des groupes considérés. Le concept d'atome, en raison de sa nature fondamentale en sciences, « circule » entre différentes classes scolaires, disciplines et thématiques – moteur à hydrogène, centrales nucléaires, marché économique de l'uranium, armes atomiques, nanotechnologies, questions d'éthique, philosophie des sciences, etc. –, ce qui peut activer la dynamique sociale ;

5) L'absence d'orthodoxie

L'orthodoxie annonce l'élaboration idéologique ou scientifique au sein d'une instance régulatrice qui contrôle la diffusion et la validité des informations relatives à l'objet. S'agissant de l'atome, une telle institution s'identifie, certes, à l'école, l'instance normative étant le système d'enseignement. Cependant, l'élaboration idéologique n'y est que partielle car l'élève est une personne multi-institutionnelle, assujettie à beaucoup d'autres institutions hors de l'école : milieu familial socioculturel, médias, milieu idéologique, etc. Ceci laisse prétendre à la satisfaction, même limitée, du dernier critère de Moliner. Par ailleurs, le statut de l'école comme instance orthodoxe est critiqué par Legardez (2004), pour qui

[...] le « degré d'orthodoxie » existant dans le cadre de la situation de classe [n'est pas] assez fort pour exercer une influence telle sur les élèves qu'elle annihile le processus représentationnel. En quoi l'action d'institutions comme l'école empêcherait-elle les individus d'activer en classe des représentations sociales, particulièrement lorsque sont mises en place les conditions d'une

²² Legardez, 2004 postule l'existence d'une troisième configuration de groupe, la « configuration scolaire » (groupe centré sur l'étude d'un objet épistémique à fins d'apprentissage).

construction individuelle et collective de savoirs scolaires, donc lorsqu'il y a une valeur d'enjeu pour les apprenants ? (*ibid.*, p. 652).

En guise de conclusion, on peut admettre l'existence de RS en contexte scolaire et étudier, subséquemment, celle du concept d'atome, telle qu'elle se trouve synthétisée chez les élèves, suite à la coopération de processus distincts opérés au sein de différentes collectivités institutionnelles, dont l'école, les médias, etc.

6.8 Transformation des représentations sociales

Selon Abric (1994), le système central d'une RS assure deux fonctions :

- une fonction génératrice de sens, parce qu'à travers ce système les éléments de la représentation prennent sens et valeur et c'est par lui que peuvent se transformer ces éléments ;
- une fonction organisatrice, car « le noyau central détermine la nature des liens qui unissent entre eux les éléments de la représentation », (*ibid.*, p. 22). Il est en ce sens le composant stabilisateur de la représentation. Ce ne serait que lorsque le noyau central est modifié que la représentation se transforme.

Par ailleurs, le système périphérique ne manifeste pas la rigidité du noyau dur, mais, par sa flexibilité aux variations de la situation courante (à laquelle le sujet est confronté), il protège le noyau. Pour emprunter à Flament (1987), il fonctionne comme pare-chocs qui amortit et résorbe les contradictions susceptibles de résulter à cause de la confrontation entre une réalité discordante et les éléments centraux. Néanmoins, lorsqu'il y a incompatibilité importante entre le noyau central et la réalité (incohérence, contradiction) la périphérie échoue à l'absorber. Par conséquent, un ou plusieurs éléments centraux (ou éléments périphériques « saillants »²³) peuvent être mis en cause, ou un ou plusieurs éléments nouveaux peuvent apparaître dans le noyau, avec comme conséquence le changement graduel de la représentation. En réalité, ce schéma étant assez approximatif, des changements d'état radicaux (et non pas à court terme) dépendent de plusieurs facteurs : degré de crédibilité de la source d'incompatibilité, statut de l'élément atteint, etc. (Renard et Roussiau, 2007).

²³ C'est-à-dire, des éléments à propos desquels les sujets manifestent un fort consensus.

6.9 Systèmes de représentations - connaissances

Dans la perspective de prise en compte des représentations sociales en didactique des disciplines scientifiques, la question de l'existence d'éléments d'une RS dans les savoirs préalables à des situations didactiques, c'est-à-dire antérieurs à l'apprentissage, devient décisive. Legardez et Lebatteux (2002) ont montré que des éléments de RS d'objets scolaires en économie (mais aussi dans d'autres domaines d'enseignements scolarisés) peuvent être souvent repérés. Même, ces représentations préexistent bien aux apprentissages et y subsistent partiellement. Dans cet esprit, Legardez (2004) s'interroge sur l'éventualité que les élèves activent effectivement « en classe des représentations sociales, particulièrement lorsque sont mises en place les conditions d'une construction individuelle et collective de savoirs scolaires, donc lorsqu'il y a une valeur d'enjeu pour les apprenants. » (*ibid.*, p. 652). Le mélange d'éléments de savoirs scolaires antérieurs et d'éléments d'une RS au cours de l'enseignement - apprentissage est dénommé par cet auteur un système de représentations - connaissances. Pour Simonneaux et Legardez (2005), le questionnement didactique d'un tel système est légitime lorsque des savoirs scolaires sont liés à des questions « vives », fortement médiatisées et présentes dans les RS. Nous suivons ces auteurs, dont l'intérêt porte d'abord sur les thèmes du savoir économique :

ces thèmes renvoient à une représentation sociale fortement structurée, leur activation en contexte scolaire enclenche un processus de production d'un système de représentations - connaissances. Ce dernier mêle des éléments issus de la représentation sociale telle qu'elle peut être activée hors de l'école avec des éléments issus de savoirs scolaires préalablement appris et « accommodés » à la structure globale de la représentation. Ces productions spécifiques en situation didactique deviennent alors les « savoirs préalables » au processus d'enseignement et d'apprentissage de savoirs [...] mis en œuvre. (*ibid.*, p. 94).

L'hypothèse de l'existence de systèmes de représentations - connaissances dans les savoirs sociaux, soutient Legardez (2004), est étayée par le constat que la plupart des objets d'enseignement scientifique – à l'exclusion, peut-être, de ceux de nature technique, comme l'équation d'une réaction chimique, etc. – est, explicitement ou implicitement, liée à des questions socialement vives (désormais notées QSV). De par leur caractère sociétal, les QSV alimentent et font subsister les représentations qui, entremêlées avec des savoirs scolaires antérieurs, constituent dès lors ces systèmes de représentations - connaissances. Il nous paraît raisonnable de citer brièvement ici la définition des QSV, telle que formulée par Legardez et L. Simonneaux (2006), cités par J. Simonneaux (2011) :

Les QSV sont caractérisées comme des questions donnant lieu à débat dans la sphère scientifique, dans la sphère médiatique et dans l'école [...] :

- elles sont vives parce qu'elles suscitent des débats dans la production des savoirs savants de référence ;
- elles sont vives parce qu'elles sont prégnantes dans l'environnement social et médiatique, et que les acteurs de la situation didactique (élèves et enseignants) ne peuvent y échapper ;
- elles sont vives enfin parce qu'en classe, les enseignants se sentent souvent démunis pour les aborder. (*ibid.*, p. 27).

Les RS évoluent nécessairement. La question des modifications et transformations qu'elles subissent, sous l'angle du contexte, a été abordée par Abric et Guimelli (1998). D'après Gilly (1994, p. 364) l'école offre un contexte privilégié pour étudier « comment se construisent, évoluent et se transforment des représentations sociales au sein des groupes sociaux » dont les élèves. Nous situant en didactique, il est sans doute constructif de comprendre ces changements dans les situations didactiques, telles définies par Brousseau (1986) (cf. chapitre 4). Les résultats de recherches du genre montrent « des relations étroites entre le contexte social d'une part, et les stratégies sociocognitives qui sont à l'origine de l'élaboration et de la construction des RS d'autre part. » (Abric et Guimelli, 1998, cités par Legardez, 2004, p. 655). Bien évidemment, le milieu scolaire influence, par définition, la gestion des stratégies cognitives. Étant donné, d'un côté, l'objectif poursuivi par l'enseignement – la transformation des représentations en savoirs scolaires – et, d'un autre côté, le fait que « la configuration scolaire serait perçue [par de nombreux élèves] comme une situation réversible » (*ibid.*, p. 655), nous commençons maintenant à comprendre pourquoi les processus de transformation se ralentissent. Parce qu'en

situation de réversibilité perçue, il peut être avantageux, du point de vue de l'économie cognitive, de supporter pendant un certain temps les éventuels inconvénients dus aux circonstances. La situation de réversibilité perçue devrait donc ralentir les processus de transformation de la représentation, et on devrait constater [...] l'apparition dominante de schèmes étranges. (Abric et Guimelli, 1998, cités par Legardez, 2004, p. 655).

De surcroît, le caractère de réversibilité de la situation didactique – aussi bien dans le cadre scolaire, où l'imperceptibilité du sens dans les nouveaux savoirs scolaires peut venir contrarier la transposition interne, car hors de l'école, les savoirs naturels étouffent et tyrannisent les savoirs scolaires ; ceci permet de mieux appréhender les raisons pour lesquelles les apprentissages peuvent réussir, mais aussi échouer. En tout cas, les apprentissages sont omniprésents, ils opèrent constamment dans les institutions (au sens

chevallardien) et des éléments de RS se modifient en contexte scolaire sous le levier des pratiques scolaires. Pour une explication sur la modification d'éléments de RS sous l'effet de pratiques scolaires (considérées ici comme pratiques sociales spécifiques), nous suivrons Legardez (*ibid.*) qui cite Rouquette et Rateau (1998). Pour ces auteurs, trois conditions sont nécessaires afin que les pratiques entraînent, à terme, une transformation dans les représentations : « qu'elles soient récurrentes [...], valorisantes [...], que leurs implications apparaissent comme spécifiques et limitées [et donc] qu'elles n'aient pas d'incidence sur le niveau de raison proprement idéologique. » (Rouquette et Rateau, 1998, cités par Legardez, 2004, p. 656).

CHAPITRE 7 : RAPPORT AU SAVOIR

La notion du rapport au savoir a un caractère polysémique, en ce sens qu'elle appartient à divers champs disciplinaires. Selon le point de départ choisi dans la considération du système didactique – savoir, élève, enseignant – la littérature actuelle offre les élaborations suivantes (Jonnaert et Laurin, 2001) : premièrement, la théorie anthropologique du didactique, initiée par Chevallard (1992) pour définir le rapport au savoir, est centrée sur le pôle « savoir », envers lequel le sujet établit des rapports personnels et institutionnels ; deuxièmement, les approches théoriques issues soit de la critique de la sociologie de l'éducation (équipe de recherche ESCOL²⁴), soit de la clinique d'inspiration psychanalytique (école de Nanterre²⁵), si nous envisageons de discuter le rapport au savoir du côté du sujet social ou du sujet psychique, que sont l'élève et l'enseignant ; troisièmement, la réflexion sur la gestion des rapports aux savoirs, si nous nous inscrivons dans le cadre d'une problématique didactique d'analyse des questions socialement vives ; et, quatrièmement, l'approche de théorie intermédiaire visant à analyser la distance entre les connaissances de l'homme de la rue et la modélisation en physique, une réflexion relative au pôle savoir, mais ayant des liens avec les autres pôles, élaborée par Tiberghien *et al.* (2009). Nous examinons ces approches succinctement tour à tour :

7.1 Approche anthropologique

Chevallard considère la relation qu'entretient un individu x (élève, enseignant, professionnel, etc.) avec un objet o . L'objet constitue « toute entité, matérielle ou immatérielle, qui existe pour au moins un individu. [...] toute œuvre, c'est-à-dire, tout produit intentionnel de l'activité humaine, est un objet. » (Chevallard, 2003, p. 81). L'individu x occupe une position p au sein d'une ou plusieurs institutions I dont il devient sujet et voit ainsi évoluer ses rapports personnels. À titre d'exemple, dans une classe d'enseignement, on peut discerner les positions du professeur et de l'élève. Et, pour cette même institution, le concept d'énergie ou celui d'élément chimique, etc., un oscilloscope, la vitesse de la lumière et aussi le chiffre $3 \cdot 10^8$, la loi d'Ohm, etc., tous constituent des

²⁴ Éducation, socialisation et collectivités locales, Université de Paris VIII Saint-Denis, avec les travaux de Charlot, Bautier et Rochex (1992).

²⁵ Principalement, les travaux de Beillerot, Blanchard-Laville et Mosconi (1996).

objets, auxquels tant l'élève que le professeur ont des rapports. Ensuite, une institution fait naître et vivre des œuvres O dont des objets o sont constitutifs, comme par exemple une station météorologique montée à partir de divers instruments (thermomètre, anémomètre, etc.), au sein de la météorologie (institution I). Chevallard considère que le rapport personnel de x à l'objet o change dès son entrée dans les œuvres O . En effet, l'auteur distingue deux sortes de rapports :

- le rapport personnel d'un individu x avec un objet o , noté $R(x, o)$ qui définit une interaction effective entre x et o . De plus, l'individu x couplé avec le système de ses rapports personnels à o forment ce que l'auteur appelle la « personne ». Chevallard précise qu'

au cours du temps, le système des rapports personnels de x évolue : des objets qui n'existaient pas pour lui se mettent à exister ; d'autres cessent d'exister ; pour d'autres enfin le rapport personnel de x change. Dans cette évolution, l'invariant est l'*individu* ; ce qui change est la *personne*. (*ibid.*, p. 81).

- le rapport institutionnel à l'objet o en position p , modélisé par $R_I(p, o)$, qui désigne le rapport idéal de x – en tant que sujet de l'institution en position p – à o . Si donc il y a « *conformité* du rapport personnel de x au rapport institutionnel » – laquelle peut être jugée et confirmée par le sujet y à l'aune de rapports institutionnels déterminés –, alors x est un bon sujet de I , explique l'auteur. Pour illustrer ceci, prenons l'exemple d'un élève : il est bon en sciences quand ses rapports personnels avec les savoirs enseignés (l'atome, la catalyse, la photosynthèse...) se rapprochent, d'après l'évaluation faite par le professeur y , des rapports que le système didactique vise à construire.

Les rapports personnels vont être progressivement remodelés grâce à l'assujettissement institutionnel de x aux rapports institutionnels. Chevallard parle de la dialectique qui existe entre les institutions, les œuvres et les personnes, les dernières garantissant la création et le fonctionnement des institutions, ainsi que la survie des œuvres. Subséquemment, si entre l'individu x et un objet de savoir o ou entre les sujets d'une institution I en position p et un objet de savoir o s'établit une relation, alors cet individu ou cette institution connaît l'objet. Cependant, il existe d'innombrables manières pour connaître un objet, sauf qu'aucune de ces manières ne correspond pas à un rapport théoriquement idéal, universel. Tout simplement, un tel rapport n'existe pas. Cette remarque est qualifiée par Chevallard de « relativité institutionnelle de la connaissance ».

Pour récapituler, le rapport au savoir désigne les relations personnelles qu'entretient le sujet institutionnel – *i.e.* assujetti à plusieurs institutions – à des objets de savoir qui existent au sein des institutions. S'approprier l'objet de savoir signifie donc rendre conforme le rapport personnel au rapport institutionnel à l'égard des objets de savoir.

Après avoir esquissé la théorisation de Chevallard, passons maintenant à deux autres approches du rapport au savoir, un savoir appréhendé « comme ensemble, à la fois des énoncés de connaissances et des processus relatifs à l'appropriation des savoirs, incluant l'acte d'apprendre. » (Catel *et al.*, 2002, p. 125). Ces axes de recherche (clinique et microsociologique) s'intéressent à la singularité du sujet apprenant et à « la dynamique de son désir d'apprendre ou de savoir » (*ibid.*, p. 125).

7.2 Approche socio-anthropologique ou microsociologique

Au sein de la sociologie de l'éducation, Charlot, Bautier et Rochex (1992) ont remis en question les conclusions de sociologues de renom (Bourdieu, Passeron, Establet, etc.) selon lesquelles la catégorie sociale de la famille de l'élève conditionne sa réussite ou son échec scolaire. Malgré la relation effectivement vérifiée entre échec scolaire et classes populaires, l'intérêt de l'équipe ESCOL (cf. p. 146, note de bas de page 24) s'est porté sur des élèves particuliers, en ce sens que leur confrontation aux savoirs scolaires et, finalement, leurs performances pouvaient infirmer les résultats précédents. En effet, pour interpréter « la singularité de l'élève [de chaque élève, pris dans sa dimension microsociologique] face à l'école et aux apprentissages et montrer que l'histoire individuelle des élèves n'est pas jouée d'avance » (Jonnaert et Laurin, *ibid.*, p. 118), Charlot *et al.* ont eu recours à la notion du rapport au savoir. La problématique principale porte sur la compréhension de la façon dont « s'opère la connexion entre un sujet [humain] et un savoir, comment s'enclenche un processus d'apprentissage [en milieu scolaire qui exige l'apprendre] » (Charlot, 2001 cité par Cater *et al.*, 2002, p. 125). En réalité, la signification que les élèves attribuent au savoir porte justement sur le sens qu'ils donnent aux apprentissages scolaires ou à ceux hors de la classe. La réponse à la question du sens varie d'un individu à l'autre en fonction de son milieu familial et culturel, son entourage, son vécu scolaire, etc. Charlot et son équipe (1992, p. 29) définissent le rapport au savoir comme

un rapport à des processus (l'acte d'apprendre), à des situations d'apprentissages et à des produits (les savoirs comme compétences acquises et comme objets institutionnels, culturels et sociaux). Il est relation de sens et de valeur : l'individu valorise ou dévalorise les savoirs en fonction du sens qu'il leur confère.

Pour Charlot, Bauthier et Rochex (1992, p. 29), « le rapport au savoir est une relation de sens, et donc de valeur, entre un individu (ou un groupe) et les processus ou produits de savoir. ». Parlant de la nécessité du « petit d'homme », ainsi que le dit Charlot, de « s'ériger en tant que sujet et s'intégrer ainsi dans un monde déjà existant et peuplé d'autres hommes », Cappiello et Venturini (2009) citent Charlot (1997) d'après qui, l'enfant est obligé d'apprendre, obligé

d'entrer dans un système de rapports et de processus, qui constituent un système de sens où se dit qui je suis, qui est le monde, qui sont les autres. Ce système s'élabore dans le mouvement même par lequel je me construis et suis construit par les autres, ce mouvement long, complexe, jamais complètement achevé qu'on appelle éducation.

Charlot et ses collaborateurs identifient trois dimensions du rapport au savoir :

- la dimension épistémique : le rapport au savoir est en réalité un rapport à l'apprendre. La question qui se pose est celle de la nature des activités qui permettent d'apprendre : « apprendre c'est faire quel type d'activité ? » ;
- la dimension identitaire : « apprendre fait sens en référence à l'histoire du sujet, à ses attentes, à ses repères, à ses conceptions de la vie, à ses rapports aux autres [rapport aux autres], à l'image qu'il a de lui-même et à celle qu'il veut donner aux autres [rapport en soi]. » (Charlot, 1997, p.84). La question est donc « pourquoi apprendre ? » ;
- la dimension sociale : tant le sujet (le « soi ») que les autres, camarades, parents, enseignants, (l'« autrui ») coopèrent dans une société « structurée, hiérarchisée, inégalitaire [...] qui donne une forme particulière aux dimensions épistémiques et identitaires » (Cappiello et Venturini, 2009, p. 3).

En outre, chez Charlot, le rapport au savoir se caractérise par sa dynamique d'évolution au fur et à mesure des relations avec autrui et avec les objets culturels de savoir. Autres facteurs qui peuvent s'impliquer sont, nous renseigne Jonnaert et Laurin (*ibid.*), les projets personnels liés à la mobilisation dans l'école (question à laquelle nous reviendrons ci-après) ou bien dans un temps ultérieur, des rapports sociaux, ainsi que des aspirations

professionnelles et sociales. Les auteurs concluent que « le rapport au savoir évolue au fil des interactions qu'a l'individu avec les autres et des situations d'apprentissage » et donc n'est guère prédéterminé. Au cœur de l'approche microsociologique se trouve le « sujet en activité, également engagé dans des relations de désir [résultant maintenant non pas d'une pulsion, mais du sens] et des rapports sociaux [ainsi que] les causes de sa mobilisation », concluent Catel *et al.* (2002, p. 125).

Or, pour ce qui concerne la mobilisation sur l'école, question dépendante du sens qu'a pour chaque élève l'apprentissage de savoirs, Venturini (2005) a mené une recherche auprès de lycéens de seconde confrontés au savoir de la physique et a abouti à cinq rapports idéal-typiques :

mobilisation forte en physique surtout pour la compréhension du monde qu'elle permet, mobilisation en physique notamment à des fins utilitaires liées aux études, faible mobilisation en physique et sur la physique dans un but faiblement utilitaire (études), mobilisation sur la physique à des fins essentiellement utilitaires et non-mobilisation sur la physique et en physique. (Venturini, 2005, p. 27).

Plus précisément, pour les élèves relevant du premier type de rapport, les savoirs de la physique sont très importants, non pas seulement dans la classe, mais également hors contexte scolaire, puisqu'ils offrent une modélisation du monde physique. Ce motif, néanmoins de manière plus atténuée, continue à peser sur la mobilisation des élèves du deuxième rapport idéal-typique dont le trait principal réside dans l'aspect utilitaire des savoirs, c'est-à-dire qu'ils sont nécessaires pour les projets d'études envisagés par ces élèves. Faiblement mobilisés en physique et de manière sporadique, les élèves du troisième type de rapport accordent aux savoirs une « importance intermittente », commente Venturini pour qui, ces élèves les considèrent comme un levier pour améliorer leurs résultats scolaires. Cette vision purement instrumentale que prend la valeur de la physique a été, de manière indépendante, validée par Perrenoud (1988) qui entrevoit à son origine le système d'évaluation le quel :

conserve un effet majeur sur le rapport au savoir [...] le réalisme commande non pas d'apprendre pour le plaisir, de s'intéresser à la réalité, de poser des questions, de réfléchir, mais d'être prêt le jour de l'épreuve décisive [...] Le système d'évaluation classique favorise un rapport utilitariste, voire un rapport cynique au savoir. Les connaissances, les savoir-faire ne sont finalement valorisés que s'ils permettent d'avoir de bonnes notes. (Perrenoud, 1988, cité par Venturini, *ibid.*, p. 28).

Le quatrième genre de rapport aux savoirs de la physique est identifié auprès d'élèves qui reconnaissent leur utilité dans la vie quotidienne et dans la pratique d'un métier.

Cependant, les performances de ces élèves en termes d'apprentissage restent pauvres, puisque bien qu'assistés en cours de physique, ils semblent être hors contrat didactique. Enfin, le cinquième et dernier type de rapport caractérise les élèves en rupture complète avec les savoirs disciplinaires et la physique elle-même.

En somme, cette approche microsociologique constitue un appui pour le didacticien centré sur les contenus du savoir disciplinaire, les apprentissages opérés et les changements conceptuels effectués, chez l'élève, pris dorénavant dans sa singularité (Caillot, 2001). Venturini insiste sur la double considération de l'élève, en didactique des sciences : à la fois, sujet épistémique prêt à apprendre et, sujet impliqué dans les situations spécifiques à l'apprentissage de la discipline de la physique-chimie ou des sciences de la vie et de la Terre, etc. Dans cette perspective, le rapport au savoir peut éprouver sa fécondité par son importation au champ d'une discipline donnée où il convient de l'envisager comme rapport aux savoirs disciplinaires précis. Enfin, dans l'approche sociologique que nous discutons ici, la composante sociale du rapport au savoir est dominante. Plusieurs études ont démontré « les effets et l'importance pour les élèves d'une congruence entre le contexte des sciences à l'école et le milieu familial, celui des pairs, voire même celui de la société », signale Venturini (2007). À titre de résumé, nous citons Charlot (1999, p. 3) qui définit le rapport au savoir comme :

l'ensemble organisé des relations qu'un sujet entretient avec tout ce qui relève de l'apprendre et du savoir : objet, 'contenu de pensée', activité, relation interpersonnelle, lieu, personne, situation, occasion, obligation, etc., liés en quelque façon à l'apprendre et au savoir.

En raison du caractère dynamique et évolutif de la notion de rapport au savoir, l'individu est censé se construire « en se confrontant avec autrui et avec des objets culturels de savoir et à travers des projets personnels, des aspirations professionnelles et sociales. » Ben Abderrahman (2000, p. 187).

Nous allons clore cette section avec une approche qui se prête à des considérations épistémologiques et didactiques (complémentaire des approches anthropologique et microsociologique) pour penser le fonctionnement des élèves, particulièrement en classe de physique-chimie.

7.3 Approche clinique

Le rapport au savoir est, pour cette école de pensée fondée à l'Université Paris X Nanterre, intrinsèquement lié à la notion de désir au savoir (« pulsion de savoir ») qui se cultive chez l'individu de manière inconsciente, au sein de sa famille et de la société où il vit. De ce fait, le rapport au savoir devient le moteur de nouveaux apprentissages qui permettront au sujet de transformer sa conception du monde naturel et social l'entourant. D'après Beillerot, Bouillet, Obertelli, Blanchard-Laville et Mosconi (cités par Jonnaert et Laurin, *ibid.*, p. 116),

à travers la famille, l'enfant constitue son rapport au savoir dans le plus ultime de sa psyché, mais aussi dans le contexte du groupe familial et de la culture familiale, avec son inscription sociale, par laquelle l'individu apprend une manière particulière de se rapporter aux différents savoirs présents dans la société.

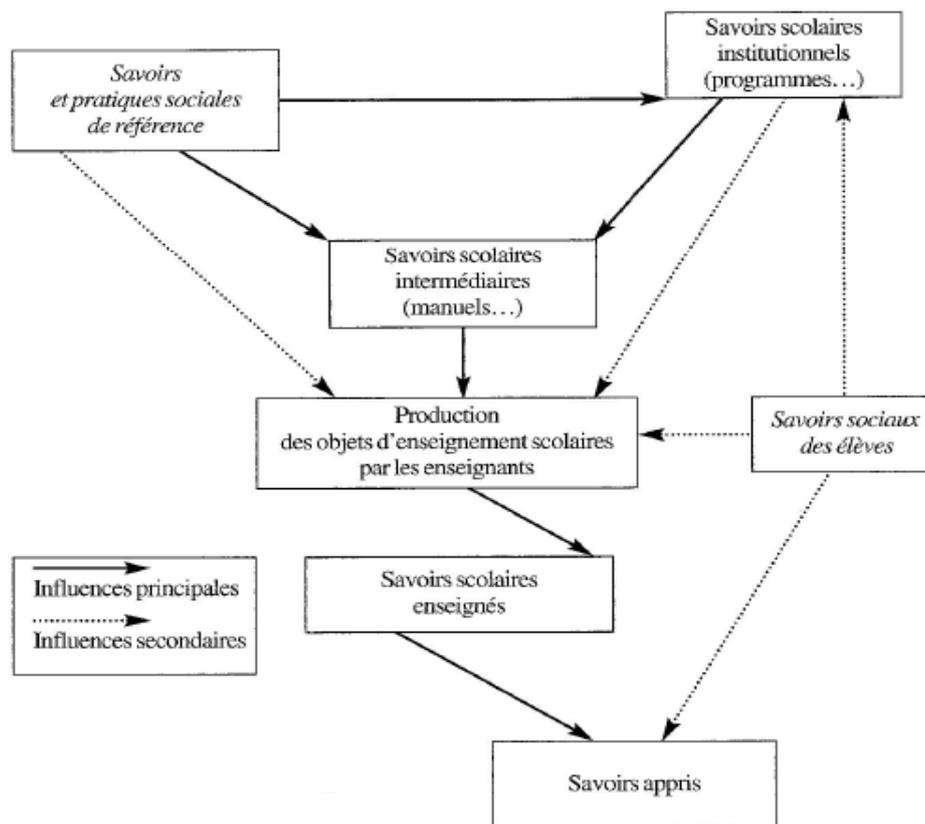
D'après ce point de vue, le rapport au savoir d'un sujet « participe à son rapport au monde et évolue au cours de sa vie. » Catel *et al.* (*ibid.*). En outre, Jonnaert et Laurin soulignent, à propos du rapport au savoir disciplinaire – c'est-à-dire spécifique à une discipline plutôt qu'à un thème précis – la mise en œuvre de mécanismes exerçant dans l'inconscient et influençant sur la conduite des individus, élèves et enseignants. Par conséquent, au cours d'une séquence d'enseignement, le savoir en jeu, loin d'être l'objet en construction, peut se trouver en arrière-plan par peur, anxiété de l'individu – « réalité psychique inconsciente » de l'élève ou de l'enseignant, pour reprendre les mots des auteurs – de le rencontrer, de s'y confronter directement. En l'occurrence, Berdot, Blanchard-Laville et Dos Santos (1997) ont analysé une séquence d'enseignement sur l'écriture des grands nombres en mathématiques, en CM1. Or, pour l'institutrice, le savoir mathématique avait un sens d'objet externe qu'elle cherchait à éviter de faire construire chez ses élèves. Son souci principal était centré sur « les nécessités pédagogiques de la réussite scolaire du plus grand nombre » d'entre eux. C'est ainsi donc que l'approche clinique contribue à l'éclairage de la façon dont se développe la dynamique de la classe, dynamique orientée par le rapport au savoir disciplinaire.

7.4 Approche des questions socialement vives

Inspiré des travaux de l'équipe ESCOL sur le rapport au savoir (Charlot, 1997), ainsi que de ceux d'Y. Chevallard (1991) sur les genres de savoirs, Legardez (2004) propose une grille de lecture des questions vives qui repose sur la distinction entre trois genres de savoirs : savoirs de référence, savoirs sociaux et, enfin, savoirs scolaires. Nous empruntons à Legardez (2004 ; 2006) pour donner tour à tour leur description :

- Les savoirs de référence désignent les savoirs savants ou scientifiques et les pratiques sociales et professionnelles (des acteurs sociaux hors contexte scolaire) pour les enseignements technologiques et professionnels ;
- Les savoirs sociaux sont ceux des acteurs de l'école (élèves, enseignants, parents). Construits hors du système scolaire, ils deviennent des « savoirs préalables » à l'enseignement lorsqu'ils sont importés dans l'école. Ils peuvent être partiellement constitués de véritables représentations sociales et ils peuvent inclure des éléments de savoirs scolaires antérieurement appris et exportés dans les savoirs sociaux. En ce sens, Beitone et Legardez (1995) parlent de « systèmes de représentations - connaissances ». Du fait que les savoirs sociaux sont issus directement du milieu « naturel » des acteurs sociaux, en tant qu'élaborations de processus sociétaux, ils se qualifient également savoirs naturels ;
- Enfin, les savoirs scolaires qui sont construits essentiellement par les enseignants, d'une part, en relation avec les deux autres genres de savoirs et, d'autre part, avec les autres sous-ensembles de savoirs scolaires : savoirs institutionnels de référence (programmes, référentiels, sujets d'examen, etc.) et « savoirs intermédiaires » tels véhiculés dans les manuels, les revues professionnelles ou de vulgarisation, etc.

Le schéma suivant synthétise la gestion des rapports au savoir :



Source : Legardez et Simonneaux (2006)

Schéma 7.1 : La gestion des rapports aux savoirs dans l'enseignement : savoirs de référence, savoirs sociaux et savoirs scolaires

Legardez (2004) postule qu'

à chaque étape du processus de production des objets d'enseignements scolaires, le concepteur de programmes (l'expert dans la « sphère de l'expertise » – processus de transposition didactique externe) et l'enseignant (dans la « sphère de l'enseignement » – processus de TD interne) tentent de gérer au mieux leurs rapports aux savoirs. (*ibid.*, p. 24).

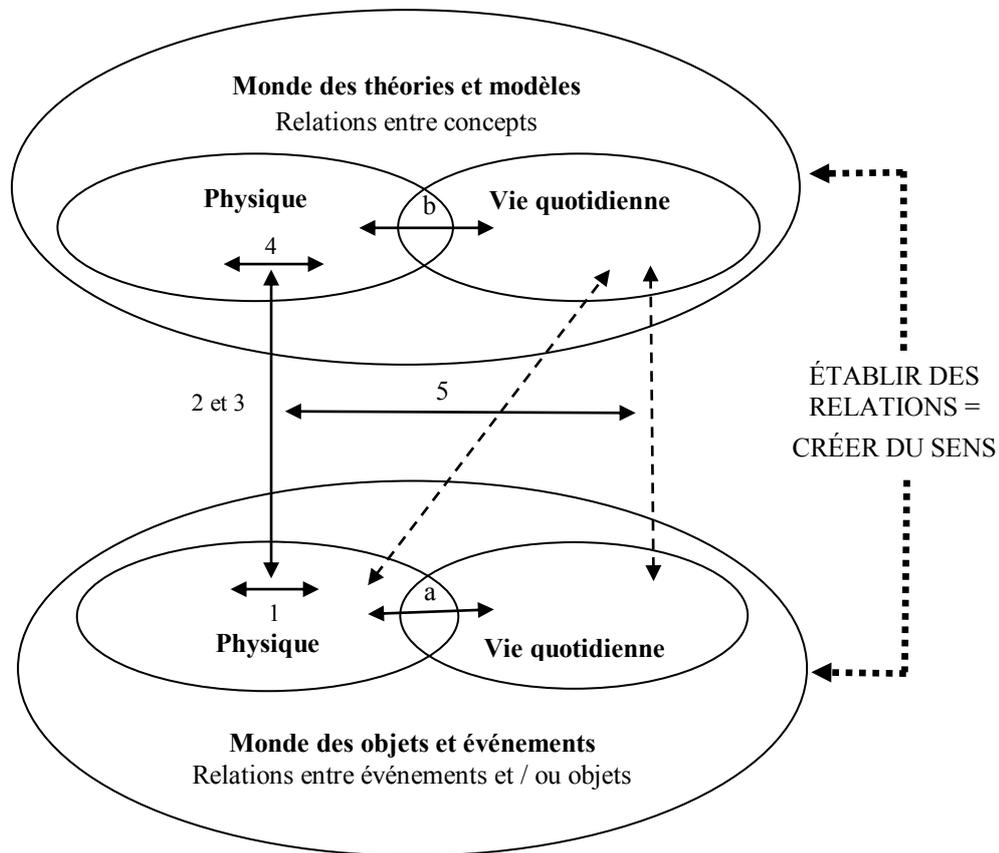
D'après l'auteur, l'analyse de la production des savoirs scolaires peut être considérée comme un double processus de déproblématisation-reproblématisation selon lequel nous distinguons : dans un premier temps, la transition des savoirs de référence aux savoirs scolaires institutionnalisés (programmes) dans la sphère de l'expertise et, en second lieu, le passage des savoirs scolaires institutionnels aux savoirs enseignés dans la sphère de l'enseignement, à travers les savoirs intermédiaires présents dans les manuels.

7.5 Approche de la théorie intermédiaire des deux mondes

Cette approche spécifique au savoir disciplinaire (notamment, physique-chimie et sciences de la vie et de la Terre) repose sur les travaux épistémologiques (Bachelard, Bunge, Giere, Hacking) portant sur le savoir de la physique et, subséquemment, sur la modélisation du monde matériel. C'est parce que l'individu, dès la naissance, construit ses propres connaissances du monde physique (Spelke, Phillips et Woodward, 1995), que le savoir quotidien a attiré l'attention, du point de vue didactique, d'Andrée Tiberghien et de ses collaborateurs, engagés dans le laboratoire de recherche ICAR (Interactions, corpus, apprentissage, représentation). La théorie intermédiaire postule donc que :

les connaissances à enseigner, effectivement enseignées, ainsi que les connaissances quotidiennes quand elles sont relatives au monde matériel peuvent relever de trois grandes catégories de formulation ou de représentations : le monde des théories ou des modèles, celui d'objets ou d'événements, et celui des relations entre ces deux mondes. (Tiberghien, 2011, p. 195).

Au sein de cette approche, ont été élaborés deux outils que nous présentons brièvement ensuite. (Un troisième outil, celui des registres sémiotiques, est emprunté aux travaux de Duval (1995)). Le premier, dit des « relations de modélisation », se concrétise par le schéma 1 ci-dessous, associé à la théorie intermédiaire des deux mondes et « montre toutes les relations potentielles entre les niveaux et catégories de connaissances en jeu dans les activités d'enseignement de la physique en classe », Veillard, Tiberghien et Vince, 2011, p. 207. Le second, la « distance des savoirs » (cf. tableau 7.1, ci-après), permet d'explicitier le contenu des différents types de connaissances en jeu.



Source : Tiberghien et Vince (2005)

Schéma 7.2 : Les types de savoir selon l'analyse en termes de modélisation

Chaque domaine de connaissances met en jeu objets / événements et théories / modèles. Les flèches de 1 à 5 signalent que les relations correspondent à la fois au savoir à acquérir et au cheminement possible d'apprentissage. Les flèches hachurées indiquent des cheminements auxquels l'enseignement est indifférent. Le modèle des deux mondes, assez compréhensible par les élèves, structure leur activité qui consiste à faire le lien entre le monde des constructions théoriques et celui du champ expérimental des objets et événements. Le premier monde, expliquent Tiberghien *et al.* (2011, p. 207), renvoie :

aux concepts généraux et aux constructions abstraites plus locales permettant d'étudier un type d'objets et d'événements ; le monde des objets et des événements renvoie à ce qui est accessible par la perception de façon directe (observation) et / ou par le biais d'instruments de mesure.

Dans ce schéma se trouvent explicites les objets et événements, les éléments théoriques, ainsi que les types de relations de modélisation à établir par les élèves au cours de

l'enseignement. Plus précisément, Tiberghien *et al.* (*ibid.*, p. 208) et Tiberghien (2011) distinguent cinq types de relations :

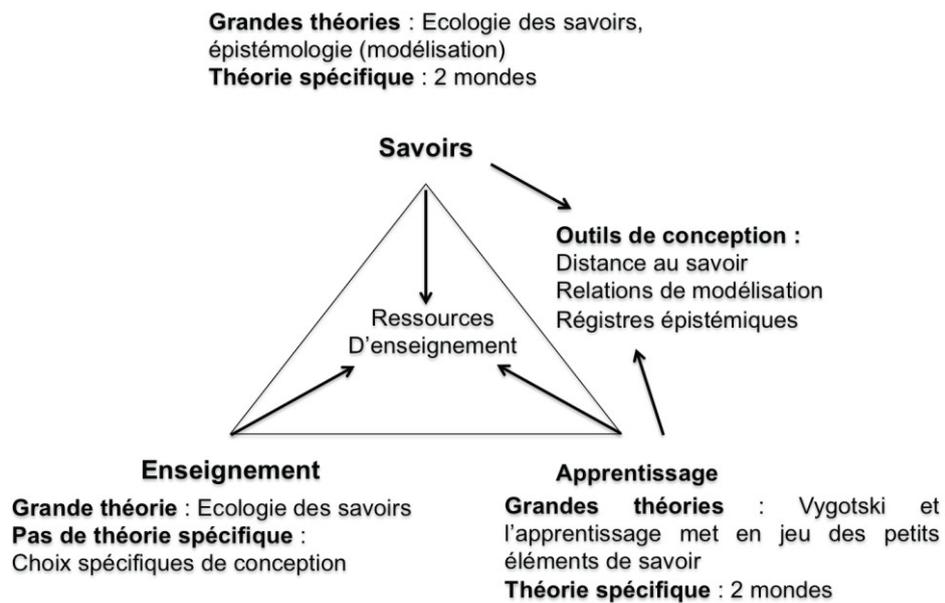
1. Relations entre objets et événements à partir d'observations, de descriptions, de prévisions, etc. (cf. flèche 1) ;
2. Relations entre la « physique de l'élève », alimentée par les connaissances quotidiennes (cf. flèche a), et la physique disciplinaire (cf. flèches 2 et 3). Il s'agit du passage le plus ordinairement opéré dans la classe des sciences ;
3. Relations multiples entre objets / événements et théories / modèles (cf. flèche b, de double sens) ;
4. Relations au sein du monde des théories / modèles (cf. flèche 4) ou relations internes à la théorie ;
5. Relations entre la physique-chimie à enseigner et des questions ou interprétations relevant de la vie quotidienne ou professionnelle (cf. flèche 5).

Dans chacun des mondes de l'approche discutée ici, se mobilisent différents registres de représentation sémiotique, tels que langages naturel, formel et gestuel, figures, images, graphes, simulations, équations, etc. Tiberghien *et al.* (2002, p. 89) posent que « la construction du sens [dans l'apprentissage] se fait par des mises en relation entre différents éléments de connaissance [cf. schéma 7.2] et entre différentes représentations [*i.e.* registres sémiotiques] d'un même concept. » Sous forme d'un tableau à double entrée (cf. tableau 7.1 ci-dessous), le deuxième outil englobe les différents types des savoirs et savoirs faire et établit ainsi la grille de « distance des savoirs » – différences et distances entre les savoirs à enseigner (programmes) et les connaissances des élèves – relativement à un concept ou une activité d'enseignement - apprentissage. Cette approche du rapport au savoir de physique-chimie nécessite la distinction entre les connaissances quotidiennes et celles issues de la discipline. De surcroît, elle préconise « l'explicitation du langage et en particulier des termes choisis pour le savoir enseigné. » Tiberghien (2011, p. 197).

Tableau 7.1 : La grille « distance des savoirs »

	Déjà connu		À construire	
	Physique-chimie	Quotidien	Physique-chimie	Quotidien
Théorie et modèles				
Relations Théorie / Modèle - Objets / Événements				
Objets et événements				

Pour récapituler, nous citons un schéma conçu par Veillard *et al.* (2011, p. 205) à partir d'un certain nombre de travaux réflexifs longitudinaux sur la conception de ressources pour l'enseignement de la physique-chimie :



Source : Veillard, Tiberghien et Vince (2011)

Schéma 7.3 : « Des grandes théories aux outils de conception. »

CHAPITRE 8 : MANUEL SCOLAIRE ET DISCOURS SCIENTIFIQUE

L'objectif de ce chapitre est d'exposer les bases de théorisation du discours scientifique et, plus spécifiquement, du discours à finalité didactique qui soutient l'enseignement scolaire des sciences, tout comme la présentation du savoir dans les manuels. À partir de ces réflexions, nous avons construit la grille d'analyse des manuels (cf. §11.1).

8.1 Les genres du discours scientifique

L'idée que le discours scientifique – le terme pris, ici, au sens des sciences expérimentales *stricto sensu*, soit physique-chimie et sciences de la vie et de la Terre – doit être appréhendé comme un genre rhétorique plutôt qu'un simple moyen de transmettre des résultats de recherches scientifiques, a réuni des spécialistes de plusieurs disciplines (rhétoriciens, linguistes du texte, sémioticiens, sociologues, didacticiens), qui cherchent à comprendre les mécanismes, les normes et les motivations influençant la nature de ce type de discours, ainsi qu'à décrire à la fois ses traits caractéristiques et leurs effets communicationnels et convaincants. Pour Jacobi (1986), le discours scientifique est défini comme toute « communication de spécialiste destinée à d'autres spécialistes. Il use d'une 'langue' particulière, de terminologie. On le distingue comme discours source, ésotérique et légitime. » (*ibid.*, p. 15). Par exemple, un article scientifique, un ouvrage, une thèse, etc., rédigés par un chercheur ou un savant d'une discipline donnée, publiés et destinés à la communauté de ces pairs, constitue le cas type de discours scientifique. En revanche, « est considérée comme vulgarisée toute pratique discursive qui propose une reformulation du discours scientifique. » (*ibid.*, p. 15). Le vulgarisateur se trouve très exactement placé dans une situation de médiation : depuis son rôle d'interprète, il doit faire passer le discours d'une langue cible, celle du spécialiste, dans la langue commune, celle du non spécialiste. En un mot, il est chargé de paraphraser, reformuler la science pour la rendre accessible chez l'homme de la rue. Par reformulation, précise Pétroff (1984, p. 53), est entendu « le résultat du travail sur toute information [scientifique et technique] afin de l'adapter à un type de destinataire précis et en fonction d'une action déterminée. » Et, il rajoute que le processus de la reformulation englobe « l'élaboration de textes entiers qui reprennent l'essentiel d'un texte source pour produire des textes seconds (résumés, commentaires,

contractions de textes, etc.). » (*ibid.*, p. 54). À ce titre, les discours à prétention scientifique, comme la vulgarisation (ou popularisation, selon la terminologie anglo-saxonne), l'enseignement, l'information, les archives, etc. qui ont recours à des tournures métalinguistiques – *i.e.* fonctions du langage visant à expliciter le code utilisé par le biais de structures syntactico-lexicales –, se situent à la périphérie du discours scientifique. De manière caricaturale, Jacobi distingue trois pôles de discours : celui qui est produit par les chercheurs et les savants pour d'autres chercheurs (discours scientifique primaire) ; celui à vocation instructive, comme les manuels d'enseignement scientifique ; enfin, le pôle à des fins éducatives non formelles, auquel appartiennent la vulgarisation, la presse, les documents de culture scientifique, etc.

S'agissant du discours à vocation didactique et, plus précisément, des manuels d'enseignement scientifique secondaire, nous proposons une analyse qui s'inspire de la sémiotique du discours de vulgarisation scientifique. Certes, les deux sortes de discours sont distincts et c'est pourquoi nous tentons d'apporter, par la suite, quelques éléments afin d'éclairer la délimitation entre les productions de vulgarisation au sens large et celles à des fins d'enseignement. Cependant, toutes deux, à destination d'un grand nombre de lecteurs, non spécialistes ou novices, s'appuient sur les mêmes registres métalinguistiques et fourmillent de terminologies transférées du discours scientifique primaire, nous explique Jacobi. Pourtant, bien qu'elles y servent d'un excellent vecteur communicationnel entre les spécialistes, ces terminologies se muent fatalement en véritables obstacles à la compréhension ou à l'apprentissage, une fois apparues dans le discours pédagogique formel, poursuit l'auteur. Effectivement, la caractéristique la plus connue du discours scientifique primaire tient à ce qu'il mobilise nécessairement un vocabulaire hors de la langue commune, des terminologies scientifiques donnant lieu « à une multiple d'exégèses ».

8.2 Enseignement et vulgarisation

Est-ce que le discours livresque, répandu dans les manuels scolaires, relève de la vulgarisation scientifique ? Autrement dit, en quoi les savoirs enseignés se différencient-ils des savoirs de vulgarisation ?

Jurdant (1969) distingue deux plans : le plan formel et le plan fonctionnel. S'agissant du premier, le manuel scolaire fonctionne, dans l'institution scolaire, de manière

complémentaire à la situation de classe. Traditionnellement, l'élève y a recours pour une étude personnalisée dans un deuxième temps, ultérieur à celui de l'enseignement. Par conséquent, le texte didactique, dans le cadre de l'éducation institutionnalisée, est là pour se faire découvrir par l'élève. De sa part, il l'attaque suivant une démarche procédurale qui aboutit à la construction de sens, d'après une logique critique et récurrente. Par ailleurs, le texte de vulgarisation chargé par une signification close non négociable, par un sens non pas à trouver mais à retrouver, est prêt à consommer comme spectacle, souligne Jurdant (1969). Quant au plan fonctionnel, le même auteur insiste sur une deuxième différence entre ce genre de littérature appelée de vulgarisation et l'enseignement formel : la première vise à la réappropriation du discours scientifique par le langage courant et favorise le « vouloir-savoir » chez l'homme de la rue, tandis que le deuxième réalise la désappropriation du langage familier et se place au cœur du « vouloir-connaître » chez l'apprenant. Plus précisément, l'objectif de l'enseignement est l'« initiation à une certaine parole et à une certaine pratique qui convergent dans une certaine mentalité [...] dite esprit scientifique. » (*ibid.*, p. 154). La distance nécessaire de la première influence empirique et concrète et l'évolution vers l'« abstraction discursive et complexe des lois topologiques », pour ainsi emprunter à Bachelard, s'effectue, entre autres, par le truchement de la désimplification, du détournement et, enfin, de la désappropriation du propre langage de l'apprenant, constate Jurdant. Par contre, poursuit-il, la vulgarisation – régie par le registre normatif des médias, du spectacle, même de l'actualité – est faite de réappropriation du discours scientifique par le langage courant, il s'y opère donc l'abolition de la distance avec l'expérience immédiate. L'attachement intentionnel à l'immédiat, au spectaculaire et à l'usuel caractérisent la popularisation du discours scientifique, à l'opposition du texte éducatif qui se met à fonder la conceptualisation.

Selon le point de vue de Jacobi (1987a), le rapprochement des discours de vulgarisation à d'autres discours à usage pédagogique, nous conduit à supposer « qu'il existe un continuum dans les pratiques de socio-diffusion de la science. » Et ailleurs, l'auteur prétend que « les formes du savoir savant dans l'ensemble des discours scientifiques ne paraissent pas revêtir des formes radicalement différentes [...] » (1987b, p. 111). Jacobi conclut que toute sorte de discours scientifique primaire, ou de discours de vulgarisation à vocation pédagogique (par exemple, la note encyclopédique, le petit livre type « Que sais-je », etc.) ou didactique (comme c'est le cas du manuel scolaire) coexistent, à des limites indistinctes, dans un continuum dont les deux pôles seraient, d'une part, l'ésotérisme (productions adressées à un nombre restreint de spécialistes d'une

discipline donnée) et, de l'autre part, l'exotérisme (discours qui reformulent et qui paraphrasent les premières auprès du grand public).

Enfin, la question « les savoirs enseignés sont-ils des savoirs de vulgarisation » a préoccupé Lautier (2001) qui a tenté d'y apporter réponse. Reprenant les travaux de Jacobi à propos de la distinction des trois pôles de discours (discours scientifique primaire, discours à vocation instructive et discours à des fins éducatives non formelles), l'auteure discerne des différences sous la forme des oppositions suivantes :

- Institutionnalisation du savoir enseigné *versus* aspect ludique du discours vulgarisé. Effectivement, le savoir enseigné est soumis à un programme accompagné des compétences attendues et des objectifs globaux ou spécifiques (observer, expérimenter, interpréter, acquérir la culture scientifique ou mathématique, etc.) élaborés par la noosphère. Il se distingue donc de la vulgarisation par l'intention d'être appris, de motiver une activité d'apprentissage qui subisse une forme d'évaluation. En revanche, le discours de vulgarisation n'obéit à aucune obligation de résultats en termes d'apprentissage ;
- Processus formel de reformulation et d'intégration cognitive du discours scientifique *versus* conception positiviste de l'émergence des connaissances. Plus précisément, tandis que le savoir enseigné puise sa légitimité de la preuve, de l'expérimentation et du langage spécifique (par exemple la mathématisation des savoirs scientifiques), la littérature destinée au grand public ou un film documentaire, une exposition, un site web, une émission télévisée, etc. se contentent de mettre en scène le savoir scientifique – qui s'énonce de lui-même et s'impose comme allant de soi – pour le rendre attractif et digeste, remarque Lautier. Selon elle, « la vulgarisation met à distance les consommateurs de savoir et leur interdit l'accès à une pratique effective. » (*ibid.*, p. 84).

8.3 Structuration du manuel des sciences : unités textuelles et iconiques

Les unités d'information apparaissent dans les manuels d'enseignement scientifique et technologique, sous deux modalités : l'une textuelle, l'autre iconique, c'est-à-dire relevant de tout ce qui est du côté de l'image. D'après Jacobi (1984), l'étude des productions de vulgarisation²⁶

²⁶ Ici, le terme doit être pris au sens opposé au discours scientifique primaire.

permet de relever la place importante que tiennent les illustrations dans ces documents. Si donc le discours de vulgarisation se propose de diffuser des connaissances, on peut dire qu'en outre il les expose, les donne à voir sous la forme d'images. (*ibid.*, p. 23).

Nous admettons que le corpus du texte, d'une part, et les illustrations périphériques qui y sont associées, d'autre part (images, croquis, schémas, tableaux, modèles, graphiques, photographies, commentaires encadrés, accroches, etc.) sont indissociables de la construction du sens chez les usagers d'un manuel. Néanmoins, les deux modalités (unités textuelles, unités iconiques) sont porteuses de signification à part entière constituant un système de reformulations cohérent. Comme Pétroff (1984) l'indique, le document scientifique et, par extension, les supports à vocation didactique (manuels, didacticiels multimédias, documents audiovisuels, etc.) sont une combinatoire de différents vecteurs textuels ou graphiques. Ce chercheur distingue le texte de base, composé par la suite de mots et dans lequel s'opère le « raisonnement fondamental dans sa continuité » et les unités périphériques, disjointes du premier, qui font office de reformulations. Partant, il introduit une double typologie : les productions ou communications linéaires et les communications graphiques. Nous les examinons succinctement tour à tour, en suivant l'auteur. Au premier abord, la recension des unités d'information véhiculées par la communication textuelle s'effectue « sur l'axe des successivités », elle est donc liée au temps, à la durée. En effet, les raisonnements scientifiques et techniques évoluent dans le temps, au fur et à mesure que la lecture avance. C'est donc la « durée qui va déterminer une structuration spécifique (anticipation, rétroaction, etc.) des informations pour une meilleure compréhension » de ces raisonnements (*ibid.*, p. 57). Il en est de même d'ailleurs pour un exposé oral, un rapport écrit, un diaporama, ou même un film. Quant à la communication graphique, qui englobe des schémas, courbes, histogrammes, camemberts, etc., elle s'appuie sur la présentation simultanée de toutes les données dans un seul espace typographique. Il reste, bien évidemment, à l'utilisateur du manuel ainsi illustré à décoder, à interpréter et, encore, à transformer un schéma ou un graphe, une fois le système de référence (abscisses, ordonnées) donné. De manière indicative, si chacun sait lire un cycle de Carnot au plan P-V (pression - volume), ce n'est pas si aisé de savoir le transformer au plan T-S (température - entropie). Pétroff (*ibid.*, p. 59) rappelle que « la caractéristique fondamentale des unités de l'ordre de l'iconique est de donner au destinataire la possibilité d'avoir une information globale, synthétique car tous les éléments sont organisés dans un *espace* donné et avec un système de référence. ». En outre, Jacobi propose, à propos des figures qui accompagnent le texte de base, de se demander quelles sont celles qui

appartiennent au domaine ésotérique, celui du discours scientifique primaire, et celles qui sont propres au discours de vulgarisation. Nous tentons d'illustrer cette différenciation par l'exemple suivant, tiré de l'analyse des manuels français et grecs, effectuée pour les besoins de notre recherche : chaque fois où il est question de la structure de l'atome dans les manuels retenus (qu'ils soient français ou grecs), les auteurs fournissent la figure, très usuelle, des orbites en cercles concentriques, les électrons étant des points matériels gravitant autour du noyau : le modèle planétaire somme toute. Seuls les manuels de chimie grecs de terminales scientifiques fournissent la moderne interprétation probabiliste (sophistiquée, ésotérique), à savoir, celle des orbitales dans lesquelles se propage le nuage électronique, modèle qui correspond bien entendu à la conception scientifique de l'atome, admise à l'heure actuelle. Or, le premier modèle relève de la science divulguée, qui décrit le monde physique de manière approximative et digeste, propre à l'esprit préscientifique, pour ainsi citer Bachelard (2004) :

cette première représentation géométrique [des phénomènes physiques], fondée sur un réalisme naïf des propriétés spatiales, implique [...] des lois topologiques moins nettement solidaires des relations métriques immédiatement apparentes, bref des liens essentiels plus profonds que les liens de la représentation géométrique familière. » (*ibid.*, p. 5).

En revanche, la seconde représentation, élaborée au sein de la mécanique quantique, adhère à la mathématisation du modèle atomique rapprochant, même de façon rudimentaire à ce niveau scolaire, l'aspect du discours scientifique à la matière en question.

Nous finissons cette analyse par consacrer un mot aux signes diacritiques décorant les écrits du genre qui nous intéressent ici. Or, au-delà de leur rôle économique et / ou esthétique dans le texte, ils constituent un pluri-système graphique (Mortureux, 1995 ; Catach, 1980, cité par Jacobi, 1984, p. 25), qui emprunte à un grand nombre de ressources potentielles : lettres romanes de la langue française ; signes particuliers (comme les accents A, A', A'') et alphabets anciens (α , β , γ) ; utilisation des majuscules (pour distinguer le genre et l'espèce : *Lupus lupus*), des guillemets, des passages en italiques ou en gras ; sigles et acronymes constitués des initiales de lexèmes (*i.e.* unités de sens et de son, radicaux) tels que ADN pour « acide désoxyribonucléique », RMN pour « résonance magnétique nucléaire », ou constitués de la lexicalisation d'acronymes : « laser²⁷ », « radar²⁸ », « but²⁹ », etc. ; termes brachygraphiques des symboles pour désigner la chose,

²⁷ Acronyme anglais «light amplification by stimulated emission of radiation». En français : « amplification de la lumière par émission stimulée de rayonnement ».

²⁸ Acronyme anglais «radio detection and ranging» que l'on peut traduire par « détection et estimation de la distance par ondes radio ».

tels que pH pour potentiel hydrogène, UV pour rayonnement ultraviolet, K pour potassium, etc.

²⁹ Contraction anglaise «binary digit», désignant l'unité minimale d'information.

CONCLUSION DE LA DEUXIÈME PARTIE

Les appuis théoriques de ce travail de thèse se situent à l'intersection de trois élaborations théoriques : la théorie des situations et la théorie anthropologique « du didactique »³⁰, d'un côté ; la théorie du noyau central des représentations sociales, de l'autre côté. En premier lieu, à partir de la théorie des situations, Brousseau met en scène la relation didactique qui se tisse entre trois pôles épistémologiques (l'enseignant, l'enseigné et l'objet d'enseignement), à la base d'un contrat tacite, au sein d'un milieu matériel et cognitif. C'est parce que nous avons mené une recherche didactique sur des manuels scolaires de physique et de chimie, que cette notion de milieu nous a parue féconde, car le manuel fait partie du milieu. S'agissant des manuels des sciences, ils représentent l'outil qui concrétise, de manière immédiate et omniprésente dans l'étude (dans et hors l'école), le contact entre l'élève et la science. Le discours développé dans les manuels se rapproche du discours de vulgarisation, en ce sens qu'il a subi des reformulations *ad hoc* à des fins didactiques. Généralement, le manuel constitue une étape intermédiaire de la transposition didactique, entre la prescription officielle et les pratiques enseignantes effectives (Assude et Margolinas, 2005). Dans notre démarche où ces pratiques ne sont pas prises en compte, on peut invoquer Assude (1996, p 50), pour qui « le texte du savoir est assez représentatif d'une 'moyenne pondérée à plusieurs contraintes' du rapport institutionnel aux objets de savoir mathématiques présents dans les différents systèmes didactiques qui réalisent effectivement ce texte de savoir. »

Deuxièmement, la théorie anthropologique du didactique propose de focaliser sur le savoir et ses lieux de vie, les institutions. Chevallard analyse les rapports qu'entretiennent celles-ci et leurs membres avec le savoir. L'école constitue, en ce sens, un espace où le savoir arrive après avoir subi une première transposition didactique (externe). Legardez (2006) rejoint cette idée lorsqu'il parle des savoirs intermédiaires, véhiculés dans les manuels et autres moyens de matériel didactique. Ces savoirs sont souvent « peu précis vis-à-vis des concepts scientifiques [ce qui] témoignerait d'une trop grande simplification

³⁰ Chez Chevallard, « le didactique » constitue l'objet propre de la didactique. Nous citons l'auteur : Le didactique est cette dimension du réel social qui est coextensive à la présence d'une intention, portée par une personne ou, plus généralement, par une institution, de faire *quelque chose* pour que quelqu'un, personne ou institution, « apprenne » *quelque chose*. La définition du didactique suppose les deux « quelque chose » que la formulation précédente enchaîne : le premier renvoie aux gestes didactiques qui seront éventuellement accomplis ; le second désigne l'enjeu didactique, soit le « contenu à apprendre » (qu'on peut pour le moment identifier à un contenu praxéologique), sur lequel le premier « quelque chose » se règle spécifiquement – même si cette spécificité n'est pas la même selon que l'enjeu didactique est, par exemple, « les mathématiques », « l'algèbre élémentaire » ou « le développement de l'expression $(x - y)^2$ ». (Chevallard, 2010, p. 138).

et d'une épuration opérée lors du passage du 'savoir savant' au savoir scolaire. » (Bruillard, 2005, p. 20). Pour ce qui nous concerne, le modèle de l'atome enseigné à l'école en relève, puisqu'il s'agit, en définitive, d'un modèle hybride, conçu uniquement pour un usage scolaire. Il est remarquable que ce modèle hybride soit aussi bien rencontré (avec quelques variations sporadiques) dans les manuels grecs que français, produits par des instances noosphériques indépendantes les unes des autres. Or, en ce point se cache un phénomène didactique de portée universelle, propre aux processus transpositifs.

Enfin, l'objet atome, fort médiatisé de manière récurrente (« ère atomique », « armes atomiques », « nucléaire », etc.), est susceptible de déclencher un processus représentationnel dans la société, mais aussi activé dans l'école. En effet, cet objet de recherche a trait à la psychologie sociale. Dans le grand paradigme scientifique, l'épistémologie qui le sous-tend est le socio-cognitivism, c'est-à-dire, une articulation entre le cognitif et le social (conflits socio-cognitifs chez Vygotski, sociogenèse des contenus représentationnels et dynamique de construction en fonction des dynamiques sociales et de communication, en référence à Moscovici). Suivant l'hypothèse phénoménologique interactionniste, la réalité est socialement construite, partagée et transformée dans les pratiques et les interactions quotidiennes, multiple et éphémère, à savoir modelée par un système représentationnel dynamique qui régit le fonctionnement de l'individu (subjectivité de la réalité), dans un contexte social, historique, culturel et physique donné. Des démarches inductive et compréhensive qui s'intéressent aux modalités de la pensée sociale et des connaissances pratiques, qui nous permettent d'interpréter et de maîtriser l'environnement, et d'orienter nos conduites en société. Lorsque l'on interroge les RS, on s'intéresse à la façon dont les sujets pensent et rendent « l'étrange familier » (« domestication », chez Moscovici) et non pas à la façon dont ils devraient penser.

Les RS, organisées de schèmes cognitifs, se situent en amont de stéréotypes, préjugés, croyances, conceptions, etc. (Mannoni, 1998). Pour ce qui est donc de l'articulation entre les RS et les conceptions ou représentations tout court (au sens de Piaget, 1947 / 2008, puis de Johsua et Dupin, 1993), on peut remarquer que :

1. Les conceptions constituent des explications, raisonnements et modèles sur la réalité objective, que l'individu élabore pour interpréter le monde l'entourant (Giordan, 1999). Le courant constructiviste considère ces « déjà-là », évoqués par Bachelard, comme des connaissances préalables à l'apprentissage, liées à des obstacles qui

empêchent la construction du savoir scientifique. À titre d'exemple, à la question « que devient le soleil la nuit ? », certains élèves croient qu'il devient la lune. Ces schèmes cognitifs appelés conceptions – ou représentations initiales, misconceptions, modèles alternatifs, alternative framework, etc. – faisant partie intégrante du bagage intellectuel de l'élève, le rôle de l'école consiste en leur conversion en concepts scientifiques et modèles canoniques conformes aux théories admises. De sa part, le didacticien des sciences, souligne Clément (2009), doit analyser et comprendre ces conceptions pour rendre au final l'enseignement plus efficace, plus utile, plus citoyen.

D'un point de vue socioconstructiviste, « il ne s'agit pas d'éradiquer les connaissances naïves, mais les deux types [connaissances naïves et connaissances scientifiques] vont se développer et peuvent interagir. » (Tiberghien, 2002, p. 13). Nous empruntons aux travaux du laboratoire ICAR³¹ la définition d'une conception qu'ils considèrent comme étant une reconstruction théorique, un modèle du fonctionnement de l'élève établi par les chercheurs. Les conceptions orientent les activités de l'élève et ses apprentissages de manière implicite. La recherche en didactique sur les raisonnements erronés des élèves a décelé « un noyau de résultats extrêmement stables d'un chercheur à un autre, d'un pays à un autre [...] et d'un élève à un autre. » (*ibid.*, p. 20). Effectivement, il est fort probable de retrouver le même type d'interprétations et de prédictions déjà répertoriées, quand nous enquêtons n'importe quelle population à propos d'un thème spécifique, soit qu'il s'agisse du magnétisme ou de la photosynthèse, etc. Selon Johsua et Dupin (1993, p. 126), les conceptions « peuvent fonctionner comme des sortes de modèles théoriques, alternatifs des modèles canoniques [scientifiques]. » En outre, elles manifestent une cohérence interne remarquable et une résistance dans la durée, puisque, même après enseignement, les élèves y ont recours pour résoudre des problèmes. Cette persistance est causée par leur capacité de plasticité, soulignent ces auteurs, face à une situation d'enseignement démontrant l'incompatibilité entre une conception et la preuve expérimentale d'un phénomène. Mais, l'évolution interne que peuvent subir les conceptions ne conduit pas forcément à la « conception vraie ». S'agissant de leurs limites, les conceptions ont souvent un domaine de validité, mais qui est borné : de fait, le fer n'existe pas à l'état gazeux puisque corps solide (dans la vie quotidienne), argumente l'élève.

³¹ Interactions, corpus, apprentissages, représentations, Université Lyon 2 - CNRS - ÉNS de Lyon - IFÉ (site Web Pegase, cf. sitographie 21).

2. Les RS associent un objet social, matériel ou idéal, à un groupe social, c'est-à-dire, un ensemble d'individus parmi lesquels sont élaborés des éléments cognitifs à caractère consensuel (informations, opinions, croyances, stéréotypes, etc.) corrélés entre eux. Dans la perspective de la théorie structurale (Abric, 1987 ; 1994, Flament et Rouquette, 2003), à laquelle nous adhérons, la fonction consensuelle est assurée par le noyau central de la RS, les variations plus individuelles composant sa périphérie. En conséquence, si les conceptions désignent des schèmes cognitifs cohérents dégagés par le chercheur à partir des réponses d'un individu placé dans plusieurs situations relatives à un thème donné, les RS se réfèrent à la pensée sociale. Elles constituent des cohérences à caractère collectif dégagées par le chercheur à partir des conceptions individuelles soit identifiées chez les membres d'un groupe social, soit, localement partagées au sein d'une culture (Rateau, 1999). Subséquemment, il ne faut pas perdre de vue que les phénomènes cognitifs subordonnés (attitudes, opinions, etc.) ne disposent pas de noyau tel qu'il a été défini relativement aux représentations sociales (Flament et Rouquette, 2003). À titre d'exemple, étudier la RS du concept d'atome auprès d'un nombre important de lycéens qui suivent la série du baccalauréat scientifique peut constituer un projet de recherche en didactique des sciences. À cet égard, l'utilité du concept de conception est féconde dans la mesure où il nous permet de comprendre le raisonnement explicatif d'une série de problèmes auxquels les élèves se trouvent confrontés, soulignent Orange-Ravachol et Orange (2013). Par exemple, comment vont-ils interpréter l'émission de la lumière laser à partir de leur propre représentation de l'atome. En l'occurrence et pour revenir à l'exemple de l'étude de la RS de l'atome, le groupe social spécifique s'identifie à la « classe », autrement dit, un espace culturel, une institution à finalité l'initiation à la pensée scientifique. Notons au passage qu'à la suite des réflexions moscoviciennes, Moliner (1993) a déterminé les conditions d'émergence d'un processus représentationnel, en prenant en compte tant la nature de l'objet représenté que les caractéristiques du groupe social censé se représenter cet objet. À coup sûr, tout objet social ne peut pas être objet de RS. Pour ce qui nous concerne, nous postulons qu'un tel objet peut correspondre à nombre de concepts, phénomènes, théories, procédés et innovations scientifiques et technologiques, notamment ceux qui alimentent les questions scientifiques socialement vives (Simonneaux et Legardez, 2011) et les controverses socioscientifiques (Albe, 2009). À titre indicatif, des thèmes tels qu'énergie, nucléaire, Big-bang, technologie domestique, nanotechnologies, chimie verte, changement climatique, eau, Terre, évolution des espèces, etc., donnent naissance à des phénomènes représentationnels chez les élèves. En revanche, d'autres savoirs de nature plus technique

(tels que la formule d'une réaction d'oxydoréduction, la compression adiabatique, etc.) sont dénués des critères préconisés afin de déclencher réellement une RS. Cependant, il est légitime d'étudier les conceptions qu'en élaborent les élèves. Ainsi, les conceptions sont inhérentes à la dimension individuelle, alors que les RS renvoient à la dimension collective. Enfin, si les premières émanent du conscient, les secondes sont enracinées dans le non conscient (De Vries, 2011). À titre récapitulatif, le schéma suivant tente de délimiter le champ théorique dans lequel nous nous plaçons :

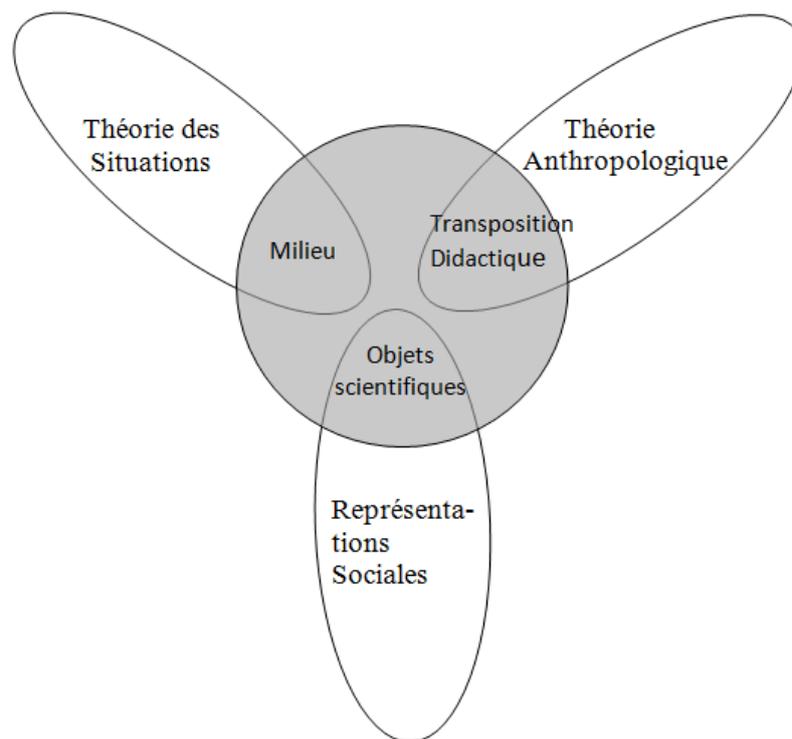


Schéma 7.4 : Position théorique dans laquelle se place ce travail de thèse

PARTIE 3

PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODE

CHAPITRE 9 : PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE – PROTOCOLE SUIVI – HYPOTHÈSES

Ce chapitre se propose d'explorer le champ des recherches qui se rapportent à notre problématique, telle que définie en amont. On trouvera ensuite le profil de la population ciblée ainsi que la description des étapes de déroulement de la pré-enquête et de l'enquête principale. Enfin, nous émettons nos hypothèses de recherche.

9.1 Questions de recherche

Notre intention étant d'adapter un outil de la psychologie sociale, les représentations sociales, vers le champ didactique et d'en tester la pertinence vis-à-vis de l'enseignement - apprentissage, la question principale de cette thèse peut être formulée comme suit : quels sont les obstacles et les appuis en vue du traitement didactique du thème de l'atome en collège et notamment en lycée, et cela, d'un point de vue comparatif entre des milieux scolaires en France et en Grèce ?

Une connaissance des RS, en l'occurrence, de l'atome peut permettre de comprendre le sens que les sujets (élèves) attribuent à ce concept. Ce sens relève d'un système d'accueil du savoir, pouvant faire obstacle ou, au contraire, servir d'appui à l'apprentissage. Il s'agit donc d'une approche utilitariste des RS qui fonde la raison sociale de cette investigation. Effectivement, nous optons pour le cadre social – ou, plus spécifiquement, pour le paradigme des RS qui relie l'individuel au social – afin d'appréhender les conceptions des élèves, d'une manière plus appropriée que lors d'une démarche standard.

En des termes issus de la théorie anthropologique en didactique (cf. chapitre 5), ce travail de thèse vise à confronter le rapport au savoir institutionnel, prescrit par les manuels scolaires et autres référentiels, avec le rapport au savoir personnel, tel qu'il émerge en tant que composante des rapports au savoir de chacun des élèves enquêtés au cours de cette recherche. Bien entendu, apporter une réponse à la question de départ nécessite la connaissance d'un nombre de réponses à un questionnement articulé autour de deux axes : l'axe des représentations sociales et l'axe de la transposition didactique. Plus précisément :

9.1.1 Axe des représentations

Au plan représentationnel, le questionnement se décompose comme suit :

- 1) Quel est le contenu des RS du concept épistémique d'atome, chez les deux groupes d'élèves considérés, français et grecs ? Notons que le contenu d'une représentation est l'ensemble des informations fournies par les individus à propos de l'objet visé. Il peut être constitué d'éléments à la fois cognitifs et affectifs ;
- 2) Quelle est la structure du contenu représentationnel ? Est-ce qu'on peut repérer un noyau central et des éléments périphériques l'entourant ? Selon l'approche structurale, le contenu d'une RS est hiérarchisé en quatre modalités, de la moins (ou guère) significative envers l'objet à la plus importante : deuxième périphérie, première périphérie, éléments contrastés et zone du noyau central ;
- 3) Est-ce que la RS évolue, en fonction du niveau de classe des enquêtés ? Rappelons brièvement que le noyau central résiste au changement, alors que la périphérie permet l'intégration d'éléments nouveaux, ce qui peut conduire à terme à la transformation de la RS ;
- 4) Quelles comparaisons peut-on faire, en diachronie et en synchronie ? En diachronie, nous comparerons les systèmes représentationnels interniveau de classe, tandis qu'en synchronie, la comparaison porte entre élèves grecs et français d'un même niveau de classe ;
- 5) Quelles conceptions peuvent être identifiées à propos du modèle de l'atome, de la relation entre atomes et molécules et, encore, à propos du modèle probabiliste actuel ?

9.1.2 Axe de transposition didactique

Sur le plan transpositif, la problématique se décline selon les questions suivantes :

- 6) Comment le thème didactique de l'atome est-il présenté dans des manuels de physique-chimie, français et grecs, de 1945 à nos jours ?
- 7) Quelle typologie transpositive peut être établie ? Pour répondre à ces questions, nous élaborerons une grille d'analyse didactique des manuels scolaires ;

- 8) Quelles comparaisons peut-on en tirer ? Nous envisageons trois éventualités de juxtaposition : manuels anciens *versus* manuels plus récents ; manuels français *versus* manuels grecs ; manuels grecs de physique *versus* manuels grecs de chimie ;
- 9) Enfin, est-ce qu'on peut identifier des effets de la transposition didactique sur les RS décelées, dans les deux cas, français et grec ?

Il est à signaler que les outils de recueil de données conçus, qui nous aident à répondre à ces questions, sont indiqués plus longuement (cf. chapitres 10 et 11).

Maintenant que nous avons posé nos questions de recherche et avant de formuler nos hypothèses, passons à l'exploration du champ des recherches standard en didactique des sciences, portant sur les conceptions d'élèves à l'égard de l'« atome », en tenant compte du fait que ce thème n'a encore fait l'objet d'aucune étude³² en RS.

9.2 Revue de littérature

Nous opérons un survol des recherches antérieures portant sur les représentations d'élèves (au sens de Johsua et Dupin, 1993) à propos de l'atome, ainsi que sur sa transposition didactique, en France, en Grèce, ainsi qu'à l'international.

9.2.1 Recherches en contexte français

Cros, Fayol, Maurin, Chastrette, Amouroux et Leber (1984) cosignent un article, publié il y a une trentaine d'années, qui se propose de mettre en évidence quelques conceptions déformées d'étudiant(e)s français qui débutent leur parcours universitaire (1^{ère} année de DEUG scientifique), vis-à-vis de trois concepts clefs en chimie : atome, acide - base, équilibre chimique. S'agissant de la partie du questionnaire portant sur l'atome, les sujets connaissent à coup sûr les constituants de celui-ci, protons, neutrons et électrons, mais les interactions électriques ou électrostatiques entre eux (*i.e.* $p^+ - e^-$, $p^+ - p^+$ et $e^- - e^-$) se révèlent relativement moins connues (65 % de réussite). Pour s'aider à expliciter leur réponse, les étudiants s'appuient souvent sur le modèle planétaire de Bohr pour l'atome.

³² Un nombre de recherches en RS (mais, hors finalité didactique) sont centrées sur le nucléaire, civile et / ou militaire, de plusieurs points de vue : environnement - économie (développement durable), géopolitique (force de dissuasion nucléaire), etc. Cependant, notre approche s'intéresse principalement au concept épistémologique d'atome, dans le cadre de l'enseignement de physique-chimie au second degré.

Quant aux interactions nucléaires dans le noyau, elles s'avèrent méconnues par la majorité des enquêtés. De surcroît, leurs représentations concernant la libération de l'énergie nucléaire vont relativement dans le bon sens, à l'exception des misconceptions très répandues voulant que l'énergie nucléaire se dégage par les chocs entre molécules et non pas entre atomes et particules. À propos du thème de radioactivité, il semble que les répondants ont des connaissances non négligeables : ils évoquent les rayonnements α , β et γ , ou une émission par le noyau, caractérisée comme dangereuse par seulement 15 % environ. En effet, des préoccupations sociales et écologiques manquent de leurs discours. Qu'une molécule soit constituée à partir d'atomes ne pose apparemment aucun problème. En revanche, le cristal reste une entité assez mystérieuse, avec à peine 27 % des participants donnant l'idée de réseau, d'agencement d'atomes ou d'ions en position bien définie. En conclusion, d'après les chercheurs, les connaissances des étudiants sur les éléments constitutifs de l'atome et de la molécule sont suffisantes. Au contraire, tout ce qui est des interactions entre ces constituants et, *a fortiori*, à l'intérieur de structures plus complexes (molécule, cristal), leur pose assez de difficultés.

Dans son travail doctoral, D. Charlet-Brehelin (1999) a étudié, entre autres, l'évolution des conceptions des élèves à différents niveaux du collège en France, à propos du concept d'atome. En premier lieu, il a été demandé à des élèves des classes de 4^e, n'ayant jamais eu d'enseignement en physique-chimie au collège, d'associer au mot « atome » des mots (substantifs, adjectifs, verbes, etc.) qui leur viennent spontanément à l'esprit. La chercheuse a regroupé ce corpus selon cinq catégories que nous citons ci-après par ordre de prédominance, à partir de la plus riche en nombre de mots. Aussi, nous les illustrons avec quatre mots, du plus important en nombre d'apparitions au moins important :

1. « Applications nucléaires » : bombe, atomique, dangereux, nucléaire ;
2. « Connaissances scientifiques » : chimie, sciences, physique, recherche ;
3. En troisième rang, arrivent en commun deux catégories, « Applications techniques » (électricité, énergie, matière, produit) et « Domaine biologique » (corps, cellule, hématome, microbe) ;
4. « Qualités » : microscopique, plusieurs, rond, minuscule.

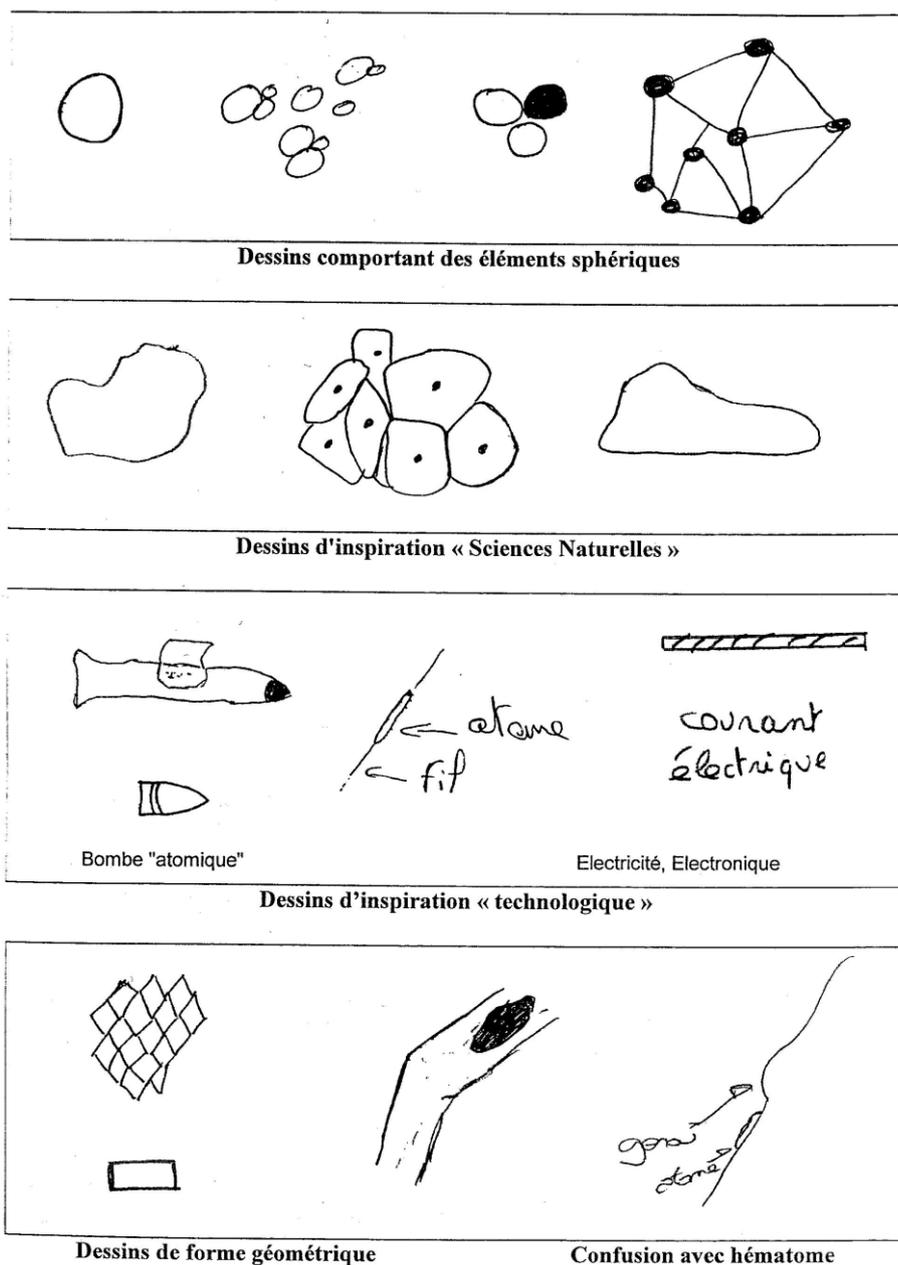
En second lieu, les élèves ont tenté de définir l'atome. Charlet-Brehelin a établi un répertoire de leurs propos, fourni par le tableau ci-dessous :

Tableau 9.1 : Réponses d'élèves de 4^e (avant enseignement) à la question « Un atome, qu'est-ce que c'est ? »

Un atome, c'est	nb citations	pourcentage
une bombe (1), ce qui fait les bombes (6), qui provoque une explosion (3), qui éclate (1)	11	11,3
un composant: chimique (3), électronique (2), de matière (1), du corps (1)	8	8,2
un objet électrique (5), de l'électricité (3)	8	8,2
un produit: chimique (3), nucléaire(1), naturel (1)	5	5,1
une particule (3), une petite partie (1), le plus petit grain de matière (1)	5	5,1
l'objet de recherches	5	5,1
une cellule (du corps humain)	5	5,1
une blessure, un "bleu", une bosse	4	4,1
un microbe	3	3,1
une matière (1), chimique (2)	3	3,1
un terme chimique (2), physique (2)	3	3,1
de l'énergie, contient de, produit de	3	3,1
dangereux (en rapport avec bombe, 2)	3	3,1
une pierre, une roche	2	2,1
un gaz	2	2,1
un liquide	2	2,1
une boule	3	3,1
rond	2	2,1
de différentes couleurs	2	2,1
microscopique	5	5,1
invisible à l'oeil nu	4	4,1
petit	2	2,1
partout, dans tous les objets	3	3,1
dans l'air	2	2,1
dans le corps humain	2	2,1
nombre d'élèves	60	
nombre de citations	97	

Source : Charlet-Brehelin (1999)

Complémentairement les sujets ont été invités de faire des dessins de l'atome. La typologie qui se dégage apparaît dans la figure suivante. L'effectif des figures comportant des boules isolées ou associées frôle 46 % de l'ensemble. Les dessins inspirés des sciences naturelles couvrent le quart du corpus, tandis que ceux autour du thème de la bombe atomique, 7 %.



Source : Charlet-Brehelin (1999)

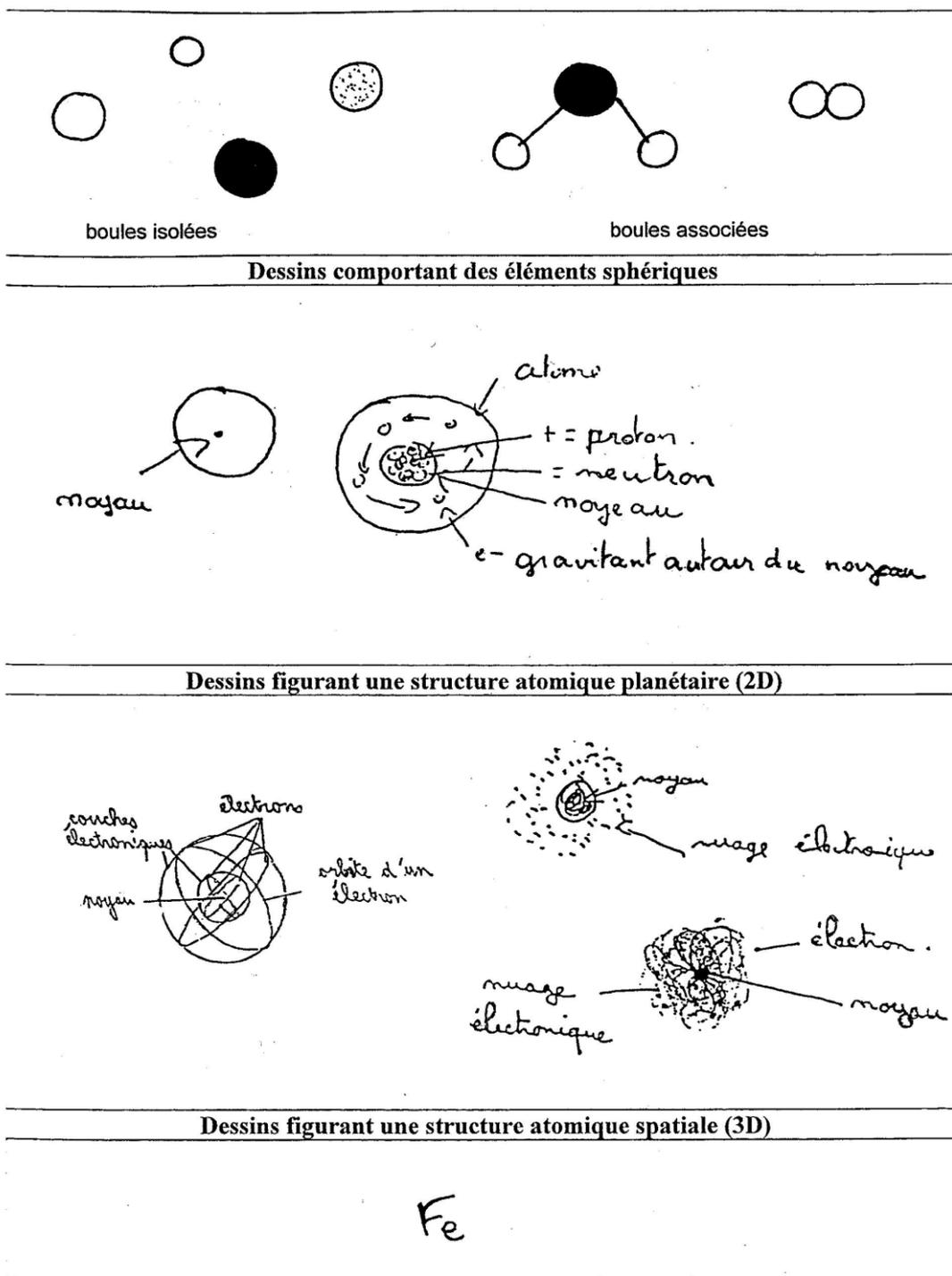
Figure 9.1 : Les typologies des dessins d'élèves sur l'atome (avant enseignement)

Dans un troisième temps, la même investigation a été menée auprès d'élèves de 3^e, donc après enseignement. Les réponses obtenues moyennant la question « Un atome, qu'est-ce que c'est ? » sont maintenant davantage en accord avec le savoir scientifique. À titre indicatif, un atome...

- est composé d'un noyau ;
- est composé d'un nuage électronique ;
- c'est ce qui constitue la matière, les objets ;

- ça forme la molécule ;
- c'est une particule ;
- c'est un groupe de molécules ;
- est composé de protons, neutrons et électrons ;
- c'est une cellule, etc.

À la question « où trouve-t-on des atomes », les élèves de fin de 3^e précisent : partout ; dans tous les corps ; dans l'air ; dans l'eau ; dans les métaux ; dans le corps humain, les êtres vivants ; dans les molécules, etc. La taille de l'atome semble poser problème, car presque les trois quarts des répondants se contentent de commenter de manière générale, « très petit, microscopique ». Pour 15 %, ses dimensions sont de l'ordre du micromètre – $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$; par comparaison, les plus petites cellules humaines mesurent $5 \mu\text{m}$ –, alors que 7,5 % optent correctement pour l'échelle nanométrique (10^{-9} m). Enfin, l'évolution des dessins d'atome vers des modèles plus sophistiqués, produits par cette cohorte d'élèves, est incontestable, comme nous le voyons dans la figure 9.2, qui en fournit un spécimen :



Source : Charlet-Brehelin (1999)

Figure 9.2 : Les typologies des dessins d'élèves sur l'atome (après enseignement)

D'un point de vue comparatif (cf. fig. 9.1 et 9.2), la partie des dessins comportant des éléments sphériques maintient sa prépondérance, avec 47 % sur l'ensemble. Il en est en même pourcentage, quant aux dessins illustrant la structure planétaire de l'atome (plane ou

spatiale), les élèves se partageant essentiellement entre ces deux types de représentations. Des images provenant des sciences naturelles reculent radicalement. Enfin, lorsque la chercheuse considère les dessins fournis par les tout nouveaux lycéens, elle constate une légère chute des « boules daltoniennes » (41 %), tandis que le modèle planétaire est préféré par 44 % et les figures indiquant les charges électriques par presque 8 % des élèves débutant en seconde.

Nous revenons en contexte français pour rapporter quelques éléments issus du travail de thèse de P. Frechengues (1999). Cet auteur étudie la construction du concept d'électron chez des lycéens, en corrélation avec sa transposition didactique. Premièrement, il remarque que le mot « hypothèse » est employé de manière répétitive dans les sections portant sur le thème de l'atome de quelques manuels scolaires des années 1940 et 1950. Par exemple, nous lisons : « La théorie atomique repose sur trois hypothèses : 1. L'hypothèse moléculaire [...] ; 2. L'hypothèse d'Avogadro [...] ; 3. L'hypothèse atomique [...] » (Lamirand et Joyal, 1951, cités par Frechengues, 1999, p. 85). L'origine de cet effet transpositif peut remonter aux débuts du 20^{ème} siècle. Alors, la noosphère se divisait sur la question suivante : est-il raisonnable de faire passer l'atome, dans l'enseignement secondaire, « du rang des hypothèses à celui des principes³³ », comme le demandait dès 1904 Langevin ? La querelle de l'anti-atomisme n'était donc pas restée sans écho, même un demi-siècle après.

Deuxièmement, les instructions officielles recommandent l'initiation des élèves à une démarche expérimentale, favorisant l'inductivisme, comme méthode d'enseignement inaugurée par la réforme de 1902. Pourtant, dès 1947, elles concèdent au Professeur l'initiative de conduire sa classe selon la méthode déductive, qui consiste en l'interprétation des phénomènes à partir de principes posés en amont. Dans cet esprit et à propos de la Chimie en classe terminale, les textes institutionnels relatent que :

Dans son exposé, le professeur [...] prendra pour base la théorie atomique qu'il esquissera à grands traits, se réservant de revenir en fin d'année [...] sur la constitution de l'édifice atomique. Ce procédé est peut-être dogmatique, mais il est particulièrement simple, rapide et il donne aux lois générales (Lavoisier, Dalton, Proust) un caractère d'évidence qui fait que les élèves les retiennent sans aucune peine. (Source : Frechengues, 1999, p. 88).

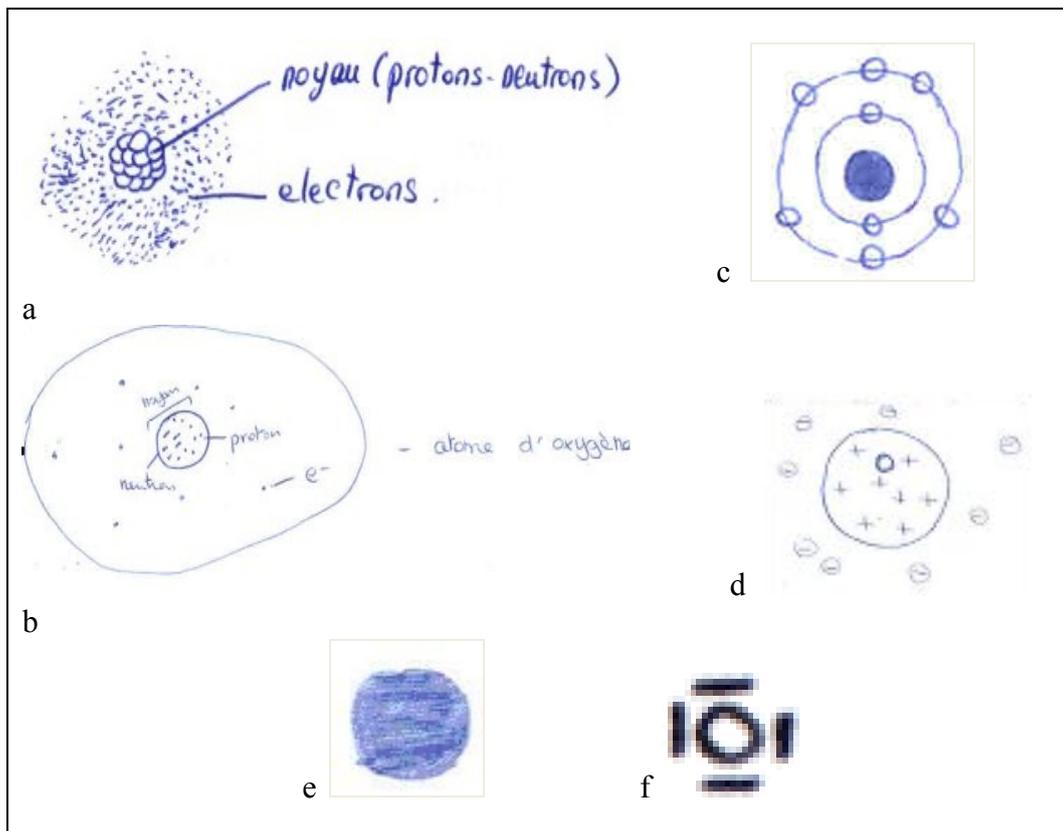
Troisièmement, une fois la théorie atomique affirmée en milieu scolaire, le concept d'électron apparaît pour la première fois en 1965 (en remplaçant celui de « négaton ») dans

³³ La phrase appartient au physicien français Paul Langevin, dont les idées sur l'épistémologie scolaire autour de l'atome suscitaient, raconte Frechengues, de vives controverses irrigées par Mourgues (co-fondatrice de l'Union des Physiciens) qui reprochait à cela de charger inutilement les programmes et les adolescents.

les programmes de seconde, à la fois en physique et en chimie, indique l'auteur, dans le même paragraphe : « Les constituants de la matière : atomes, molécules, ions, électrons [...] ». Désormais, les propriétés liées au caractère électronique de la liaison chimique entre les atomes trouvent un levier explicatif simple et cohérent, note Frechengues.

Enfin et pour nous délimiter à cela, il est intéressant de présenter succinctement les résultats qu'a obtenus Frechengues après avoir sondé les représentations d'enseignants (exerçant à la fois en 2^{de} et en 1^{ère} S) à propos du modèle d'atome et du modèle d'électron. Il ressort que certains enseignants utilisent diverses analogies pour se référer à l'atome : boule, orange, etc. Bien que le modèle planétaire soit prohibé par les textes officiels (programmes de 1993), un peu plus du tiers des enquêtés avouent qu'ils y ont recours ou que ce modèle est utilisable à l'école, car il n'est « pas plus mauvais qu'un autre ». De plus, le modèle de Lewis est bien apprécié par les professeurs, alors que le taux des partisans du modèle probabiliste reste moyen. Pour parler des niveaux d'énergie quantifiés dans l'atome – question que les enseignants considèrent difficile en 2^{de} – ils s'appuient sur les analogies, telles que l'escalier, les couches, les sauts d'électrons, etc. S'agissant de l'image de l'électron, deux types de modélisation attirent principalement leur préférence : 60 % retiennent la conception d'une particule décrite avec des propriétés physiques (masse, charge, mouvement, etc.) ; pour 40 %, l'électron est nécessairement pensé en corrélation avec l'atome. Soit l'atome planétaire, où alors l'électron gravite autour du noyau, soit l'atome quantique, où il effectue des sauts électroniques, ou probabiliste.

Pour les besoins de sa recherche doctorale, Çökelez (2005) a étudié le registre des modèles notamment d'atome et de molécule à propos de l'enseignement de la structure de la matière et de ses transformations, au lycée français. Il établit donc la typologie suivante, illustrée par la figure 9.3, ci-dessous :



Source : Çökelez (2005)

Figure 9.3 : Différents modes de représentation du concept d'atome : a) et b) modèle «*Electron*» ; c) mod. «*Solar system*» ; d) mod. «*Composition*» ; e) mod. «*Sphere*» ; f) mod. «*Symbol*»

Çökelez précise que les dessins relevant du modèle «*Sphere*» sont abondants au niveau scolaire correspondant à la classe de seconde (grade 10). Les autres modalités obtiennent des taux très faibles, les «*Solar system*» et «*Composition*» se partageant le deuxième rang. Cependant, à l'entrée en première scientifique, et beaucoup plus en terminale S, (grades 11 et 12), le «*Symbol*» monte considérablement et rejoint ainsi la «*Sphere*» qui baisse de 50 %. Ces deux modalités sont suivies par le modèle «*Composition*» puis «*Solar system*». Une évolution analogue se dégage quant à la représentation graphique du concept de molécule. En seconde, les modèles des boules daltoniennes dominent, tandis que les modèles à la base d'une symbolisation abstraite (formules de Lewis, telle que H-O-H, pour la molécule d'eau) attirent la préférence des enquêtés.

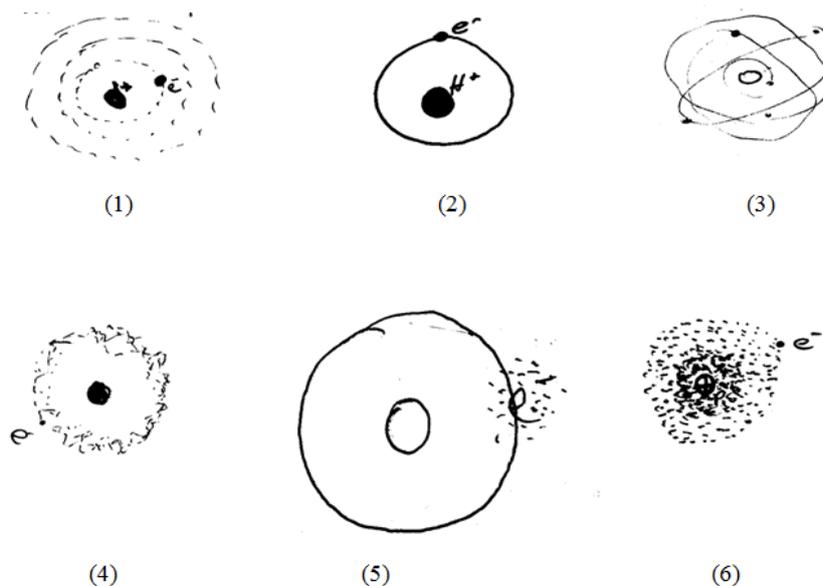
Dans un article, Dumon et Çökelez (2006) concluent que les petits élèves croient en la continuité de la matière qui est censée être composée de différentes entités (grain,

goutte, poussière...), sans espace vide entre elles. Une difficulté qui consiste en la différenciation entre atome et molécule est observée non pas seulement chez des élèves (de niveau collège et lycée), mais également chez les futurs enseignants du primaire. À cause de cette confusion, certains d'entre eux, expliquent les chercheurs, élaborent une conception additive de la molécule, selon laquelle la formule, par exemple, H_2O , représente l'association de H_2 et O . C'est donc de cette façon que les « atomes » se combinent pour former les molécules, une misconception qui se cache derrière les dessins d'accolement de cercles ou de sphères, produits par les sujets. Très souvent, aussi, les atomes semblent être dotés des caractéristiques macroscopiques de la substance qu'ils forment. Ainsi, « l'atome de cuivre possède les propriétés du métal, conduit l'électricité, a une couleur rouge. » (*ibid.*, p. 55). Enfin, un cristal ionique, tel que le $NaCl$, est parfois considéré comme un assemblage d'atomes de sel ou de molécules de sel.

9.2.2 Recherches en contexte grec

En Grèce, Papafotis et Tsaparlis (2001) ont étudié les malconceptions d'étudiants arrivant à l'université (filiales de chimie, biotechnologies et sciences des matériaux), à propos de concepts issus de la mécanique quantique. Pour l'essentiel, les chercheurs visaient les connaissances acquises (et les difficultés rencontrées) pendant l'année précédente, au sein de la chimie scolaire (en terminale S). Parallèlement, les chercheurs ont administré le même outil de recueil de données chez des étudiants en 2^e année qui avaient étudié ces concepts. Papafotis et Tsaparlis concluent aux résultats suivants :

1. 72 % des étudiants en 1^{ère} année et 30 % des ceux en 2^e année continuent à utiliser le langage inhérent au modèle planétaire de Bohr (par exemple, « orbite » plutôt qu'« orbitale »). Lorsqu'ils tentent de dessiner l'atome, ils produisent souvent des modèles hybrides, qui sont le résultat de la combinaison des deux modèles (de Bohr et de mécanique ondulatoire), comme l'illustre la figure ci-dessous :



Source : Papafotis et Tsaparlis (2001)

Figure 9.4 : Les trois premiers dessins relèvent du modèle planétaire. Les autres sont en partie influencés par le modèle probabiliste : le 4^e représente une orbite barbouillée, épaisse ; dans le 5^e, le nuage gravite autour du noyau ; dans le 6^e, l'électron apparaît comme étant localisé dans le nuage (électrons implantés)

2. Les enquêtés ont eu bien appris à appliquer la règle mnémotechnique de Klechkowski, permettant d'établir la configuration électronique. Cependant, ils éprouaient des difficultés à la justifier à partir des principes théoriques (principe d'exclusion de Pauli, règle de Hund, principe d'énergie minimale) ;
3. Pour les étudiants, même en 2^e année de licence, l'orbitale coïncide avec l'espace qu'elle détermine autour du noyau, et dans lequel il y a possibilité de trouver l'électron. D'après les chercheurs, la raison de ce fait réside dans l'utilisation, par les enseignants, d'une analogie : les sous-couches sont assimilées aux appartements d'un immeuble, désignant des volumes spatiaux distincts dans l'atome et prêts à héberger des électrons. Par conséquent, il est impensable que l'électron se trouve à un moment donné en dehors, par exemple, de l'espace associé à l'orbitale 1s, à savoir, à une distance différente du premier rayon de Bohr. Pourtant, le modèle probabiliste ne l'interdit pas ;
4. Aussi bien chez les deux cohortes d'étudiants, le principe d'incertitude n'est pas bel et bien appréhendé. Ils l'interprètent en des termes plutôt classiques (*i.e.* non

quantiques), relevant par exemple de l'inexactitude des instruments d'observation et non pas d'une propriété intrinsèque du micromonde.

Une autre recherche menée auprès d'étudiant(e)s grecs en sciences de l'éducation (Kontogeorgiou, Kotsis et Mikropoulos, 2007) tente de détecter leurs représentations de l'atome quantique. Ensuite, est étudié l'impact du didacticiel³⁴ « L'atome quantique » (offrant une visualisation de concepts quantiques) sur l'apprentissage. Dans un premier temps, les étudiants ont suivi une conférence sur l'aspect moderne de l'atome. À son issue, les chercheurs ont recensé les conceptions suivantes :

1. Persistance d'un modèle d'atome planétaire avec quelques-unes des caractéristiques du modèle de Bohr ;
2. Les électrons se comportent comme de très petites boules relevant de la physique classique et circulent sur des trajectoires précises ;
3. Le nuage de probabilité électronique est conçu tantôt d'une manière se rapprochant du modèle de Thomson, c'est-à-dire que les électrons y sont implantés (Harrison et Treagust, 1996), tantôt selon la conception de l'« orbite barbouillée » (« *smearred orbit conception* », Niedderer et Petri, 1998), tantôt par un mixte des deux modèles ;
4. L'état excité de l'atome d'hydrogène est pensé suivant le modèle de Bohr (saut de l'électron vers une orbite extérieure).

En second lieu, pour chacun des enquêtés est organisé un cours particulier (à la base du didacticiel considéré), adapté à son propre profil de représentation de l'atome. Or, les chercheurs concluent que le tiers d'entre eux conservent leurs conceptions initiales, tandis que les autres s'affermissent plus ou moins dans la vision quantique moderne de l'atome.

Dans un tout récent mémoire de recherche, Schizodimou (2013) se centre sur les idées alternatives d'élèves des classes de seconde, en Grèce, à propos du concept de molécule. Un des résultats obtenus montre que les élèves croient qu'entre les deux noyaux d'une molécule diatomique, par exemple, le dioxygène O₂, il y a du vide (10 %) ou de l'air (12 %). Pour la plupart (40 %), ce sont les électrons de valence des deux atomes, tandis que 35 % répondent correctement par stipuler « tous les électrons ». D'après la chercheuse, l'analogie utilisée par le manuel scolaire, selon laquelle la liaison chimique « est une sorte de colle qui réunit les atomes entre eux », a une influence négative dans la construction du

³⁴ Par contraction de « didactique » (au sens d'enseignement) et « logiciel », un didacticiel désigne ici un programme informatique interactif relevant de l'enseignement assisté par ordinateur.

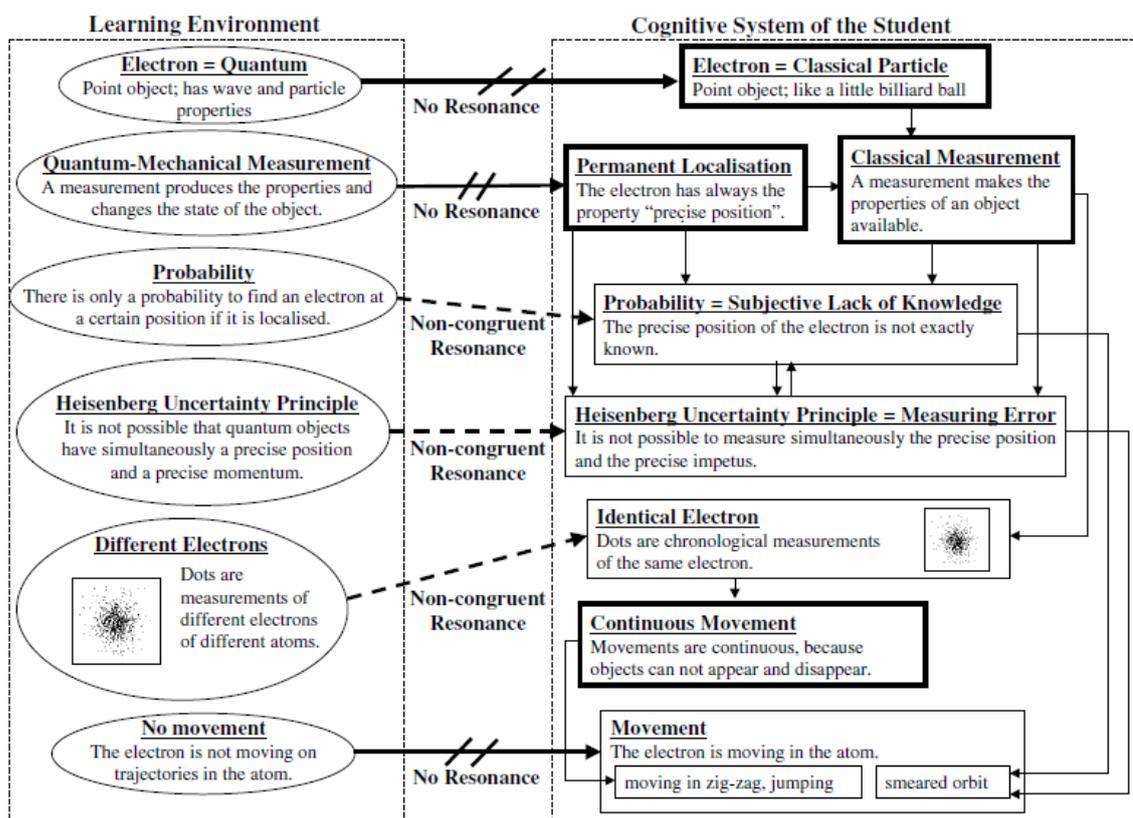
concept de liaison chimique. En général, relate-t-elle, la conception d'existence d'une substance entre les particules est assez répandue chez les élèves. Se référant toujours au dioxygène, elle interroge les sujets sur la manière dont les atomes d'oxygène interagissent entre eux, pour leur proposer quatre réponses possibles. Un sur trois va cocher la bonne case (forces électrostatiques de Coulomb). Un peu plus de 36 % imaginent un impact des électrons de valences, alors que 20 % penchent pour l'explication de la fameuse colle. Schizodimou commente que l'usage, par l'enseignant ou le manuel, de mots relevant du sens commun pour investir le raisonnement rationnel peut entraîner des misconceptions. Enfin, la mise en commun des résultats témoigne de l'existence d'un nombre d'élèves qui considèrent comme seulement significatifs les électrons de la couche externe de l'atome et qui négligent donc les électrons internes. Enfin, un composé ionique, tel que le NaCl, est censé être constitué de molécules de chlorure de sodium par 30 % des participants. De ce fait, l'enseignement de la liaison ionique semble échouer, au moins pour environ le tiers des élèves.

À propos de la question de la particularité curriculaire grecque, à savoir l'enseignement séparé et autonome des disciplines de physique et de chimie, Georgoussi et Tsaparlis (2007) ont réalisé une recherche auprès de « bons » élèves de classes de première S, très performants en la matière. Les chercheurs visaient à dévoiler les idées des élèves sur les liens et les correspondances entre quelques concepts, pensés à l'intérieur de chaque discipline. Comment appréhendent-ils le rôle et la fonctionnalité des thèmes, par exemple, relatifs à la structure atomique ou aux états de la matière, au sein des deux disciplines ? Par rapport à l'atome, les élèves paraissent être partagés entre deux tendances : d'une part, ce concept sert à la Chimie dans l'étude des propriétés d'une substance et des liaisons établies entre les atomes dans sa molécule ; d'autre part, la physique étudie la structure de l'atome, le mouvement circulaire de l'électron, ainsi que les effets électriques et magnétiques qui en résultent. La moitié des sujets reconnaissent que la force attractive noyau - électron (qualifiée « force de Coulomb » par 50 % d'entre eux) est connue depuis la physique. Ainsi, davantage d'élèves citent le terme « physique nucléaire » plutôt que « chimie nucléaire ». En tout cas, la relation entre ces deux secteurs réside dans « l'étude de thèmes communs à partir du même point de départ (les mêmes éléments chimiques et les mêmes réactions) », précisent-ils. Dans leur totalité, les élèves affirment qu'il y a une relation entre les deux disciplines, en ce sens qu'elles s'appuient sur des notions et méthodes de recherche communes. Cependant, la perspective d'une fusion pour constituer la discipline unifiée « physique-chimie » est favorisée par seulement le quart d'entre eux. La plupart

trouve cela impossible en raison de « thématiques majoritairement différentes » et à cause d'une « portée asymétrique entre elles », la physique étant silencieusement sous-entendue comme la discipline mère.

9.2.3 Recherches en contexte international

Dans le paysage international (hors France et Grèce), nous avons de manière indicative compilé quelques travaux. Ainsi, dans une recherche anglo-allemande, conduite par M. Budde, H. Niedderer, P. Scott et J. Leach (2002), sont étudiées les difficultés d'apprentissage du modèle probabiliste de l'atome auprès d'élèves du niveau A / AS (QCA A / AS *level* ou grades 12 (*i.e.* terminale) et 13 (*i.e.* classe préparatoire, cf. sitographie, lien 11) au Royaume-Uni, en corrélation avec leurs préconceptions. Le schéma ci-après, extrait du texte original, contient deux colonnes qui correspondent, la première, à l'environnement d'enseignement ou savoirs enseignés (à gauche) et, la seconde, aux préconceptions des apprenants (à droite).



Source : Budde, Niedderer, Scott et Leach (2002)

Schéma 9.1 : Degré de compatibilité entre le savoir enseigné et les conceptions d'élèves, en termes de résonance

Plus particulièrement, bien que le modèle probabiliste considère l'électron comme « quantum », c'est-à-dire, ayant des propriétés tant de particule que d'onde, les apprenants en construisent une image classique, celle d'une tout petite boule de billard. Cette conception influence le sens créé autour du mouvement de l'électron dans l'atome : soit qu'ils maintiennent à l'esprit le modèle de l'orbite planétaire, soit celui de l'orbitale issu de la mécanique quantique, ils ont tendance à croire à un déplacement de l'électron (vu comme point matériel) qui relève de la physique newtonienne. De plus, leur échappe le caractère quantique de l'acte de mesure : pour les étudiants, la position de l'électron est précise avec certitude, car celui-ci reste toujours localisé. En outre, la propriété intrinsèque du monde quantique – selon laquelle seule la probabilité de localiser l'électron ici ou là dans l'atome peut être calculée – est appréhendée en termes d'erreur de l'instrument ou de manque d'exactitude dans la mesure, et donc dans la position de l'électron. C'est parce que l'élève ne partage pas la nature de la mesure quantique, qu'il interprète le principe d'incertitude d'Heisenberg comme témoignant de l'impossibilité de mesurer

simultanément la position et l'impulsion (les deux censées être précises) de l'électron. L'avant dernier point éclaire le fait expérimental que l'état quantique de l'électron change en vertu de l'acte de mesure. Le résultat obtenu sur des mesures des électrons d'atomes différents (cf. figure en carré dans le schéma 9.1) peut être saisi comme représentant une succession chronologique de mesures de la position d'un même électron. Enfin, les conceptions précédemment citées amènent les élèves à imaginer alternativement pour l'électron soit un mouvement de forme « zigzag », soit des sauts à la manière de la grenouille, soit encore une orbite barbouillée, éteinte, dans laquelle la trajectoire est indéterminée («*smearred orbit conception*», Bethge, 1992, Petri et Niedderer, 1998, cités par Budde *et al.*, 2002).

Aux États-Unis, T. Shiland (1997) a mené une recherche transpositive dans l'objectif de répondre à la question suivante : combien les manuels scolaires de chimie, au secondaire, fournissent-ils des éléments suffisants pour que le modèle de la mécanique quantique soit accepté (au détriment de celui de Bohr), sous l'optique d'un modèle de changement conceptuel ? Comme tel, Shiland prend en considération et applique le modèle d'accommodation («*model of accommodation*»), élaboré par Posner, Strike, Hewson, et Gertzog (1982) et inspiré des travaux de Piaget. Ces auteurs établissent une liste de quatre exigences pour qu'une conception soit rationnellement remplacée par une autre. En effet, il s'agit de :

1. insatisfaction : mise en évidence des anomalies ; les apprenants doivent être exposés à des phénomènes auxquelles leurs conceptions actuelles échouent d'expliquer ;
2. intelligibilité : les apprenants doivent être capables de se représenter la nouvelle théorie, à partir d'un vocabulaire juste, de symboles, d'analogies, etc. ;
3. plausibilité : la nouvelle représentation doit sembler résoudre les problèmes que les conceptions préalables ne pouvaient pas ;
4. productivité-fécondité : la nouvelle conception doit trouver des applications supplémentaires et / ou prédire des phénomènes nouveaux.

Or, l'analyse effectuée à partir de huit manuels montre que les quatre conditions sont soit partiellement accomplies, soit ne sont guère respectées. Par exemple, quatre manuels relatent que le modèle de Bohr échoue à expliquer les spectres des éléments, sauf l'hydrogène. Ainsi, aucun manuel ne fournit d'images de spectres. Étant donné que ce modèle est relativement facile à être conceptualisé par les élèves, un processus

d'insatisfaction atrophique contribuerait à sa persistance, contre le modèle quantique probabiliste. En outre, l'intelligibilité de la mécanique quantique, estimée sur le nombre de pages consacrées à sa description, se trouve également faible. Il en est de même pour le processus de plausibilité, puisqu'aucun manuel ne rend clair le fait, par exemple, que la mécanique quantique interprète avec succès les spectres d'atomes polyélectroniques, à l'encontre des modèles antérieurs. Enfin, le chercheur rend compte du fait que, dans les manuels examinés, il n'a pas trouvé de références sur des prédictions de phénomènes nouveaux, explicables par la nouvelle théorie.

Dans un rapport intitulé «Helping Students Learn Physics Better. Preconceptions and Misconceptions», Olenick (2008) numérote quelques misconceptions à propos, entre autres thématiques, du modèle de l'atome. Ces conceptions ont été repérées par des enseignants du secondaire chez les élèves, ou par des universitaires chez leurs étudiants, aux États-Unis. Pour ce qui est de l'atome, les apprenants ont construit les idées fausses suivantes :

- Il n'y a qu'un seul « bon » modèle d'atome ;
- Les électrons tournent sur des orbites autour du noyau, comme les planètes autour du Soleil ;
- Le nuage électronique est, en réalité, l'image des orbites ;
- Les électrons peuvent se déplacer sur n'importe laquelle des orbites qu'« ils veulent » ;
- L'atome d'hydrogène est typique, représentatif ;
- La fonction d'onde décrit la trajectoire d'un électron ;
- La taille des électrons est supérieure à celle des protons ;
- Les protons et les électrons sont les seules particules élémentaires ;
- Les physiciens possèdent à l'heure actuelle le modèle « juste » de l'atome ;
- Les atomes peuvent disparaître.

Pour clore cette revue de littérature non exhaustive sur la question, nous compilons quelques résultats récurrents, vérifiés par des chercheurs indépendants :

1. L'atome est souvent confondu avec d'autres structures de la matière connotées par les idées de petitesse et de structuration, comme la molécule, la cellule, l'hormone, etc. (Harrison et Treagust, 1996 ; Charlet-Brehelin, 1999 ; Giordan, 1999). Ce dernier auteur cite les expressions « cellules dans les atomes » et « molécules dans les atomes », souvent utilisées dans le raisonnement d'élèves ou d'adultes ;

2. Un certain nombre d'élèves ne disposent d'aucune image de l'atome ou, s'ils en ont, ce sera une représentation ambiguë et étrangère par rapport aux modèles d'atome connus (Nicoll, 2001). De plus l'auteur remarque que l'utilisation de termes anthropomorphiques, dans les discours d'élèves, est assez répandue. D'après une sorte de vision animiste – l'animisme est l'attitude consistant à attribuer aux choses une âme [donc des sentiments, tels que désir, envie, etc.] (Le nouveau Petit Robert, 2008, p. 98) –, les atomes « veulent avoir » huit électrons. Nicoll cite de manière caractéristique la phrase d'un élève : "And so you place electrons... in such a way that... they're all happy" (*ibid.*, p. 717) ;
3. Les traits principaux de l'atome, d'après les élèves sont au nombre de trois : rond, solide et dur. Dans leurs représentations graphiques, il a souvent la forme d'une boule ou sphère (Griffiths et Preston, 1992 ; Harrison et Treagust, 1996) ;
4. Charlet-Brehelin (1998) conclut à quatre modèles figuratifs qu'utilisent souvent les élèves : l'atome comme une sphère, comme un système solaire miniaturisé, un atome neutre (les charges positives neutralisant les charges négatives) et, enfin, l'atome avec son noyau entouré d'un nuage d'électrons ;
5. Même après enseignement, certaines confusions entre les concepts d'atome, de molécule, de noyau, de proton, etc. persistent (Osborne et Freyberg, 1985 ; Johnston, 1988). Tsai (1998) a montré que, d'après la conception répandue chez certains élèves, dans un atome le nombre de protons, neutrons et électrons est le même ;
6. Assez fréquemment, le nuage électronique est considéré comme une matrice, un support dans lequel sont noyés les électrons-particules, à la manière des gouttes d'eau dans un nuage, dans le ciel (Harrison et Treagust, 1996 ; 2000) ;
7. Les électrons dans l'atome partagent tous le même état quantique (Hoffmann, Dill, Garik et Golger, 2005) ;
8. L'électron ne peut se trouver hors l'orbitale 1s que s'il est en état excité (Papafotis et Tsapalis, 2009) ;
9. Les raies spectrales représentent des niveaux d'énergie de l'électron (Hoffmann *et al.*, 2005) ;
10. S'agissant du modèle corpusculaire de la matière, un nombre important d'élèves, peu avant le lycée, ne parviennent pas à appréhender la granularité de la matière. Pour eux, elle est continue, en ce sens qu'entre les particules il y a, non pas du vide,

mais « de l'air, de l'oxygène » ou « de la poussière, des microbes », etc. (Novick et Nussbaum, 1981 ; Driver, 1989) ;

11. De Vos et Verdock (1996) ont montré, en étudiant la propension des élèves à attribuer des propriétés macroscopiques aux particules, que l'apprentissage du savoir scientifique nécessite un travail d'enseignement longitudinal qui se démarque du niveau macroscopique, des phénomènes plus familiers aux apprenants. Ce travail ne doit aucunement se hâter d'introduire le modèle particulaire qui relève du niveau submicroscopique de la matière ;
12. Pour ce qui est de l'utilisation d'un modèle particulaire dans l'enseignement, nous empruntons au site web Pegase, élaboré par le laboratoire de recherche ICAR (cf. p 168, note de bas de page 31). Différentes conceptions y sont recensées :
 - La matière est constituée de particules dans un milieu continu, à savoir, les particules ne sont pas la matière ; elles sont dans la matière ;
 - Les particules sont la matière mais elles possèdent des propriétés macroscopiques (idée rencontrée notamment en début de lycée) ;
 - Les particules sont la matière dont les propriétés macroscopiques résultent des propriétés de l'ensemble des particules : par exemple, si un gaz est comprimé, ses particules le sont également ; s'il est coloré, alors il est composé de particules colorées.

À titre de synthèse, ces recherches montrent que les élèves confrontés au modèle particulaire de la matière et aux concepts submicroscopiques³⁵ forment des conceptions erronées – et cela, d'une manière diachronique – qui persistent même après apprentissage. Plus particulièrement, le modèle atomique d'élève ressemble à un modèle planétaire de Bohr simpliste, et lorsqu'il s'agit de penser à des concepts relevant du nouveau modèle ondulatoire, les élèves (notamment, des lycéens grecs) semblent se limiter à un langage et une interprétation classiques.

9.3 Échantillonnage - Variables - Protocole d'enquête

Cette section a pour objectif de décrire les caractéristiques pédagogiques et sociodémographiques de la population ciblée, ainsi que les variables indépendantes

³⁵ Le terme désigne l'échelle atomique et moléculaire, tandis que « microscopique » a trait à l'échelle du micromètre (10^{-6} m), les objets de cet ordre (cellules...) étant visibles au microscope de biologie.

considérées. Nous abordons également les procédés de déroulement des deux phases d'enquête, en France et en Grèce.

9.3.1 Échantillonnage

La recherche a été réalisée auprès de deux groupes de populations : l'une générale, représentative de la population d'élèves dans les régions ciblées, les Bouches du Rhône en France et l'Étolie-Acarmanie en Grèce ; l'autre spécifique, centrée sur la cohorte d'élèves inscrits en terminale scientifique uniquement. Le choix de ces régions peut être justifié par l'accessibilité facile et rapide du chercheur aux établissements, grâce à un certain réseau de connaissances. Le tableau 9.2 qui suit synthétise les traits des différents échantillons observés, ainsi que les techniques de recueil des données mises en œuvre dans les quatre temps d'exploration. Les caractéristiques sociodémographiques de ce corpus et les conditions de recherche sont exposées plus loin.

Tableau 9.2 : Composition et origine des échantillons (général et spécifique) ; outils de recherche

Phases d'investigation	Effectif	Sexe Garçons / Filles	Établissements FR : Bouches du Rhône ; GR : Étolie-Acarmanie	Classe / Série de « bac »	Outils utilisés
Pré-enquête en France	51	G : 23 F : 28	<u>Collèges :</u> Marseilleveyre, Marseille ; Les hauts de l'Arc, Trets ; Henri FABRE, Vitrolles <u>Lycées :</u> Lyc. Général Vauvenargues, Aix-en-Provence ; Lyc. Gén. Périer, Marseille	4 ^e : 31 2 ^{de} : 8 TS : 5 TES : 4 TL : 3	– dessins ; – questionnaires papier-crayon ; – entretiens (auprès de 48 él. dont : 32 en 4 ^e ; 8 en 2 ^{de} ; 5 en TS ; 3 en TL)
Pré-enquête en Grèce	154	G : 73 F : 81	<u>Collèges :</u> 2 ^e Col. de Messolonghi ; Col. d'Evinochorion <u>Lycées :</u> 1 ^{er} et 2 ^e Lycées de Messolonghi ; Lycée de Neochorion ; 2 ^e Lycée de Nafpactos	4 ^e : 44 2 ^{de} : 66 TS : 20 TT : 13 TL : 11	– dessins ; – questionnaires papier-crayon

Enquête principale en France	échantillon général (quotas) 303	G : 140 F : 163	<u>Collèges :</u> Marseilleveyre et Malraux, Marseille <u>Lycées :</u> Diderot, Périet et Thiers, Marseille ; Cézanne, Aix-en-Provence	4 ^e : 102 2 ^{de} : 102 TS : 52 TES : 29 TL : 18	questionnaires papier-crayon
	échantillon spécifique (éls TS) 52	G : 29 F : 23	Lycées Diderot et Thiers, Marseille	TS	questionnaires papier-crayon
Enquête principale en Grèce	échantillon général (quotas) 313	G : 141 F : 172	<u>Collèges :</u> 1 ^{er} et 2 ^e Col. de Nafpactos ; 4 ^e Col d'Agrinio <u>Lycées :</u> Lycée d'Evinochorion ; 1 ^{er} , 2 ^e et 3 ^e Lycées d'Agrinio ; 2 ^e Lycée de Messolonghi	4 ^e : 104 2 ^{de} : 104 TS : 14* TT : 42 TL : 49	questionnaires papier-crayon
	échantillon spécifique (éls TS) 48	G : 25 F : 23	1 ^{er} , 2 ^e et 3 ^e Lycées d'Agrinio	TS	questionnaires papier-crayon
Total	échantillons : – général : 616 – spécif. : 100 – total : 716	pré-enquête : G : 96 F : 109 enquête : G : 335 F : 381	pré-enquête : Collèges : 5 Lycées : 6 enquête : Collèges : 5 Lycées : 9	4 ^e : 281 2 ^{de} : 280 TS : 125 TES : 33 TT : 55 TL : 81	– dessins – entretiens – questionnaires papier-crayon

* Ces quatorze élèves font partie de l'échantillon spécifique des 48 lycéens des TS. Ils ont été volontairement retenus d'après un critère de représentativité pondérée des établissements dont ils sont issus.

Abréviations utilisées : 4^e pour classe de quatrième (collège) ; 2^{de} pour classe de la seconde (lycée) ; TS, TES, TL pour classes de terminale scientifique, économique-sciences sociales, littéraire, respectivement qui préparent aux baccalauréats éponymes ; TT pour classe de la terminale technologique, au lycée général grec où il n'y a pas de série TES (l'économie étant jusqu'en 2014 une discipline optionnelle pour les examens du baccalauréat).

La répartition sociodémographique des 616 élèves (de l'échantillon général) participant à l'enquête principale est indiquée dans les tableaux suivants, selon les critères classiques, à savoir le sexe, la nationalité, le milieu socioculturel et la série de baccalauréat :

Tableau 9.3 : Effectifs de filles et de garçons (échantillon général)

sexe	effectifs	pourcentage
Garçon	281	45,62 %
Fille	335	54,38 %
Total	616	100,00 %

Tableau 9.4 : Effectifs par pays d'origine (échantillon général)

pays	effectifs	pourcentage
Grèce	313	50,81 %
France	303	49,19 %
Total	616	100,00 %

Tableau 9.5 : Effectifs par niveau de classe et par série (échantillon général)

niveau de classe	effectifs	pourcentage
Collège : 4 ^e	206	33,44 %
Lycée : 2 ^{de}	206	33,44 %
Lycée : terminales	204 dont : - 67 en TL ; - 66 en TS ; - 71 en TES / TT	33,12 % soit : - 10,9 % ; - 10,7 % ; - 11,5 %
Total	616	100,00 %

En ce qui concerne le milieu socioprofessionnel des parents d'élèves, nous avons adopté la nomenclature des catégories socioprofessionnelles de l'INSEE (Institut national de la statistique et des études économiques), largement utilisée en sociologie explicative, selon de Singly (2008, p. 48). Le code des professions et catégories socioprofessionnelles contient six groupes que nous avons, ici, réduits à cinq (qui se décomposent plus finement en catégories socioprofessionnelles), soit les suivants :

1. Agriculteur exploitant, Pécheur, Ouvrier (maçonnerie, agriculture, artisanat industrie, transports, municipalité, manutention) ;
2. Artisan, commerçant, chef d'entreprise ;
3. Cadre, profession intellectuelle supérieure (professions scientifiques libérales, cadre de la fonction publique, enseignant, ingénieur, professions information, arts et spectacles, cadre administratif et commercial d'entreprise) ;

4. Profession intermédiaire (santé, travail social, religieux, administration publique ou privée, technicien, contremaître), Employé (civil, policier, pompier, militaire, employé de commerce ou administratif d'entreprise, personnel de services aux particuliers) ;
5. Inactif (retraité, chômeur, mère au foyer, sans activité).

À l'exception de quelques élèves qui n'ont pas renseigné cette rubrique du questionnaire, la cartographie socioprofessionnelle familiale est la suivante :

Tableau 9.6 : Effectifs par catégorie socioprofessionnelle des parents d'élèves (échantillon général)

catégorie socioprofessionnelle	père	pourcentage père	mère	pourcentage mère
1	91	14,8 %	16	2,6 %
2	125	20,3 %	50	8,1 %
3	159	25,8 %	125	20,3 %
4	182	29,5 %	214	34,7 %
5	29	4,7 %	197	3,1 %
sans réponse	30	4,9 %	14	2,3 %
Total	616	100,0 %	616	100,0 %

Parmi les richesses sociales, le capital scolaire des parents d'élèves est estimé sur la base du diplôme déclaré. Inspirés des nomenclatures de l'INSEE, fournies par de Singly (*ibid.*, p. 54), nous considérons les trois niveaux de diplôme, tels que dans le tableau suivant :

Tableau 9.7 : Effectifs par niveau de diplôme des parents d'élèves (échantillon général)

code	niveau de diplôme	père	pourcentage père	mère	pourcentage mère
1	Inférieur au Baccalauréat : – aucun diplôme ; – CEP ; – CAP ; – BEP, BEPC	143	23,2 %	146	23,7 %
2	Baccalauréat	144	23,4 %	174	28,2 %
3	Baccalauréat + n années universitaires, n = 1, 2...	283	45,9 %	268	43,5 %
	sans réponse	46	7,5 %	28	4,5 %
	Total	616	100,0 %	616	100,0 %

De façon analogue, l'identité sociodémographique de l'échantillon spécifique (élèves en TS) est esquissée par les trois tableaux ci-après :

Tableau 9.8 : Effectifs de filles et de garçons (échantillon spécifique)

sexe	effectifs	pourcentage
Garçon	54	54 %
Fille	46	46 %
Total	100	100,00 %

Tableau 9.9 : Effectifs par catégorie socioprofessionnelle des parents d’élèves (échantillon spécifique)

catégorie socioprofessionnelle	père	pourcentage père	mère	pourcentage mère
1	10	10 %	3	3 %
2	20	20 %	6	6 %
3	32	32 %	18	18 %
4	26	26 %	35	35 %
5	5	5 %	37	37 %
sans réponse	7	7 %	1	1 %
Total	100	100,0 %	100	100,0 %

Tableau 9.10 : Effectifs par niveau de diplôme des parents d’élèves (échantillon spécifique)

code	niveau de diplôme	père	pourcentage père	mère	pourcentage mère
1	Inférieur au Baccalauréat : – aucun diplôme ; – CEP ; – CAP ; – BEP, BEPC	21	21 %	24	24 %
2	Baccalauréat	18	18 %	24	24 %
3	Baccalauréat + n années universitaires, n=1, 2...	54	54 %	49	49 %
	sans réponse	7	7 %	3	3 %
	Total	100	100,0 %	100	100,0 %

Pour récapituler, la structuration de notre échantillonnage paraît, à grands traits, au tableau suivant :

Tableau 9.11 : Répartition en niveaux de classe des deux groupes d'élèves enquêtés

Population enquêtée		
Effectif N = 716	français	grecs
élèves de 4 ^e	102	104
élèves de 2 ^{de}	102	104
élèves de TS, TL, TES / TT	151	153

9.3.2 Variables de recherche

Il ressort des tableaux précédents que les variables indépendantes considérées dans cette recherche de terrain sont les suivantes :

1. Pays d'origine (Grèce / France) : cette variable renvoie à la transposition didactique, spécifique de chacun des deux systèmes éducatifs, ainsi qu'aux contextes socioculturels ;
2. Niveau de scolarité (quatrième - seconde - terminale) : ce choix a été dicté par la place du thème de l'atome dans les programmes, c'est-à-dire, ceux de 4^e visent à initier au modèle corpusculaire de la matière ; ceux de 2^{de} prescrivent l'enseignement analytique de l'atome ; enfin, ceux de terminale discutent les applications nucléaires ; principes de la mécanique quantique ;
3. Série de baccalauréat : en TS, au lycée général français, sont abordés les principes de la mécanique quantique. Il en est de même dans les programmes grecs qui, de plus, prévoient des cours de physique atomique et nucléaire pour toutes les séries ; en TS est parallèlement enseigné le modèle probabiliste de l'atome ;
4. Niveau d'études des parents (cf. tableaux 9.7 et 9.10) : à partir du codage des trois échelons, nous attribuons par addition un score à chaque élève, afin de fusionner les deux variables - niveau d'études de la mère / niveau d'études du père - en une seule. Nous considérons à nouveau trois niveaux d'études, le faible (score 1 ou 2), le moyen (score 3 ou 4) et l'élevé (score 5 ou 6). Certes, un élève de famille monoparentale ne peut être jamais classé dans la modalité « niveau élevé », alors il faut mettre à part un tel cas. Enfin, notons que cette quatrième variable (couplée avec la catégorie socioprofessionnelle) n'offre qu'une indication indirecte des richesses sociales type de la famille au sein de laquelle vit l'individu.

Quant à la recherche documentaire également menée, les variables indépendantes sont l'origine et l'ancienneté du manuel considéré, ainsi que la discipline et le niveau de classe / série concernés (cf. §11.2). Enfin, il est à noter que les variables dépendantes sont exactement les paramètres à étudier (idées, conceptions, perceptions, etc.), qui se trouvent exprimées dans les énoncés des questionnaires, notamment, de l'enquête principale (cf. annexe 3). Pour l'analyse des manuels, les indicateurs conçus (cf. §11.1.1 et §11.1.2) et les facteurs propres à l'analyse factorielle (cf. §15.1) concrétisent dans ce cas-là les variables dépendantes.

9.3.3 Protocole d'enquête

S'agissant du déroulement des séances de recueil des données auprès des élèves, on peut distinguer les quatre stades suivants :

A) Pré-enquête en France

Durant les années scolaires 2009-10 et 2010-11, nous avons réalisé 48 entretiens individuels, semi-directifs combinés avec un questionnaire. D'après le protocole conçu, nous demandions à l'élève, en tant qu'entrée dans l'entretien, de citer quelques mots que lui évoque l'induit « atome », puis de dessiner un atome, facultativement légendé, sur la première page vierge de ce questionnaire. À partir de ce dessin qui nous a servi comme support de dialogue, nous lançons le débat suivant le guide de l'entretien (cf. §10.3). À son issue, l'élève était invité à répondre aux questions fermées à choix multiple du questionnaire couplant ce dispositif mis en œuvre, et que nous présentons en annexe. Il faut ajouter que la ou les personnes chargées de nous accueillir dans les établissements sollicités (soit qu'il s'agisse du personnel administratif ou enseignant(e)s en sciences) avaient la gentillesse d'élaborer un planning et de réserver des salles disponibles pour la réalisation de cette phase de recherche. Plus précisément, nous avons interviewé :

- 10 élèves des classes de 4^e du Collège « Henri FABRE », le 19-05-2010 ;
- 7 élèves de 4^e du Collège « Les hauts de l'Arc », le 27-05-2010 ;
- 15 élèves de 4^e du Collège « Marseillevéyre », le 03-06-2010 ;
- 7 élèves du Lycée « Périer » dont 5 des classes de 2^{de} et 2 de la TS, le 11-01-2011 ;

- 9 élèves du Lycée « Vauvenargues » dont 3 en 2^{de}, 3 en TS et 3 en TL, le 07-02-2011.

Bref, nous avons au total rencontré 51 élèves tour à tour et réalisé 48 entretiens (d'une durée moyenne de 9' : 45''), 3 élèves n'étant pas disponibles pour un entretien avec eux.

B) Pré-enquête en Grèce

L'accès d'un chercheur à un établissement scolaire pour réaliser une enquête est plus institutionnalisé en Grèce qu'en France, dans le sens où l'Institut Pédagogique (associé au Ministère de l'éducation nationale) se prononce favorablement ou pas, après évaluation d'un dossier soumis par le chercheur, exposant son projet et sa finalité de recherche, relatant sa filiation institutionnelle, etc. *A priori*, il est strictement interdit d'enregistrer les élèves de manière audiovisuelle, au motif que cela pourrait contrevenir à la Convention pour la protection des données personnelles. En cas d'une réponse favorable, l'Institut Pédagogique invite la direction et l'équipe pédagogique des établissements pour lesquels le chercheur envisage la réalisation de sa recherche. Dans ce cadre, nous nous sommes rendus aux collèges et lycées indiqués dans le tableau 9.2 ci-dessus, pendant le second semestre de l'année scolaire 2010-11. Comme la technique de l'interview enregistrée n'a pas été autorisée (cf. annexe 6), nous nous sommes contentés des outils du dessin et du questionnaire à choix multiples, mais nous avons réservé un échantillon d'élèves plus vaste par rapport à celui de la pré-enquête en France. La passation a eu lieu dans les salles d'enseignement ordinaires, en plénière et en présence du / de la professeur(e), non pas nécessairement de sciences, qui nous a de fait consacré une séance d'enseignement d'une durée de 45 minutes. Il est important de souligner qu'en grec le mot « atome » a une seconde acception, désignant également l'individu en tant que fondement structural de la société ou même de telle population d'une espèce animale ou végétale dans un écosystème. C'est pourquoi le dispositif construit débute par la question d'évocation (« qu'évoque pour toi l'atome ? ») suivie de la demande d'un dessin d'atome (cf. annexe 2). Nous avons intentionnellement attiré l'attention des élèves sur le rejet de cette connotation, tant de manière orale que verbale, en le signalant dans l'énoncé. En effet, nous avons fait passer le questionnaire auprès de 154 collégiens et lycéens fréquentant les établissements de la liste ci-après :

- 44 élèves des classes de 4^e du Collège d'Evinochorion (le 28-02-2011) et du 2^e Collège de Messolonghi (le 01-03-2011) ;
- 66 élèves des classes de 2^{de} du Lycée de Neochorion, le 02-03-2011 ;
- 20 élèves des classes de TS des Lycées de Neochorion (le 02-03-2011), des 1^{er} et 2^e Lycées de Messolonghi et du 2^e Lycée de Nafpactos, le 22-03-2011 ;
- 24 élèves des classes de TL (11 él.) et de TT (13 él.) du Lycée de Neochorio, le 02-03-2011.

Il est à noter qu'en Grèce, surtout en province, l'effectif moyen d'un collège ou d'un lycée est le tiers, voire le quart, de celui rencontré en France. Par exemple, dans les établissements des petites villes de Nafpactos et de Messolonghi (~ 20 000 habitants), cet effectif est aux environs de 150-200 élèves, tandis qu'à Agrinio (~ 70 000 habitants) on atteint 450 élèves fréquentant les trois classes, appelées « A' de Lykeion », « B' de Lykeion » et « Γ' de Lykeion » qui correspondent aux classes de « 2^{de} », de « 1^{ère} » et de terminale du lycée français. De plus, compte tenu des effectifs restreints de la TS (5-10 élèves dans les lycées des petites villes et 20-30 aux lycées d'Agrinio) et d'un absentéisme massif – un paradoxe grec – à partir de mi-mars, nous nous sommes adressés à quatre lycées pour pouvoir enquêter une vingtaine d'élèves.

Après avoir décrit la phase de la pré-enquête, passons maintenant à celle de l'enquête principale. L'exploitation des données recueillies lors de la pré-enquête nous a amené à construire un questionnaire type (cf. annexe 3) pour sonder la représentation sociale de l'atome. La passation s'est déroulée dans les salles ordinaires, en présence du / de la professeur qui s'est volontairement prêté(e) à cette mission par nous présenter aux élèves. Depuis, il n'y avait pas eu la moindre intervention. Les élèves étaient priés de ne pas échanger entre eux, la durée de la passation étant d'environ 40-45 minutes (pour le questionnaire destiné aux lycéens), au début des séances de cours. Enfin, aucune réponse n'était fournie en dehors des consignes concernant la procédure, comme la nécessité de répondre dans un premier temps à la question 1 uniquement (cf. annexe 3). En effet, cette question d'évocation spontanée (« qu'évoque pour toi un atome ? ») a été distribuée aux élèves séparément des autres. Une fois que tous y avaient répondu, nous continuions par les autres questions dont les énoncés constituent des propositions de réponses potentielles vis-à-vis de la question 1.

C) Enquête principale en France

L'échantillon français provient d'établissements en milieu urbain situés à Marseille et à Aix-en-Provence. Plus exactement, nous avons administré le questionnaire auprès de :

- 52 élèves des classes de 4^e du Collège « Marseilleveyre », le 08-02-2011 ;
- 50 élèves des classes de 4^e du Collège « Malraux », le 16-02-2011 et le 18-02-2011 ;
- 52 élèves des classes de 2^{de} des Lycées « Diderot » et « Périer », le 14-02-2011 et le 18-02-2011 ;
- 50 élèves des classes de 2^{de} du Lycée « Paul Cézanne », le 19-02-2011 et le 23-02-2011 ;
- 42 élèves des classes de TS du Lycée « Thiers », le 27-05-2011 et le 03-06-2011 ;
- 10 élèves des classes de TS du Lycée « Diderot », le 15-02-2011 ;
- 29 élèves des classes de TES du Lycée « Paul Cézanne », le 18-05-2011 ;
- 18 élèves d'une classe de TL du Lycée « Thiers », le 25-05-2011.

D) Enquête principale en Grèce

L'échantillon grec a été aggloméré à partir d'élèves fréquentant des établissements en milieu urbain, à la seule exception d'une classe de 2^{de} d'un lycée en milieu rural. En effet, nous avons sondé :

- 61 élèves des classes de 4^e du 1^{er} et du 2^e Collèges de Nafpactos, le 18-03-2011 ;
- 43 élèves des classes de 4^e du 4^e Collège d'Agrinio, le 21-03-2011 ;
- 61 élèves des classes de 2^{de} des 1^{er} et 2^e Lycées de Messolonghi, le 10-03-2011 ;
- 43 élèves des classes de 2^{de} du Lycée d'Evinochorion (11-03-2011) et du 1^{er} Lycée d'Agrinio, le 16-03-2011 ;
- 14 élèves des classes de TS des 1^{er}, 2^e et 3^e Lycées d'Agrinio (3 él., 6 él. et 5 él. respectivement), les 14, 15 et 16-03-2011 ;
- 42 élèves des classes de TT des 1^{er}, 2^e et 3^e Lycées d'Agrinio (17 él., 20 él. et 5 él. respectivement), les 14, 15 et 16-03-2011 ;
- 49 élèves des classes de TL des 1^{er}, 2^e et 3^e Lycées d'Agrinio (10 él., 22 él. et 17 él. respectivement), les 14, 15 et 16-03-2011.

Pour faire le bilan des ces investigations, si en France nous avons rencontré quelques difficultés imputables à l'indifférence de la part de certains établissements (direction et enseignants) à se prêter à ce projet de recherche, en Grèce – où l'accès au terrain ne dépend essentiellement pas de la bienveillance du personnel éducatif et administratif – nous nous sommes heurté à la rigidité bureaucratique, notamment par rapport à ce qui concerne la prohibition de l'utilisation d'un dictaphone.

En ce qui concerne la représentativité de l'échantillon élaboré, nous avons utilisé la méthode des quotas selon laquelle les caractéristiques socio-éducatives de la population de référence, importantes pour notre problématique, sont affectées à l'échantillon de manière à ce qu'il acquière une structure similaire à celle de la population de base. Plus précisément, les principaux critères socio-éducatifs retenus dans notre approche sont les suivants : le sexe de l'individu ; le milieu socioculturel familial ; la performance scolaire ; et les taux d'inscription aux différentes séries de baccalauréat. Les deuxième et troisième critères sont plus ou moins satisfaits, dans la mesure où nous avons interrogé plusieurs classes entières sans opter pour une dimension particulière, par exemple, les « bons » élèves ou telle position sociale. Néanmoins, si la dispersion des établissements impliqués, liée au paramètre socioculturel, correspond mieux au profil scolaire global dans le département grec d'Étolie-Acarmanie – comprenant une grande ville, Agrinio, quatre petites villes et d'autres agglomérations mi-urbaines et rurales – il en est tout autrement quant à la région des Bouches du Rhône, parce que nous nous sommes, par la force des choses, centrés sur deux villes seulement, *i.e.* Marseille et Aix-en-Provence. Quant au critère des effectifs dans les séries de baccalauréat, les statistiques consultées, relatives à l'année scolaire 2010-11, montrent tour à tour :

1. Les lycées généraux de l'Étolie-Acarmanie comptent au total 4 982 élèves dont 2 275 garçons, soit 45,7 % et 2 707 filles soit 54,3 % (cf. annexe 7). Les taux analogues dans notre échantillon sont de 42,6 % et de 57,4 %. En outre, parmi les terminales, 13,5 % suivent la TS, 46,2 % suivent la TL et 40,3 % sont inscrits en TT. Notre corpus est composé de 13,3 % d'élèves inscrits en TS, de 46,7 % par des élèves en TL et de 40 % par des élèves en TT. Donc, les quelques écarts observés étant négligeables, on peut prétendre que notre échantillon constitue un modèle réduit de la population visée ;
2. Dans les Bouches du Rhône, le second degré général et technologique compte à la rentrée 2010, selon les « Repères et références statistiques – édition 2011 » du

Ministère de l'éducation nationale (cf. sitographie, lien 22), 167 231 élèves fréquentant des établissements du public et du privé (France métropolitaine + DOM). Ce rapport – qui n'est cependant pas distingué par département – relate que les filles couvrent 54,3 % de l'ensemble du second cycle général et technologique, et donc le poids des garçons est de 45,7 %. S'agissant de notre échantillon, ces derniers constituent 46,2 % des sujets enquêtés, les filles s'élevant à 53,8 %. Enfin, les lycéens français se répartissent dans les différentes séries comme suit : en TS, 50,5 % (dans notre échantillon le taux analogue est de 52,5 %) ; en TL, 16,5 % (dans ce travail, 18,2 %) ; enfin, en TES, 33 % (ici, 29,3 %). Ainsi, si l'on considère, par une hypothèse de structure homothétique, que les statistiques portant sur les effectifs recensés dans les Bouches du Rhône sont harmonisées avec ceux du niveau national, alors la radiographie de notre échantillon semble satisfaire à la méthode des quotas.

L'avantage de la méthode des quotas réside, explique François de Singly (2008, p. 43), dans sa fiabilité « puisque les résultats obtenus semblent assez justes, à la condition de respecter certaines règles de prudence pour lire les résultats. » De plus, continue de Singly, cette méthode permet d'émettre des énoncés généraux régissant l'ensemble de la population étudiée. Après avoir décrit la population visée, les variables considérées et le protocole de déroulement sur le terrain, passons maintenant à la formulation de nos hypothèses de recherche.

9.3.4 Hypothèses

La prise en compte, d'une part, des éléments précédemment exposés (cf. §9.2) et, d'autre part, des résultats issus de la pré-enquête et de l'analyse des manuels scolaires (cf. chapitres 12 et 15) permet de poser les hypothèses suivantes :

- 1) H1 : Un processus d'élaboration (notamment l'objectivation, cf. §6.3) de la RS de l'atome peut être déclenché très tôt chez les élèves, même avant enseignement en la matière, à savoir dès le début du collège ;
- 2) H2 : La représentation que se font les lycéens (plutôt ceux des 2des, indépendamment de leur origine) possède une structure type avec comme noyau

central les constituants de l'atome (noyau et électrons) structurés, le plus probablement, selon le modèle planétaire ;

- 3) H3 : Au fur et à mesure de l'enseignement, la représentation des lycéens évolue, par une modification à long terme du système périphérique, vers le modèle d'atome enseigné ;
- 4) H4 : Les lycéens en terminales hors TS (surtout les français et secondairement les grecs) en viennent à se représenter l'atome de manière similaire à celle des petits collégiens : une boule cohérente (modèle daltonien). De plus, les éléments périphériques associés sont ancrés à l'aspect du « nucléaire » ;
- 5) H5 : Les élèves en TS grecques continuent, après apprentissage, à penser le modèle probabiliste en des termes classiques (*i.e.* non quantiques), produisant au final un modèle d'atome entremêlé où, par exemple, le « nuage électronique » serait une sorte d'amas d'électrons ;
- 6) H6 : La frontière qui distingue, quant au micromonde, la matière inerte et les organisations vivantes reste floue chez les élèves.

Une fois nos hypothèses formulées, nous rédigeons deux chapitres qui présentent les démarches méthodologiques concernant le traitement statistique des données, tant au plan représentationnel que transpositif.

CHAPITRE 10 : MÉTHODES D'ANALYSE DES DONNÉES – PLAN DES REPRÉSENTATIONS

Suivant une approche pluri-méthodologique combinant des opérations qualitatives et quantitatives pour le recueil des données, nous explicitons, dans ce chapitre, les techniques méthodologiques de traitement du corpus des données mises en œuvre, soit qu'il s'agisse de dessins, ou d'interviews ou, enfin, de questionnaires crayon-papier (administrés durant les deux phases de recherche).

10.1 Triangulation méthodologique

Nous présentons les démarches méthodologiques que nous avons suivies, concernant l'analyse de la représentation étudiée. Les spécialistes des RS préconisent la mise en place d'une approche pluri-méthodologique dans la récolte et le traitement des données, visant à vérifier l'exactitude et la fiabilité des observations. Cette démarche dérive de l'idée de triangulation constituant « une stratégie alternative de recherche qui repose sur le principe d'articulation de différentes perspectives conceptuelles et méthodologiques adéquates pour étudier autant d'aspects différents que possible du phénomène visé. » (Apostolidis, 2007, p. 34). Selon Dany (2006, p. 140), « la triangulation constitue avant tout une méthode inductive (Apostolidis, 2003), dans le sens ou plutôt que de se lancer dans un processus de validation, elle permet de construire un savoir à partir du croisement des données. » Apostolidis (*ibid.*, p. 15) répertorie cinq orientations sur les plans conceptuel et méthodologique :

- triangulation des données, quand celles-ci proviennent de différentes sources ;
- triangulation du chercheur, quand plusieurs chercheurs s'occupent des données ;
- triangulation théorique, lorsqu'il y a recours à plusieurs théories pour interpréter les données ;
- triangulation méthodologique, quand plusieurs méthodes et techniques sont utilisées pour l'étude d'un phénomène représentationnel ;
- triangulation interdisciplinaire, quand plusieurs champs disciplinaires (sociologie, anthropologie...) sont articulés pour une interprétation raffinée de la complexité du phénomène soumis à l'étude.

Dans cette optique d'élaboration méthodologique, nous avons appliqué et articulé (durant les phases de la pré-enquête et de l'enquête principale) des triangulations de données avec des triangulations méthodologiques (lors de la phase du traitement des données) et interdisciplinaires (au cours de l'interprétation des résultats). Effectivement, la collecte des données issues de tour d'horizon (élèves français et grecs, de milieux socioculturels familiaux divers et de niveaux de scolarité et de séries de baccalauréat différents) et leur mise en perspective comparée assurent la triangulation des données. En outre, l'utilisation de multiples outils de recherche (dessins, entretiens, questionnaires) et de multiples techniques (question d'évocation, question de caractérisation, d'échelles d'Osgood, etc.) permettent une triangulation méthodologique. Enfin, nous tentons d'interpréter les données analysées au croisement interdisciplinaire sous le prisme de la psychologie sociale, de la didactique, de l'histoire des sciences physiques et naturelles et, aussi, de l'épistémologie.

10.2 Les dessins

Dans la première page du questionnaire de la pré-enquête nous incitons l'individu à dessiner un atome, ce qui constitue une tâche cognitive activant son imagination. Au préalable, il avait attaqué la question d'évocation pour nous donner des mots significatifs de l'objet de recherche. Il est donc légitime de s'interroger à ce sur quoi peut bien faire référence un élève – surtout de collègue où le concept d'atome n'est pas encore explicitement construit – qui répond à l'injonction d'un adulte qui lui demande une figure de l'atome, objet physique imperceptible et hors de portée quotidienne. La problématique théorique de l'imaginaire comme matériau d'étude des RS a été abordée dans les travaux de Moscovici (1961) qui postule l'existence de liens forts et complémentaires entre les images et les croyances collectives. D'après cet auteur, toute RS possède une structure dédoublée, c'est-à-dire qu'« elle a deux faces [...] dissociables [...] : la face figurative et la face symbolique. Nous écrivons que : Représentation = Figure / signification, entendant par là qu'elle fait correspondre à toute figure un sens et à tout sens une figure. » (Moscovici, 1961, p. 63). Selon Moliner (2008, p. 13) ce « terme de figure doit se comprendre au sens d'une image perceptible. » Au niveau cognitif, poursuit-il, « l'image devient 'mentale'. [...] la fonction d'imagerie mentale repose sur la capacité à manipuler des signes c'est-à-dire à associer une forme et un sens. » (*ibid.*, p. 15). D'après la

constatation de Piaget et Inhelder (1966), les manifestations de l'imagerie mentale présupposent l'apparition, chez l'enfant, de la fonction sémiotique. Moliner soutient que dans l'approche structurale des RS (Abric, Flament *et al.*) l'association figure / sens se réalise au sein du noyau central, au sens où les éléments centraux « génèrent une imagerie mentale plus consensuelle » parmi les individus, alors que les éléments périphériques entraînent une imagerie disparate d'un individu à l'autre.

Mais, pour revenir à la question pragmatique des références potentielles des élèves moyennant leurs dessins, nous effectuons une analyse thématique de contenu. Plus précisément, elle consiste à regrouper les œuvres des élèves en huit catégories thématiques en fonction de critères spécifiques tels que : les modèles épistémologiques de l'atome historiquement élaborés ; les différentes approches artistiques dans le style par exemple du modèle planétaire (couches tracées ou pas, échelle respectée ou pas, etc.) ; les mots clés ou formules chimiques récurrentes accompagnant le cas échéant les figures ; les images ou symboles étranges ou écartés, en dissonance avec les autres, témoignant d'une certaine perplexité de l'individu ; enfin, les figures de personnages relevant de la connotation sociologique grecque de l'« atome » (cf. point 7 de la liste suivante). En effet, les 224 expressions graphiques ont été produites par l'ensemble de 191 élèves participant à la phase de pré-enquête dont 51 français et 154 grecs (cf. tableau 9.2 : Composition et origine des échantillons). Cette asymétrie des effectifs est causée par notre intention de constituer un échantillon grec plus vaste, suite à la prohibition institutionnelle concernant la mise en œuvre de l'outil d'interview (cf. §9.3.3, B). De plus, étant donné que quelques élèves n'ont rien dessiné, tandis que d'autres ont esquissé deux ou trois croquis, ces 224 dessins proviennent pour 25,13 % par des français et pour 74,87 % par des grecs. Dans notre exploitation, nous considérons ces multiples expressions graphiques fournies par un même individu comme des éléments picturaux distincts (donc dénombrés séparément), mais complémentaires par rapport au contenu sémantique ainsi véhiculé. Nous proposons la répartition des dessins en catégories ou typologies d'atome suivantes :

1. « boule daltonienne », pour un simple cercle ou une marque ronde en 2D (2 dimensions) ou en 3D, sans structure interne expresse, évoquant le modèle atomique de Dalton ;
2. « molécule », abritant toute figure de « boules » compactes ou liées entre elles avec des arêtes, et toute autre commentée avec le label « molécule » ;
3. « planétaire », lorsque le signifié renvoie au modèle planétaire d'atome (en 2D ou 3D), en ce sens que le dessin est muni d'au moins une courbe périphérique

renfermant un « noyau » soit ponctuel, soit étalé (c'est le cas de quelques rares interprétations hybrides) ;

4. « volume aux charges parsemées », lorsque le signifié rappelle le modèle atomique de Thomson surnommé « pain aux raisins » ou « *plum-pudding* » ;
5. « probabiliste », regroupant des illustrations du concept de nuage électronique, relevant de la mécanique ondulatoire de l'atome ;
6. « vivant », incluant des productions iconographiques qui évoquent des structures organisées, biologiques (germe, cellule, spermatozoïde, etc.) ;
7. « social », catégorie particulièrement introduite par le corpus grec, notamment dans les dessins des collégiens qui se veulent rejoindre la représentation d'individus, de gens à celle de l'« atome », d'après la deuxième acception que ce mot a en grec ;
8. « irrégulier », pour toute bizarrerie iconique, toute chose étrange, très difficilement catégorisable ailleurs.

Les résultats issus de l'analyse picturale des dessins peuvent être consultés dans la Partie 4, §12.1.

10.3 Les entretiens

En sciences de l'éducation, l'entretien constitue un outil de recueil de données très amplement pratiqué, puisqu'il permet de « connaître les opinions d'un sujet [élève, enseignant, parent d'élève, etc.] sur telle ou telle question, de le faire parler sur un thème défini à l'avance avec, d'ailleurs, une certaine souplesse. » (Mialaret, 2004, p. 53). Par ailleurs, ce moyen performant de collecte de données qualitatives est également utilisé, en combinaison avec bien d'autres, lors de l'investigation psychosociale classique sur les représentations sociales. Par rapport à la technique des associations libres (cf. §10.5.1) qui constitue un autre outil mis en œuvre, l'entretien présente les avantages de l'explicitation des idées et de la récurrence de la part des interlocuteurs, comme le précise Lahlou (1995) :

lorsque l'on fait une interrogation par association libre, le contexte d'énonciation est suffisamment flou pour que le sujet énonce ce qui lui paraît pertinent "en général". On aurait alors d'autant plus de chance d'obtenir ce qui prend "le plus de place" dans sa représentation, un peu comme si le crâne du sujet était une urne où les probabilités de tirage des énoncés sont d'autant plus fortes que l'énoncé est "important". Ce que nous perdrons par rapport à sa représentation serait alors attribuable à des fluctuations statistiques ; une interrogation à un autre moment pourrait éliciter des réponses légèrement différentes, mais pas tellement. Par ailleurs, une interrogation poussée du sujet revient à

des tirages successifs dans son "urne crânienne", et ferait sans doute apparaître finalement tous les énoncés possibles. C'est ce qui se passe dans un entretien semi-directif. (*ibid.*, p. 257).

Comme nous l'avons plus haut signalé (cf. §9.3.3), dans notre travail, les entretiens n'ont été réalisés qu'auprès d'élèves français, collégiens et lycéens, dans les locaux de leurs établissements et à un moment adéquatement fixé par la direction et les personnes que nous avons sollicitées à cette fin. À noter que les interviewés ont participé sur la base du volontariat et avec l'accord des parents. Typiquement, il s'agissait du genre d'entretien individuel semi-directif, en ce sens que l'interviewer prépare au préalable une liste de questions guides à traiter et que la conversation n'est ni entièrement ouverte, ni entièrement fermée, mais permettant une certaine flexibilité. D'après Quivy et Van Campenhoudt (1988), dans ce type d'interview, l'enquêteur

s'efforcera simplement de recentrer l'entretien sur les objectifs chaque fois qu'il [l'interviewé] s'en écarte et de poser les questions auxquelles l'interviewé ne vient pas par lui-même, au moment le plus approprié et de manière aussi naturelle que possible. (*ibid.*, p. 185).

Pour ce qui nous concerne, les questions prévues étaient susceptibles de couvrir un enregistrement de bandes d'une durée moyenne de 10 minutes. Plus précisément, la durée moyenne des entretiens avec les collégiens était de 10 min. environ et celle auprès des lycéens de 9 min. environ. L'intégralité des bandes était de 7 heures et 48 minutes. Cependant, l'ordre des relances n'était rigoureusement pas respecté, quand le déroulement le nécessitait : comme, par exemple, dans le cas de sujets assez productifs, voire redondants. La liste des questions structurant l'entretien et visant à l'exploration du champ représentationnel de l'objet « atome » est présentée dans le tableau 10.1, ci-après. Nous rappelons qu'au total nous avons enquêté 48 élèves (22 garçons, 26 filles) fréquentant des établissements des Bouches du Rhône dont 32 en quatrième du collège, 8 en seconde, 5 en TS et 3 en TL. En réalité, cette composition, peu représentative des cohortes d'élèves que nous avons considérées dans cette recherche, résulte de contraintes, notamment liées à l'indifférence ou l'inertie des responsables sollicités envers l'acceptation et l'organisation de la campagne d'interview. Enfin, nous devons relever comme mise en scène perturbante pour un déroulement idéal, les effets suivants : d'une part, un effet d'ordre anthropologique qui réside dans la prononciation particulière de l'interviewer (*i.e.* nous), qui n'est pas français natif. Il est caractéristique qu'un collégien réponde comme si l'objet était « la tombe », au lieu de « l'atome » ; d'autre part, un effet didactique selon lequel l'interviewé, au lieu de répondre de façon spontanée, tente d'anticiper les « bonnes » réponses, les

réponses attendues par le professeur dans le cadre du fonctionnement du contrat didactique. Parfois, les élèves nous interrogeaient à l'issue : « c'est bon ? » Par extension, nous avons constaté sur place que dès qu'ils ont été interviewés, les premiers élèves viennent souffler aux suivants les questions posées. Le cas échéant, ils se voient aisés préparés par la consultation de diverses ressources. De façon anecdotique, un élève commence par raconter, dès l'ouverture de l'entrevue, que « ça vient de "atomos" en grec, j'ai fait du grec donc du coup... » Sauf que c'est par cette remarque que démarre la page Wikipédia relative à l'entrée « Atome ».

Tableau 10.1 : Guide de l'entretien

Composition du protocole	Exemples de relances verbales utilisées
Consignes de départ	1) « J'aimerais que l'on parle de l'atome. Qu'évoque pour toi l'atome ? » 2) « Peux-tu dessiner l'atome ? »
Les thèmes principaux du guide : 1/ Conception de l'atome. Modèle atomique 2/ Objet microscopique 3/ Rapport atome / molécule / cellule 4/ Propriétés macroscopiques 5/ Formation des atomes 6/ État cinétique 7/ Localisation 8/ Énergie / Nucléaire. Bombe atomique	1/ « Peux-tu décrire ton dessin ? Un atome est fait à partir de quoi ? » 2/ « Peut-on voir l'atome au microscope de biologie ? Avec un microscope très puissant ? » 3/ « Quel est le plus petit ? Le plus grand ? » 4/ « Un atome de carbone est-il noir ? Solides, liquides ou gazeux les atomes ? Y-a-t-il des atomes de sucre ? De bois ? De fer ? » 5/ « Les atomes existent-ils depuis quand ? Se forment-ils sur Terre ? » 6/ « Les atomes dans un ballon d'hélium sont-ils immobiles ? Dans un bloc de fer ? » 7/ « Des atomes se trouvent-ils où précisément ? Dans une table ? Sur nous ? » 8/ « L'atome contient-il de l'énergie ? De quelle forme ? Hiroshima, ça t'évoque quoi ? »
Uniquement chez les lycéens : 9/ Électricité. Magnétisme. Forces dans l'atome 10/ Cortège électronique (TS) 11/ Évocations	9/ « Est-ce que l'atome a de l'électricité ? Du pouvoir magnétique ? » 10/ « Le nuage électronique, comment tu l'imagines, quel sens peut-il avoir ? » 11/ « Démocrite, Dalton, Curie, Bohr... ce sont qui ? »
Identification des interviewés	Sexe, classe, série de 'bac'

Finalement, nous avons pu faire une collecte de données non négligeables que nous avons passée au crible des exigences scientifiques. Afin d'obtenir une vision plus globale

et plus homogène de ce matériel discursif, mais tout aussi bien une subtilité et une finesse de détail, parfois invisibles « à l'œil nu », nous avons mené deux types d'analyses complémentaires : une analyse informatisée avec le logiciel Alceste[®] et une analyse de contenu classique.

10.3.1 Le logiciel Alceste[®]

Le logiciel d'analyse de données textuelles sous l'acronyme Alceste (Analyse des Lexèmes Cooccurrents dans les Énoncés Simplifiés d'un Texte) permet « une approche herméneutique du contenu des discours et [tente] plus généralement de rendre intelligible la communication sociale. », Kalampalikis, 2007, p. 150. Plus particulièrement, « l'objectif du logiciel est d'obtenir un classement d'énoncés d'un corpus en fonction de la ressemblance ou de la dissemblance statistique du vocabulaire (mots) qui les composent afin de mettre en évidence des mondes lexicaux. », précise Dany (2006, p. 146). En effet, ces mondes lexicaux sont des traces sémiotiques, les plus caractéristiques, d'énoncés discursifs, d'activités, etc., autrement dit, d'intentions de sens de la part du sujet - énonciateur. Selon Reinert (1997, cité par Kalampalikis, 2007, p. 152), concepteur de la méthode, les mondes lexicaux « sont indépendants de toute interprétation. Mais, ils ne prennent sens, pour un lecteur, qu'à travers une activité interprétative particulière en fonction de son propre "vouloir lire". » Par une double démarche de « distribution / classification », le logiciel applique la technique de classification descendante hiérarchique, qui consiste en la répartition des énoncés en classes lexicales (visualisée par un dendrogramme, cf. schéma 12.1, §12.2.1), suivant un critère d'homogénéité dans le vocabulaire des énoncés appartenant à la même classe. Plus le réseau de ces classes lexicales distinctes est riche, plus la diversité du vocabulaire spécifique, à travers le corpus analysé, est étendue et plus un système de relations antithétiques est établi, souligne Kalampalikis (*ibid.*). En d'autres termes, le programme Alceste lance un découpage initial du matériel numérisé (corpus) cherchant, pour emprunter à cet auteur, à « illustrer le noyau conflictuel de la source de la production verbale, en deux mots les différences. » (*ibid.*, p. 160).

L'unité statistique de base pour Alceste est la « u.c.e³⁶ » qui contient des segments de texte marqués, consécutifs. En sortie du programme, une série d'indices fournies dans le

³⁶ Unité de contexte élémentaire.

rapport d'analyse permettent au chercheur de « combiner, comparer et interpréter à partir d'un critère de pertinence par rapport à son objet d'étude. » (*ibid.*, p. 157). À titre d'exemple, sont calculés :

1. Le pourcentage du poids de chaque classe lexicale sur le corpus intégral ;
2. Le Chi 2 d'appartenance d'un trait lexical (mot, lemme) à une classe et / ou à l'ensemble du corpus ;
3. Le Chi 2 des modalités des variables considérés ;
4. Les traits lexicaux les plus / les moins typiques d'une classe, etc.

S'agissant du Chi 2 mentionné au point 2 de la liste précédente, Reinert (1990 ; 1999, cité par Dany, 2006, p. 147) précise que

le coefficient d'association d'un énoncé à une classe est calculé à partir du Chi 2 d'association, à un degré de liberté, calculé sur le tableau de contingence croisant la présence ou l'absence du mot dans une u.c.e. et l'appartenance ou non de cette u.c.e. à la classe considérée (Reinert 1990 ; 1999, cité par Dany, 2006, p. 147).

Et, quant aux valeurs du Chi 2 listées par le point 3, Dany (*ibid.*, p. 148) remarque que

Plus le Chi 2 est important, plus la classe de discours révèle la spécificité du discours de la modalité de la variable associée. Autrement dit, l'association d'une modalité de variable à une classe ne rend pas compte d'une influence de la variable sur le contenu de la classe. En effet, l'ensemble des sous-populations (définies par les variables) peuvent évoquer ce type de discours ; le Chi 2 rend compte de l'association plus marquée entre cette classe de discours et une partie de la population.

Dans notre approche, nous distinguons deux variables associées au corpus des entretiens : le genre (avec les modalités garçon / fille) et le niveau de classe / série (avec quatre modalités : quatrième / seconde / terminale scientifique / term. littéraire). Les résultats obtenus des analyses du logiciel sont synthétisés dans la Partie 4 (cf. §12.2.1).

10.3.2 L'analyse de contenu

Bardin (1977) définit l'analyse de contenu comme « un ensemble de techniques d'analyse des communications utilisant des procédures systématiques et objectives du contenu des messages. » (p. 42). D'après Robert et Bouillaguet, (2002, p. 4), cet instrument de recherche permet « l'examen méthodique, systématique, objectif et, à l'occasion, quantitatif du contenu de certains textes en vue d'en classer et d'en interpréter les éléments

constitutifs qui ne sont pas totalement accessibles à la lecture naïve. » Ce travail nécessite l'élaboration préliminaire d'une grille de lecture par les rubriques de laquelle, le chercheur va transformer le corpus textuel « en une série de parties qui seront regroupées, classées, comparées, évaluées, comptées. » (Mialaret, 2004, p. 42). Il s'ensuit que ces catégories thématiques (dans notre cas d'une analyse thématique) doivent être pertinentes relativement à la problématique qui a été définie, et aussi exhaustives que possible pour rendre compte de tous les aspects du discours des élèves qui peuvent être dégagés. Ensuite, la phase du décompte des unités relevées – définies ici comme des portions de réponse d'élèves, qui sont porteuses de sens – conduit à la construction de tableaux d'effectifs et de fréquences traitables de manière statistique. Quant à l'interprétation des résultats et à l'inférence du sens, celles-ci doivent être reportées au contexte dans lequel ils ont été obtenus, avec l'indication des moments « où l'objectivité est à son maximum et les moments où l'interprétation introduit, normalement, des facteurs liés au chercheur lui-même. » (*ibid.*, p. 48).

Pour ce qui concerne notre corpus d'entretiens, nous effectuons une analyse thématique au niveau horizontal, c'est-à-dire, une technique qui consiste en le comptage d'un certain nombre de thèmes sémantiques. Les résultats sont présentés dans la Partie 4, §12.2.2 et en annexe 5.

10.4 Les questionnaires de la pré-enquête

Cet outil vient se coupler à l'entretien oral qui précède. Il comprend quatorze questions dans sa version destinée aux lycéens et onze dans la version collège (cf. annexes 1 et 2) dont :

1. Douze questions (version lycée) / neuf (version collège) sont fermées à choix multiple (en moyenne quatre choix dont l'un est le convenable, pour éviter une dispersion exagérée) ou dichotomiques, autrement dit, les individus doivent sélectionner parmi les réponses ou les modalités prédéfinies (par exemple « atome » / « molécule ») ;
2. Une question propose la mise en ordre de sept / cinq modalités fournies, d'après un critère précis ;
3. Une question incite les élèves à exprimer leur degré d'acceptation ou de rejet sur une échelle de Likert (à propos de cette technique, cf. §10.5), vis-à-vis d'un nombre

de sous-questions rapides (en fonction du niveau scolaire des répondants, mais aussi des programmes mis en place, notamment en TS). Nous avons opté pour le genre de l'échelle dit « à choix forcé », à savoir à quatre modalités, sans inclure une option « sans opinion ».

Dans cette phase de la recherche, les questions fermées offrent l'avantage de la rapidité, sans le risque de démotiver les élèves. Puis, le dénombrement des réponses facilement codables coûte moins cher pour le chercheur qui souhaite immédiatement mettre en évidence les facettes latentes du phénomène étudié, en vue de la formulation de ses outils pour l'enquête principale qui suivra. De plus, la comparabilité des réponses ainsi recueillies est assurée, les questions fermées étant rigoureusement standardisées, en ce sens qu'elles sont posées à tous « de la même façon, sans adaptation, ni explication complémentaires, laissées à l'initiative de l'enquêteur. » (Ghiglione et Matalon, 1978, cités par Mialaret, 2004, p. 80). En revanche, les unités de contenu significatives sont imposées par l'enquêteur dans un questionnaire fermé et non pas privilégiées au gré des individus. Enfin, les élèves qui passent un questionnaire fermé ont tendance, nous l'avons remarqué, à échanger entre eux. Cependant, combinée avec l'entretien individuel, ces deux techniques peuvent nous procurer davantage d'informations sur la question de recherche. Les résultats obtenus figurent dans le chapitre 12.

10.5 Les questionnaires de l'enquête principale

Pour ce qui concerne le dispositif de la recherche principale, il s'agit d'un questionnaire anonyme type des RS (cf. annexe 3) construit à partir des données de la pré-enquête que nous avons au préalable conduite. Ce questionnaire a été administré sous trois versions en fonction du niveau de classe et de la série de baccalauréat, soit : « 4^e du collège », « 2^{de} & Terminales hors TS »³⁷ et, enfin, « Terminale S ». Ces versions ont été outillées de questions soigneusement adaptées à ces modalités.

Avant de décrire les caractéristiques des questions posées, il est à rappeler que ce travail de thèse s'inscrit dans la théorie du noyau central des RS. Étudier les représentations que se font de l'atome les élèves issus de deux systèmes d'enseignement

³⁷ Ce choix de considération unifiée des deux niveaux de classe peut être justifié par l'observation que les lycéens s'inscrivant en TL ou TES n'enrichissent plus leurs connaissances sur l'atome. Cependant, ce critère ne se trouve pas appliqué au cas des grecs en TT qui suivent des cours de physique atomique et nucléaire.

différents, revient à mesurer aussi bien leurs connaissances objectives à son égard qu'à déceler les convergences entre eux et vis-à-vis du savoir institutionnel. Aussi, notre objectif est-il de comprendre quel sens peut prendre pour eux cet objet. Pour cela, l'approche du noyau central nous paraît pertinente. Par ailleurs, si cette approche permet le repérage des éléments consensuels qui composent la représentation, elle ne nous informe cependant pas sur les éléments qui entraînent la prise de position des individus, et donc la dissension, ce qui serait l'objet d'une démarche basée sur la théorie des principes organisateurs (Doise, 1990). Nous nous attachons, par la suite, à circonscrire le traitement des données ainsi prélevées, puis analysées avec les logiciels EVOC 2000©, SIMI 2000© (Vergès et collaborateurs 2002) et SPSS 16© (Howitt and Cramer, 2008) :

10.5.1 Analyse prototypique et catégorielle

La question 1, nommée d'évocation hiérarchisée et commune dans les trois versions prédéfinies, sert à repérer le contenu représentationnel et à définir les éléments appartenant au noyau central de la RS (Bonnec, Roussiau et Vergès, 2003). C'est une technique associative libre qui, dans un premier temps, consiste, à partir d'un mot inducteur de départ (atome, en l'occurrence) à demander au sujet d'y associer des mots qui, pour lui, sont les plus représentatifs, et de les hiérarchiser d'après un critère d'importance. Après réflexion, nous avons choisi d'inciter individuellement chaque élève à réaliser cette tâche à partir de la demande « Écris entre 3 et 5 mots qui te viennent spontanément à l'esprit quand tu penses à l'atome ». Autrement, nous encourions le risque qu'un effet de contrat didactique fût doublement activé (compte tenu du milieu de classe dans lequel a lieu l'investigation), en ce sens que la question soit comprise par les élèves comme une question attendant la « bonne » réponse à trouver et à laquelle se conformer. Une fois le corpus de mots établi, la conjonction de la fréquence de citation (indicateur collectif) et du rang moyen d'importance (indicateur plus individuel) pour chaque élément de ce corpus – ou d'un corpus plus restreint résultant d'un sous-ensemble de la population considérée (par exemple, les français collégiens) – conduit, à l'aide du logiciel EVOC 2000©, à la structure suivante :

Tableau 10.2 : Analyse des évocations hiérarchisées

	Rang moyen faible	Rang moyen fort
Fréquence forte	Case 1 zone du noyau central	Case 2 1 ^{re} périphérie (proche)
Fréquence faible	Case 3 éléments contrastés	Case 4 2 ^e périphérie (lointaine)

Dans cette configuration, la case 1 contient des éléments saillants (*i.e.* ayant une fréquence de citation élevée) et potentiellement centraux. Les cases 2 et 4 regroupent les éléments périphériques (plus importants / peu importants, respectivement). Quant au contenu de la case 3, de saillance à la fois majoritaire sur le rang³⁸ et minoritaire sur la fréquence, peut témoigner de l'existence d'un sous-groupe porteur d'une représentation différente. Selon Vergès, les cases 2 et 3 constituent la « zone potentiellement déséquilibrante, source de changement » (1994, p. 238) dans la RS, en ce sens qu'elles illustreraient une interaction entre le noyau et la périphérie. D'après Flament (1994), les éléments périphériques saillants (*i.e.* ceux de la case 2), plus fréquentés que ceux de la case 3, correspondent mieux à l'hypothèse de changement. Ces éléments, postule l'auteur, peuvent fusionner la zone centrale traditionnelle et une autre, encore utopique, fictive, pour former la RS nouvelle.

Suit l'étape de catégorisation selon laquelle le chercheur regroupe sémantiquement les induits autour de quelques notions prototypiques, sur des critères plutôt subjectifs intrinsèques à la problématique de recherche, à la nature de l'objet étudié, à la littérature spécifique, etc. Le choix étant donc délicat,

les limites des catégories sont d'autant plus difficiles à cerner que, d'une part, certains items peuvent recouper plusieurs thèmes, et que, d'autre part, les catégories sémantiques redevables de chaque thème peuvent varier en degré de précision, c'est-à-dire avoir des contours plus ou moins clairs (Roussiau, 2012, p. 16).

L'entrecroisement des fréquences avec les rangs moyens calculés pour ces notions prototypiques fournit une nouvelle distribution, analogue à celle du tableau à quatre quadrants (cf. tableau 10.2).

³⁸ Un item majoritairement placé parmi les premiers dans la hiérarchie obtient une valeur faible dans le rang moyen, tandis qu'un autre situé en dernière position, donc peu significatif, a une valeur élevée.

10.5.2 Questionnaire de caractérisation

Il s'agit de la question 2, laquelle est doublement incluse dans les différentes versions du questionnaire : en effet, elle apparaît sous l'annonce « question 2 », communément dans les trois versions et, comme « question 5 » dans les versions destinées aux lycéens de seconde et de terminale, mais avec des modifications radicales adaptées au niveau d'enseignement pour ces classes. Comme le souligne Vergès (2001), ce type de questionnaire offre un bon indice de centralité pour un nombre d'items proposés aux répondants, qui les hiérarchisent par ordre de représentativité à l'égard de l'objet en question. Autrement dit, les items les plus importants ou ayant une forte « saillance », a pu dire Vergès (*ibid.* p. 538), sont ceux qui émergent quand on représente un objet. Pourtant, cette technique elle-même apporte peu d'informations quant au caractère central ou périphérique des éléments représentationnels. Par ailleurs, elle permet de minimiser les effets de contexte selon lesquels les élèves, en vue de la question d'évocation, cherchent plutôt à anticiper les « bonnes réponses pour l'école », altérant la représentation véritable qu'ils se font de l'objet examiné. Les items élaborés, à destination de tous les élèves, collégiens et lycéens, représentent les aspects notamment scientifique et disciplinaire de l'atome (un item renvoie à la chimie), mais aussi éthique (item évoquant la bombe atomique). Par la liste des items proposés seulement aux lycéens (cf. question 5, annexe 3), nous visons à sonder leur représentation du modèle atomique. Les vingt-sept items catalogués dans les deux listes sont issus de l'étape de la pré-enquête, d'un survol de la littérature spécialisée et des programmes de physique-chimie du lycée. Pour calculer le score de représentativité d'un item lambda (c'est-à-dire, chiffrer sa nature centrale ou périphérique, par exemple cf. tableau 13.13, moyenne M) et tracer les courbes de fréquence (cf. ci-après), nous lui attribuons les codes de 3 à 1, selon qu'il est classé par les sujets enquêtés parmi les modalités suivantes : « plus caractéristique », « non choisi » et « moins caractéristique » vis-à-vis de l'atome. La distribution des résultats – à savoir, l'effectif de chacune de ces modalités – varie d'un item à l'autre et peut être caractérisée par la forme de la courbe :

- une courbe en « J » donne le profil des éléments qui ont une forte probabilité d'appartenir au noyau central de la représentation. Pour ces éléments, le score de la modalité « plus caractéristique » est supérieur à celui de la modalité « non choisi » qui à son tour est supérieur au score du « moins caractéristique » ;

- une courbe en « cloche » de type gaussienne correspond aux éléments périphériques ou sans rapport avec la RS. Ces éléments délimitent l'univers sémantique de l'objet représenté, chez les individus. Dans ce cas, le score du « non choisi » se trouve supérieur aux autres ;
- enfin, une courbe en « U » témoigne d'une dichotomie de la population à l'égard de l'item concerné, donc, d'une dissonance sur son degré de centralité dans la RS. En règle générale, le « non choisi » obtient le score le plus faible entre les trois modalités.

Nous rappelons que les versions « 2^{de} & Terminales hors TS » et « Terminale S » contiennent chacune une seconde question de caractérisation proposant douze et quinze items respectivement, adaptés à ces niveaux de classe et à la série S. Par exemple, dans la question 2, destinée à tous, les items qui caractérisent le moins l'atome sont les suivants : 1, 5, 6, 7, 9, 10, 12 et 14. Quant à la question 5, également une question de caractérisation figurant dans la version « 2^{de} & Terminales hors TS » (cf. annexe 3), parmi les items proposés ce sont les 1, 3, 5 et 6 qui caractérisent le moins l'atome. Et, pour la version « Terminale S », les moins caractéristiques sont les 1, 2, 4, 5, 7, 10, 14 et 15. Cependant, distinguer les items entre caractéristiques et non caractéristiques de l'atome dépend du point de départ épistémologique : par exemple, les items 1 et 5 de la dernière énumération sont conformes au modèle atomique de Bohr, mais pas au modèle ondulatoire. Par conséquent, les réponses des élèves permettent de dégager le modèle d'atome retenu.

10.5.3 Le différenciateur sémantique

La question 3, nommée d'échelle sémantique différentielle ou d'échelle d'Osgood, est, elle aussi, incluse dans toutes les versions du questionnaire de manière identique. Outil de questionnement indirect, elle permet d'étudier la connotation d'un mot ou, comme dans notre cas, le contenu sémantique entre deux extrémités opposées se référant à ce mot, appelé stimulus inducteur (en l'occurrence l'« atome »). Les individus doivent remplir certaines grilles (huit dans notre questionnaire) et associer, chacun selon son point de vue, une signification subjective au stimulus en attribuant une valeur de 1 à 5 entre les courtes phrases de gauche et de droite, de sens contradictoire concernant l'atome. L'intervalle [1, 5] ne comprenant que les nombres entiers, ces huit variables étant des variables

ordinales. À partir de ces données, le chercheur calculera une valeur moyenne, ainsi que l'écart-type afin de connaître l'étendue de telle ou telle caractéristique d'atome examinée, sur l'ensemble des sujets interrogés. Bien évidemment, plus la moyenne associée à une unité sémantique est faible (donc proche de la valeur 1) plus sa signification de gauche est privilégiée par les répondants et inversement. Cette troisième question figure dans toutes les versions des questionnaires, de manière identique. Nous précisons que sont corrects les énoncés gauche 5, 7 et 8, ainsi que les énoncés droite 1, 2, 3, 4 et 6 (cf. annexe 3).

10.5.4 Questionnaire de positionnement

La question 4 possède un tronc de sous-questions commun qui parcourt toutes les versions du questionnaire. D'autres sous-questions sont aussi adéquatement et graduellement surajoutées, selon les caractéristiques pédagogiques du public visé. La question de positionnement permet de mesurer la position ou l'opinion de l'individu sur une échelle dite de Likert. Déclinée en plusieurs phrases rapides – désormais, désignées aussi par les termes « propositions », « items », « variables » –, cette technique demande aux sujets de prendre position sur une échelle de notes allant du « totalement pas d'accord » au « totalement d'accord », cinq modalités codifiées de 1 à 5 réciproquement, les valeurs intermédiaires cardinales permettant au sujet de moduler son opinion. Du fait, les variables exploitées sont aussi ordinales. Plus la moyenne propre d'une proposition – calculée sur un ensemble d'individus – est élevée, plus cette proposition gagne du terrain dans les choix effectués. En fonction du niveau de classe, la question 4 contient :

- 7 propositions (étiquetées A, B..., G) dans la version « 4^e du collège », destinées à l'ensemble de l'échantillon général (*i.e.* 616 élèves) ;
- 11 propositions (dont les sept précédentes, suivies encore des H, I, J, K) dans la version « 2^{de} & Terminales hors TS », pour les lycéens français et grecs, exceptés ceux de terminale scientifique (soit 344 élèves) ;
- 16 propositions, à savoir les onze précédentes et supplémentaires les L, M, N, O, P (et Q, pour le groupe grec), toutes comprises dans la version « Terminale S » (destinée à 100 élèves, français et grecs).

Remarque : Les cases qui correspondent aux réponses correctes sont marquées par un « x » (cf. annexe 3).

Notre approche étant doublement comparative (en fonction de l'origine des élèves, tout comme du niveau de classe), nous allons appliquer les analyses statistiques précédemment définies aussi bien pour les grecs que pour les français en tenant compte de l'ensemble de chacun de ces sous-échantillons, mais aussi des six groupes auxquels se décompose l'échantillon intégral : classes de 4^e, de 2^{de} et de terminale, en Grèce et en France. Enfin, nous reviendrons sur l'échantillon entier, si les résultats permettent de conclure à une certaine homogénéité et à un degré de convergence suffisants.

CHAPITRE 11 : MÉTHODE D'ANALYSE DES DONNÉES – PLAN TRANSPOSITIF

Cette section se fixe pour objectif d'élaborer une grille d'analyse de manuels scolaires de physique-chimie, à finalité didactique. En parallèle, est explicitée la technique d'une seconde analyse textuelle, moyennant le logiciel Alceste[®].

11.1 Analyse didactique de manuels scolaires

Les éléments textuels et imagés développés dans les pages d'un manuel sont susceptibles d'analyses, comme nous l'avons précédemment montré. Nous présentons ci-dessous douze indicateurs que nous proposons, et à partir desquels nous effectuerons ces types d'analyses qui nous permettront de formuler des hypothèses par rapport aux effets éventuels de la transposition didactique dépistée sur les systèmes représentationnels de l'atome, chez les populations enquêtées. Les six premiers indicateurs constituent la partie générique de la grille, car applicables à toutes sortes de manuels d'enseignement. En revanche, la partie spécifique est composée d'un nombre d'indicateurs consubstantiels au sujet traité qui nous occupe dans notre analyse transpositionnelle, c'est-à-dire, l'atome. Pour dénommer cette grille, nous proposons l'appellation « dodécalogue », qui signifie ici discours sur douze variables.

11.1.1 Partie générique de la grille

Les indicateurs relevant de nature générique de la grille sont les suivants :

1. *Code* : codage alphanumérique du manuel examiné sur la base de critères concernant le pays d'origine en cas de travaux comparés (F pour les manuels français, etc.), la discipline concernée (p pour physique, c pour chimie, ma pour mathématiques, etc.), le niveau de scolarité (4 pour les classes de 4^e, 3 pour les classes de 3^e, et ainsi de suite) et la série de baccalauréat suivie (S étant la série « sciences », L étant la série « lettres » et ES étant celle de l'« économique et social »). À titre d'exemple, le premier manuel français par lequel démarre notre analyse transpositive est codé F01c2, c'est-à-dire que c'est un manuel de chimie français de seconde ;

2. *Éléments d'identification* : le titre et le sous-titre, le(s) auteur(s), l'éditeur et la collection, l'année d'édition et l'année du programme d'enseignement correspondant ;
3. *Position et titres de la section concernée* : repérage de la place exacte du chapitre visé – par rapport aux chapitres en amont et en aval – et citation des titres des paragraphes, sous-paragraphes, etc. l'articulant. Cette tâche nous permet de saisir aussi le contenu sémantique à propos du thème d'enseignement nous préoccupant ;
4. *Part occupée* : rapport « nombre d'unités imagées (cf. point 9) / nombre de pages », autrement dit, la propension des éléments figuratifs sur l'ensemble des pages afférentes au développement du thème de savoir visé ;
5. *Reformulés* : repérage des termes-pivots³⁹, tout comme des mécanismes des définissants et reformulants mis en œuvre : définitions, synonymes, métaphores, etc. ;
6. *Typologie iconique* : simple dénombrement des différents modules de schématisation mis en place (modèles, graphes, tableaux, etc., cf. point 9) ;
7. *Style pédagogique* : indicateur permettant de détecter s'il est question dans le manuel de :
 - a. extraits explicites du programme et d'autres circulaires fixant les compétences attendues et les objectifs globaux ou spécifiques à atteindre. Si opportun, on peut envisager les documents d'accompagnement des programmes ;
 - b. rappel de connaissances antérieures (de prérequis) et récapitulation des savoirs acquis ;
 - c. fonction heuristique – incitant l'apprenant à s'impliquer dans des situations-problèmes – ou seulement illustrative des images ;
 - d. approche déductive ou inductive (approche procédurale par le biais de démarches de recherche incitant ou non au travail collectif des élèves) dans le développement du thème (tâches, activités...) ;
 - e. citations en annexes de références bibliographiques et de sites web, d'index, d'un lexique, de tableaux (ainsi, en physique-chimie et mathématiques : tableau périodique des éléments, constantes fondamentales, nombres trigonométriques, formulaires, Prix Nobel, etc. ; en histoire-géographie : chronologies de traités, cartes géophysiques, etc.) ; ou encore, de guides type « À la découverte de votre manuel » ou de rubriques telles que « Apprendre à résoudre un exercice », « Activité de recherche », « S'autoévaluer », etc. ;

³⁹ Néologismes et autres termes scientifiques (tels que paléozoïque, énergie, acide, électroérosion...) ayant une fonction récurrente dans le développement d'un thème d'enseignement qui y est consacré.

- f. passages à caractère scientifique, culturel, socioéconomique, éthique, etc. susceptibles d'une analyse de contenu et, le cas échéant, pensables sous l'angle des questions socialement vives ou du modèle Connaissances - Valeurs - Pratiques (notamment en sciences de la Vie, cf. Clément, 1998 ; Bernard, Clément et Carvalho, 2007 ; Saab, 2011) visant à établir des liens entre le savoir épistémique et la société (approche Science - technique - société) ;
- g. styles d'écriture adoptés dans les sections dépouillées : éducatif informatif, participatif, injonctif, réflexif, persuasif, dogmatique, propagateur, scepticiste.

Ensuite, nous présentons les cinq indicateurs spécifiques de la grille d'analyse.

11.1.2 Partie spécifique de la grille

Cette partie est constituée d'indicateurs concernant essentiellement le thème d'enseignement visé : en l'occurrence, l'atome. En poursuivant la numérotation, ce sont les suivants :

- 8. *Paradigme épistémologique* : précision des paradigmes mentionnés dans la leçon développée – principalement ceux des philosophes grecs, celui de Dalton, de Thomson, de Rutherford, de Bohr et celui de la mécanique ondulatoire – avec leurs succès, insuffisances et échecs, si cela est expressément commenté dans le manuel. Nous utilisons le qualificatif « implicite » entre parenthèses pour signaler que les caractéristiques d'un modèle sont présentées à travers le manuel, sans pour autant aucune référence explicite à son élaborateur, par exemple : modèle de Dalton (implicite) ;
- 9. *Schématisation privilégiée* : description des différents registres sémiotiques⁴⁰ (structurant la partie iconique) que cet indicateur englobe et, facultativement, quelques informations de reprographie sur la schématisation privilégiée⁴¹ soit :
 - a. *modèles* par exemple de la structure atomique, de la configuration électronique (couches équidistantes ou non, répartition d'électrons « symétriquement » arrangée ou non, électrons appariés / célibataires, nuage électronique...), de la couche de valence (recours ou non aux formules de Lewis), etc. ; formules topologiques de molécules notamment en chimie organique, équations de réactions chimiques ou

⁴⁰ Au sens de R. Duval, 1993 ; 1995.

⁴¹ Typographie en couleurs ou non, figures planes ou en trois dimensions, aspect esthétique, etc.

- nucléaires, maquettes⁴² de molécules compactes ou éclatées, colorées ou en blanc-noir, etc. ;
- b. *tableaux* (propriétés des constituants d'atome, classification périodique, symboles et charges d'ions, etc.) ;
 - c. *photos* (portraits de savants / scientifiques, agrégats d'atomes vus au microscope, laboratoires, etc.) ;
 - d. *diagrammes* (niveaux d'énergie, spectres linéaires, courbe N-Z, etc.) ;
 - e. *analogies imagées* (sphère atomique simulée par le stade de France, le noyau étant alors la tête d'épingle ; quantification de l'énergie de l'atome comparée aux marches de l'escalier, etc.) ;
 - f. *figures et schémas* linéaires, arborescents, etc. (classification de la matière, frises de découvertes ou d'édifices de matière avec indication de l'échelle ou non, dispositifs d'expériences ou d'instruments de mesure, etc.) ;
 - g. *simulations et animations* des différents atomes, des électrons, des orbitales, etc. ;
 - h. *encadrés et accroches* autour d'activités expérimentales, d'obstacles et de conflits épistémologiques, de notices étymologiques, etc. ;
10. *Contexte* : références éventuelles à des éléments biographiques, socio-historiques, idéologiques et culturels liés, par exemple, à la vérification expérimentale de la théorie atomique contre ses opposants et, en général, à la perception (et aux conversions survenues) du concept d'atome par la communauté scientifique dont il est issu ;
11. *Niche écologique*⁴³ : inventaire des interrelations entre la théorie atomique et d'autres thèmes ou sujets de savoir transmis à travers le manuel, relatifs à la description ou aux exégèses de divers phénomènes, modélisations, applications technologiques, tels que les états de la matière, les spectres d'émission et d'absorption, la conductivité électrique, la liaison chimique, la périodicité des propriétés des éléments chimiques, le principe de fonctionnement du laser, etc. ;
12. *Organisation praxéologique* $t / T, \tau, \theta, \Theta$: analyse des praxéologies structurées en termes de « praxis » (types de tâches, techniques) et de « logos » (technologie, théorie), selon l'approche anthropologique en didactique (cf. §5.5), initiée par Chevallard (1992).

⁴² Par leur fonction de modélisation, les maquettes sont classées parmi les modèles, bien qu'elles se trouvent dans les manuels sous forme de photos.

⁴³ Chez Chevallard, la problématique écologique du savoir (cf. §5.4) interroge son arrivée dans l'enseignement, son interrelation avec d'autres objets, aussi, les conditions et contraintes pesant sur son fonctionnement, sa survie ou son obsolescence, etc.

11.2 Analyse du corpus avec le logiciel Alceste

Nous opérons une deuxième analyse complémentaire du corpus des manuels, à l'aide du logiciel Alceste. Plus précisément, nous avons soumis au programme un texte rédigé à partir des données issues du dépouillement des 72 manuels français et grecs retenus (cf. annexe 4) et relevant des indicateurs 3, 8, 9 et 11 (cf. §11.1), soit : titres, paradigme épistémologique, schématisation privilégiée (enrichie avec les légendes des différents éléments imagés) et niche écologique. Dans cette démarche, nous allons tenir compte les variables indépendantes suivantes :

1. « Discipline », déclinée aux modalités : p, pour physique ; c, pour chimie ; pc, pour physique - chimie ;
2. « Niveau de classe / série », comprenant les modalités suivantes (nomenclature française) : 5, 4 et 3 pour les classes du collège, et, 2, 1, 1S, T (terminale toutes séries confondues), TS (série S) et TST (séries grecques S et T), pour le lycée ;
3. « Origine » du manuel : F pour les manuels français et G pour les grecs ;
4. « Période » du manuel : a (ancienne), pour la période 1942 - 1970 ; m (moyenne) de 1971 - 1990 ; r (récente) de 1991 - 2014.

La présentation des résultats fait l'objet du chapitre 15.

11.3 Corpus des manuels scolaires

Nous avons composé un corpus de manuels de physique-chimie français et grecs qui datent de 1945 à nos jours. Prescrits par l'institution scolaire, ces manuels traitent du thème de l'atome ou, dans quelques rares cas, ils contiennent au moins un certain nombre de connaissances s'y rapportant. Ainsi, nous avons appliqué la grille précédemment présentée pour une analyse didactique de ce matériel, qui est développée dans l'annexe 4. Le tableau suivant synthétise les traits d'identité des manuels retenus et en donne un aperçu global :

Tableau 11.1 : Caractéristiques du corpus des manuels

Corpus des manuels				
Classe	Effectifs	français	grecs	
		Physique-Chimie	Physique	Chimie
5 ^e (grade 7)	1	1	-	-
4 ^e (grade 8)	14	7	3	4
3 ^e (grade 9)	16	7	6	3
2 ^{de} (grade 10)	19	10 dont 1 manuel de Chimie	5*	4
1 ^{ère} (grade 11)	8	4	3*	1
terminale (grade 12)	15	4 dont 2 de Physique et 1 de Chimie	7* dont 6 pour TS uniquement	4
Total	73	33	24	16

* Trois manuels de Physique contiennent de la matière qui correspond à la fois aux programmes soit de 2^{de} et de 1^{ère}, soit de 2^{de} et de TS, soit de 1^{ère} et de terminale. Dans tous les cas, le manuel est compté dans la case indiquant la classe inférieure.

Pour avoir une visualisation de la répartition des manuels par niveau de classe, nous proposons la figure suivante :

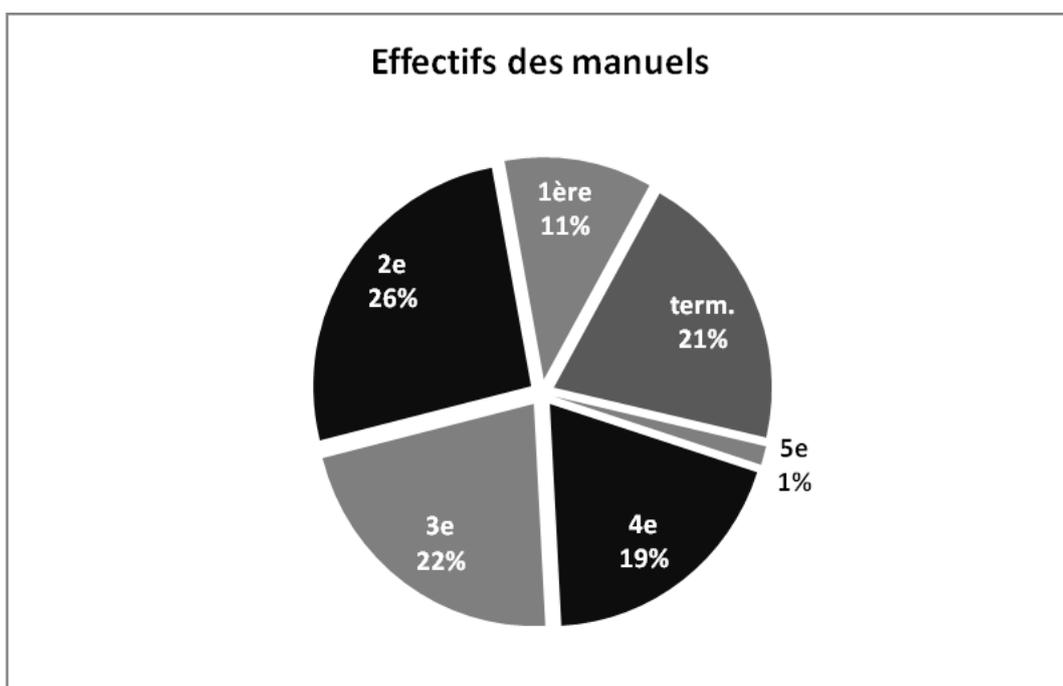


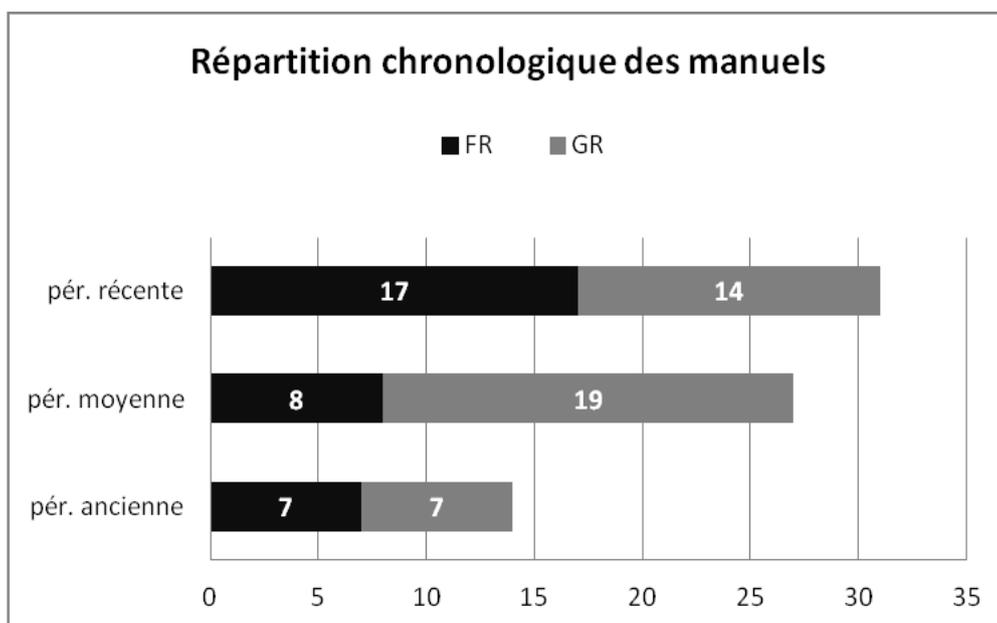
Figure 11.1 : Répartition des manuels par niveau de classe

Nous remarquons qu'une bonne partie du corpus, soit 42 %, comprend des manuels du collège, notamment pour les deux dernières classes. Ce choix peut être justifié par le fait que les élèves commencent à s'initier à l'atome et, par extension, à l'interprétation microscopique des phénomènes par l'étude de ces manuels. Ainsi, croyons-nous que la représentation de l'atome qui y est véhiculée joue un rôle significatif dans la création du sens. En outre, la classe de seconde est la plus représentée, suite à la constatation que ce sont les programmes de 2^{de} qui abordent, et cela de manière diachronique, l'enseignement de la structure interne et de la modélisation d'atome. Enfin, les manuels de terminale occupent de même une place importante dans l'ensemble, en raison des programmes grecs qui prescrivent un double enseignement de l'atome : en chimie, au sein des TS, mais aussi en physique, au sein des trois séries de baccalauréat.

Au plan chronologique, le corpus est composé de :

- 14 manuels (7 français et 7 grecs) datant de 1942 à 1970 ;
- 27 manuels (8 français et 19 grecs) datant de 1971 à 1990 ;
- 31 manuels (17 français et 14 grecs) datant de 1991 à 2014.

Le graphique d'après offre une visualisation de ce groupement :



Graphe 11.1 : La répartition des manuels selon les trois périodes considérées

La suprématie du volume grec relatif à la période moyenne peut s'expliquer à partir des conséquences de la réforme du système éducatif grec, en 1976. Les élèves issus du collège et intéressés par l'enseignement général pouvaient continuer au lycée général (Petropoulou 2012), qui assure dorénavant la démocratisation des disciplines scientifiques. En effet, l'enseignement de physique et de chimie est dispensé dans les deux dernières classes du collège et dans les trois classes du lycée, pour tous. Ainsi, une expansion de manuels prescrits a été observée durant la période « moyenne ».

11.4 À propos de la lecture des tableaux d'analyse des manuels

Cette section se donne pour objectif d'informer le lecteur sur la numérotation des tableaux d'analyse des manuels, ainsi que sur les critères établis pour le comptage du « nombre de pages », des modèles, photos, etc. (cf. indicateurs 4 et 5 ci-dessus) et pour l'explicitation de l'indicateur 11, la « niche écologique ».

D'abord, les tableaux d'analyse des soixante-douze manuels grecs et français de notre corpus considéré figurent en annexe 4. Nous distinguons les trois périodes d'édition suivantes : A (1942-1970) ; B (1971-1990) ; C (1991-2012). Dans les tableaux, les numérotations commençant par « 1 », « 2 » et « 3 » correspondent respectivement aux trois modalités suivantes : manuels de physique grecs, manuels de chimie grecs et manuels

français. Nous utilisons encore les indicateurs « a », « b », etc. pour les tableaux différents couvrant, le cas échéant, la même période et la même modalité de manuels. Par exemple, le code 1Ca correspond au premier tableau concernant l'analyse de manuels de physique grecs de la période 1991-2012, et, de plus, le petit « a » signale la continuation de l'analyse opérée, quant à cette modalité de manuels et quant à cette période, par les tableaux 1Cb, 1Cc, et ainsi de suite.

Ensuite, le codage appliqué pour chaque manuel a trait à quelques particularités curriculaires, notamment du système éducatif grec. Comme nous l'avons déjà signalé, la physique et la chimie sont deux disciplines séparées et autonomes. Ainsi, le code, par exemple G04p3, désigne, d'après le premier indicateur défini plus haut, le quatrième manuel grec de notre corpus qui est un manuel de physique de la classe de 3^e. De surcroît, les classes de 1^{ère} et de terminale de l'enseignement général sont, depuis 1997, composées des trois séries suivantes : littéraire L, scientifique S et technologique T (réarrangement des anciennes voies 1, 2, 3 et 4). De fait, par le code G20pTLST nous nous référons au vingtième manuel du corpus, un manuel de physique qui est commun à toutes les terminales. Le code G05p21 signale que ce manuel de physique (de 1967) est destiné à des élèves des classes de la 2^{de} et de la 1^{ère} (qui n'était pas alors divisée en séries). De même, le manuel G28c21 correspond à la 2^{de} et la 1^{ère} (également une classe unifiée en 1976). S'agissant des éléments en surbrillance dans les codes F01c2C, F04pc1AB, F08pTD et F09pc2AAB les indices repassés en gris informent que ces manuels français étaient à l'usage des anciennes sections (de 1968 aux années 1980 pour certaines, 1990 pour d'autres) C (Mathématiques - Sciences physiques), AB (Économique et Social), D (Mathématiques - Sciences de la nature) et A (Philosophie - Lettres). Enfin, contrairement à ce qui se passe en France à propos du tirage des manuels scolaires où plusieurs maisons d'édition du marché s'impliquent, en Grèce cette fonction était assurée, jusqu'en mars 2012, par l'« Organisme d'édition de manuels didactiques » (OEDB) qui a été depuis remplacé par l'« Institut de technologie de l'information et d'éditions - Diophante » (associé au Ministère de l'éducation nationale). Donc, nous évoquons dans les tableaux d'analyse les éditions d'OEDB ou d'OESB (Organisme d'édition de livres scolaires), OESB étant le prédécesseur du premier avant les années '60. Exceptionnellement, quelques manuels de chimie, faisant partie du corpus, paraissent chez « Evgénidou », fondation d'utilité publique (personne morale de droit privé) pour la promotion de l'éducation scientifique et technologique.

Pour ce qui concerne l'analyse transpositive (cf. annexe 4), elle s'effectue dans les termes des indicateurs de la grille élaborée, à l'exception des indicateurs 5, 7, 10 et 12. Le corpus des données ainsi produit est en accord avec le fichier introductif pour un traitement sur Alceste. Bien que tous les indicateurs (sauf les deux premiers, de nature technique) contribuent à la création du sens autour d'un savoir chez l'élève, nous pensons que ceux pris en compte dans notre approche sont d'une importance capitale. De plus, nous apportons une attention particulière au calcul du nombre de pages consacrées à l'atome ou au nombre global des modèles, figures, etc. tout en parcourant un manuel, puisqu'ils s'avèrent être propices à dilemmes : est-ce qu'une page, dans laquelle est développée par exemple la liaison covalente dans le dioxygène, doit-elle être mise en compte ? Est-ce que deux modèles atomiques distincts, mais abrités sous la même unité typographique et légendés de manière unifiée, doivent-ils être séparément numérotés ? Pour répondre autant que possible de manière uniformisée à de telles questions qui se posent, nous avons fixé, en règle générale, les critères suivants :

1. Que soit comptée toute page (excepté les annexes et les pages des exercices) ayant la moindre référence liée, d'une manière où d'une autre, au concept d'atome ;
2. Que soit comptée toute unité imagée incluse dans un encadré (par exemple, une photo de Bohr, le spectre d'hydrogène, etc.), même-si celui-ci se trouve aussi répertorié, en tant qu'unité imagée en soi ;
3. Que soient séparément comptés des modèles, tableaux, etc. des contenus similaires, constituant néanmoins des unités typographiques à part, conformément au choix, à l'intention des auteurs ;
4. Que soit uniquement compté tout ensemble de figures placées côte-à-côte exprimant un même élément cognitif, par exemple quatre phases du mécanisme de la réaction chimique illustrées par des modèles moléculaires ; qu'il équivale, en effet, cette synthèse à un seul modèle.

Malgré tout, le degré d'assiduité à ces critères dépend, en dernier ressort, du regard individuel du chercheur en corrélation avec ses objectifs de recherche et des contraintes objectives de toute sorte qui pèsent (par exemple, l'évolution des pratiques en typographie).

CONCLUSION DE LA TROISIÈME PARTIE

Cette partie de thèse est composée de trois chapitres dans lesquels nous avons développé la problématique de recherche (avec un survol de la littérature qui s'y rapporte), les caractéristiques de la population ciblée, le protocole mis en œuvre et les hypothèses à confirmer ou infirmer par la suite. Aussi, nous avons explicité nos choix méthodologiques et les techniques qui ont été appliquées dans le traitement des données, soit qu'il s'agisse du plan des représentations ou bien du plan transpositif.

En deux mots, notre problématique envisage le rapport entre le savoir institutionnel, tel que présenté dans les manuels scolaires, et le savoir personnel des élèves, autour du thème d'enseignement de l'atome, exprimé en termes de représentations sociales, qui associent l'individuel au collectif. Les travaux déjà réalisés portant sur les conceptions des élèves en la matière convergent vers la persistance d'un certain nombre de malconceptions, même après apprentissage. En effet, les élèves élaborent, pour en donner un exemple, un modèle d'atome qui ressemble au modèle planétaire de Bohr, mais simpliste (voire relevant du modèle d'atome - boule), et lorsqu'il s'agit de penser à des concepts relevant du nouveau modèle ondulatoire, ils semblent avoir recours à un langage et une interprétation relevant de la physique classique. Des effets transpositifs peuvent aussi influencer cette élaboration, comme des figures de l'atome daltonien (boules noires, rouges, etc.) qui sont légion dans les manuels, notamment pour illustrer la structure et la géométrie des molécules et des macro-molécules, tel l'ADN, en sciences de la Vie.

Dans notre approche, nous comparons les systèmes représentationnels du concept d'atome auprès de collégiens et lycéens français et grecs et, cela, en corrélation avec sa transposition didactique dans les deux systèmes d'enseignement. Pour se faire, nous avons construit, lors de la phase de l'enquête principale, un questionnaire type des RS et conçu une grille d'analyse didactique de manuels de physique-chimie. De plus, nous avons soumis les données transpositives issues des manuels à une analyse textuelle, à l'aide du logiciel Alceste. Tous les résultats sont présentés dans la quatrième partie qui suit.

PARTIE 4

RÉSULTATS ET DISCUSSION

La dernière partie de ce travail s'articulera autour de trois étapes : premièrement, seront exposés les résultats issus des analyses des données recueillies lors de la phase de pré-enquête (cf. chapitre 12) ; deuxièmement, seront développés les résultats relatifs à l'enquête principale, c'est-à-dire, auprès des deux échantillons considérés, général et spécifique (cf. chapitres 13 et 14) ; enfin, sera présentée l'analyse transpositive effectuée à partir du corpus des manuels de physique-chimie, utilisés de temps à autre au collège et au lycée, en Grèce et en France (cf. chapitre 15).

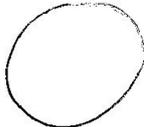
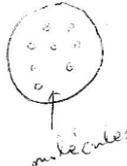
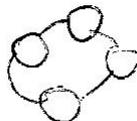
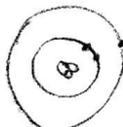
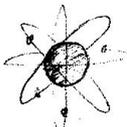
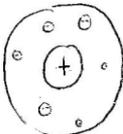
CHAPITRE 12 : RÉSULTATS DE LA PRÉ-ENQUÊTE

Nous nous attachons à exposer les résultats de l'analyse picturale des dessins d'élèves puis ceux issus des analyses des entretiens et, enfin, ceux obtenus à partir des questionnaires de la pré-enquête.

12.1 Résultats issus des dessins

Pour rendre lisible l'analyse picturale entreprise, nous avons élaboré une grille de classification des représentations émergentes, correspondant aux différentes typologies des dessins. Pour ce qui concerne le corpus français, les 72 dessins le composant sont produits par 48 élèves dont 32 issus des classes de 4^e, 8 de 2^{de}, 5 de TS et 3 de TL. Cet échantillon étant peu représentatif de la structure de la population de référence (ce qui constitue l'une des contraintes atténuant la portée des résultats de la recherche), il faut rendre compte du degré de fiabilité assez relatif des conclusions retenues. Quant au corpus grec, il contient 152 figures dessinées par 143 élèves sur l'ensemble de 154 (dont certains n'ont rien dessiné, alors que d'autres en ont crayonnées deux ou trois), scindées comme suit : 38 figures sont fournies par des collégiens (de 4^e), 67 par des élèves de 2^{de}, 21 proviennent des TS et 26 des TT et TL. Les tableaux 12.1 et 12.2 ci-dessous illustrent l'analyse des corpus français et grec respectivement :

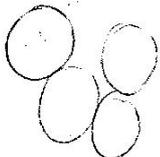
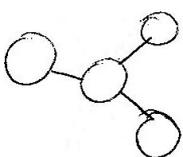
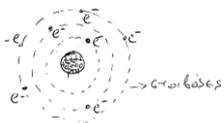
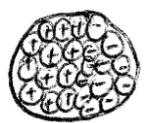
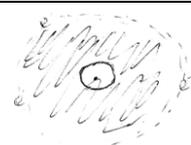
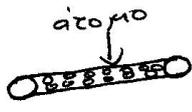
Tableau 12.1 : Grille d'analyse des éléments picturaux et typologie des représentations
chez les français

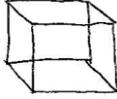
Typologie de l'atome	effectif des dessins (N=72) / poids statistique	provenance	Représentations associées	Exemple d'élément pictural correspondant	
boule daltonienne	24 / 33,3 %	23 → 4 ^e ; 1 → TL	discontinuité de la matière, base ultime compacte : « boules de billard »		
molécule	24 / 33,3 %	tous → 4 ^e	agrégats d'une certaine entité (atomes, molécules, etc.) : modèles moléculaires compacts, éclatés ou en bâtons		
planétaire	19 / 26,4 %	1 → 4 ^e ; 6 → 2 ^{de} ; 12 → TS	réplique microscopique du système solaire		
volume aux charges parsemées	3 / 4,2 %	2 → 2 ^{de} ; 1 → TL	pain aux raisins, pâte positive contenant des charges négatives		
probabiliste	0		aucune	aucun	aucun
vivant	2 / 2,8 %	1 → 2 ^{de} ; 1 → TL	structures biologiques		

Au premier abord, il ressort de ce tableau que l'intégralité des élèves des classes de 4^e forment en entendant le mot « atome », l'image mentale d'un « rond » sans structure interne, susceptible d'établir des liens avec d'autres ronds, pour la construction d'édifices complexes. On retrouve là les traces des idées daltoniennes d'atome - boule et d'« atomes composés », appellation par laquelle Dalton entendait les molécules. En d'autres termes, l'existence de l'atome est plutôt envisagée non pas de manière autonome, mais dans la conjonction (voire confusion) atome / molécule pour ce niveau scolaire où l'enseignement de ce dernier concept est abordé via l'exemple de l'eau ou de la composition de l'air. Cette représentation évolue, chez les lycéens, vers une image structurée disposant d'un noyau central, parfois composé d'autres corpuscules explicitement apparus dans les dessins.

Autour de ce noyau gravitent des particules (plutôt d'une charge imprécise, pour les élèves) sur des trajectoires bien tracées ou sur des couches numérotées par *K*, *L*, etc., notamment chez les élèves de la TS. Passons maintenant aux résultats issus du corpus grec, présentés dans le tableau 12.2 ci-après :

Tableau 12.2 : Grille d'analyse des éléments picturaux et typologie des représentations chez les grecs

Typologie de l'atome	effectif des dessins (N=152) / poids statistique	provenance	Représentations associées	Exemple d'élément pictural correspondant	
boule daltonienne	27 / 17,8 %	14 → 4 ^e ; 11 → 2 ^{de} ; 2 → term	discontinuité de la matière, base ultime compacte : « boules de billard »		
molécule	15 / 9,9 %	1 → 4 ^e ; 10 → 2 ^{de} ; 4 → term	agrégats d'une certaine entité (atomes, molécules, etc.) : modèles moléculaires compacts, éclatés ou en bâtons		
planétaire	58 / 38,2 %	5 → 4 ^e ; 18 → 2 ^{de} ; 15 → TS 20 → term	réplique microscopique du système solaire		
volume aux charges parsemées	5 / 3,3 %	3 → 2 ^{de} ; 1 → TS 1 → term	pain aux raisins, pâte homogène positive contenant des charges négatives		
probabiliste	3 / 2,0 %	3 → TS	nuage électronique (points, zone hachurée, etc.)		
vivant	32 / 21,1 %	11 → 4 ^e ; 20 → 2 ^{de} ; 1 → TS	structures biologiques		
					

social	6 / 3,9 %	3 → 4 ^e ; 3 → 2 ^{de}	individu, être humain (2 ^e acception grecque)		
irrégulier (formes géométriques, etc.)	6 / 3,9 %	4 → 4 ^e ; 2 → 2 ^{de}	aucune		

Ce tableau révèle aussi bien des ressemblances avec les résultats français que certaines particularités grecques. L'évolution de la représentation de l'atome du modèle daltonien, adopté par les collégiens et en partie par les élèves de 2^{de}, vers le modèle planétaire chez la plupart des lycéens constitue, là aussi, la première constatation. Par ailleurs, ce dernier modèle prédomine même parmi les élèves des TS, série au sein de laquelle le modèle ondulatoire est développé assez en détail. Cette remarque nous permet de supposer une forte persistance de la conception mécanique « classique⁴⁴ » du micromonde, selon laquelle l'atome est un tout petit système solaire, bien rembobiné. Au-delà, nous formulons des hypothèses (cf. §9.3.4) à propos de la construction du concept clé de nuage électronique, opérée par l'enseignement du modèle atomique moderne, en chimie. Le troisième point notable a trait au score élevé qu'obtient la catégorie « vivant » qui arrive en deuxième rang, favorisée notamment par les élèves de 2^{de}. À ce niveau, l'atome est traité en chimie, afin d'étayer le concept de liaison chimique dans des molécules inorganiques ou des composés ioniques, comme H₂, O₂, NH₃, NaCl, etc. Encore plus étonnante est la variété des figures travaillées qui semblent être sorties d'un manuel des sciences naturelles. Ce point a été de même pris en compte au cours de la construction du questionnaire de l'enquête principale. En revanche, les dessins relevant de la typologie « molécule » proviennent des lycéens, tandis que la même rubrique dans le cas français est alimentée par les collégiens. La richesse iconographique (maquettes de molécules, modèles compacts, éclatés ou en bâtons toujours colorés) dans les manuels scolaires français par rapport aux manuels grecs plus modestes, pourrait expliquer cette différence. Enfin, l'apparente diversité dans la forme des dessins grecs est évidemment due à l'effectif grec beaucoup plus élevé que l'échantillon français, à des tranches d'âge comparables. Depuis Piaget et Inhelder (1966), on sait qu'à partir de l'âge de douze ans, commence au fur et à mesure à se consolider le stade du développement cognitif qualifié d'opération formelle : l'individu est capable de raisonner vis-à-vis des problèmes complexes, d'envisager différentes

⁴⁴ Ce mot est ici utilisé par opposition à l'adjectif « quantique ».

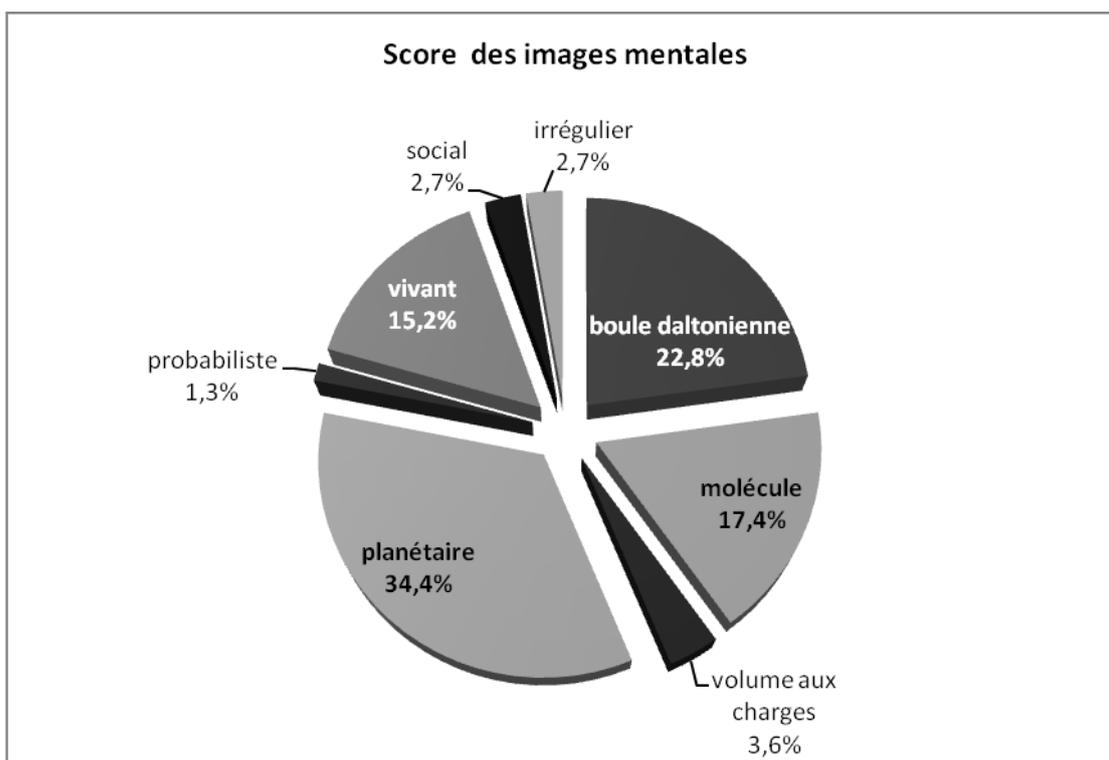
possibilités à propos d'une situation et d'établir des relations entre la réalité et les états potentiellement possibles.

En sachant que le traitement statistique, au moins concernant l'échantillon français (faible et peu équilibré dans les trois niveaux scolaires considérés), serait peu consolidé, le simple calcul descriptif sur Excel du poids statistique par catégorie montre que les français se partagent essentiellement entre les trois premières typologies. S'agissant des grecs, quatre sur dix d'entre eux dessinent une représentation planétaire de l'atome, deux sur dix persévèrent dans une figure du type boule de Dalton, tandis que 21 % attribuent à l'atome des traits du vivant ; tendance peu observée chez leurs camarades français. Dans l'objectif d'appréhender de manière globale les résultats issus par fusion des deux ressources de dessins, nous récapitulons les analyses picturales dans le tableau 12.3, comme suit :

Tableau 12.3 : Aspect global des analyses picturales

Typologie de l'atome	Nombre de dessins correspondant (au total, 224 dessins)	Poids statistique
boule daltonienne	51	22,77 %
molécule	39	17,41 %
planétaire	77	34,38 %
volume aux charges parsemées	8	3,57 %
probabiliste	3	1,34 %
vivant	34	15,18 %
social	6	2,68 %
irrégulier	6	2,68 %

Ces résultats (pourcentages arrondis au dixième) peuvent être visualisés par un graphe en secteurs, de la façon suivante :



Graph 12.1 : Score des images mentales liées aux typologies de l'atome, issues de l'analyse picturale.

Pour clore ce paragraphe, il émerge de ces dessins deux types majeurs de représentation qui coexistent de manière antagoniste : d'une part, la conception daltonienne qui, avec la catégorie « molécule » – au fond, basée sur l'image des boules associées ou « atomes composés » – occupe 40 % du corpus et, d'autre part, la conception planétaire avec presque 35 % des réponses. Certainement, la partie importante relative au « vivant », tout comme la tranche très atrophique liée au modèle probabiliste, méritent d'être étudiées.

12.2 Résultats issus des entretiens

Nous rappelons que seulement certains des élèves français ont été interviewés et que leurs discours ont été soumis à une double analyse, premièrement informatisée puis classique, suivant la technique d'analyse de contenu thématique.

12.2.1 Résultats selon Alceste[®]

Cette analyse a permis d'identifier cinq univers différents de reconstruction discursive de l'objet « atome », comme le montre le tableau 12.4, ci-après. Chacune de ces cinq classes lexicales est associée à des caractéristiques spécifiques des interviewés. Le profil de chaque classe est déterminé par l'ensemble des termes et des modalités des variables – pour rappel : sexe (Homme / Femme) ; niveau de classe (4^e / 2^{de} / TS / TL) – les plus significativement présents dans celle-ci. Le tableau 12.4 fournit aussi le poids du discours (en pourcentage) qui correspond à chaque classe, ainsi que la valeur du Chi 2 des modalités de chacune des deux variables qui dominent au sein de cette classe (Reinert, 1990 ; 1999). Par exemple, la classe 1 couvre le 35,57 % du discours entier par ses thématiques autour de la couleur et de la taille de l'atome, pour lesquelles nous citons quelques traits spécifiques. Ainsi, la comparaison dans les Chi 2 liés aux différentes variables permet d'inférer si une « appartenance de genre » ou plutôt une « appartenance transpositive » (en lien avec l'échelle écologique du savoir, cf. graphe 12.2) est associée à ces différentes classes. Enfin, sont indiquées les valeurs les plus élevées du Chi 2 d'appartenance d'un trait lexical à une classe. Ces indices peuvent témoigner de la typicité du trait concerné à l'intérieur d'une classe de discours.

Tableau 12.4 : Classes de discours issues de l'analyse Alceste effectuée sur le corpus des entretiens de recherche (N = 48)

Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
36,14 % du discours 4 ^e Chi 2 = 83,55 F Chi 2 = 58,09	12,21 % du discours 4 ^e Chi 2 = 35,41	20,02 % du discours TL Chi 2 = 46,22 H Chi 2 = 3,17	17,90 % du discours 2 ^{de} Chi 2 = 217,07 TS Chi 2 = 187,70 H Chi 2 = 91,09	14,30 % du discours 4 ^e Chi 2 = 6,36 F Chi 2 = 6,73
Couleur : noir, blanc, rouge, transparent... Taille : petit, invisible, œil nu, microscopique... Forme : rond, corps, objet... Rapport à : molécule, cellule, H ₂ O...	État physique : liquide, solide, gazeux... Mouvement : bouge, monte, immobile, direction... Matériaux : fer, cuivre, sucre, mercure...	Formation première : créer, univers, exister, vie, matière... Formation permanente : respirer, nouveau, soleil, constituer...	Modélisation : couche, noyau, électron, proton, trajectoire, vide... Élément chimique : réaction, transformer, élément, liaison, chimique...	Nucléaire : bombe, nucléaire, explosion, centrale nucléaire, radioactif, uranium, danger...
Valeurs les plus importantes dans le Chi 2 des traits lexicaux par classe				
Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
oxygène+ 46,64 carbone 43,84 noir+ 31,24 œil nu 24,91 petit+ 22,01 blan+ 21,53	solid+e 164,16 gaz+eux 119,72 liquide+ 96,90 bouge+er 45,69 ballon+ 44,32 haut+ 36,88	cré+er 85,40 connaître 30,66 terre+ 30,18 exist+er 23,25 trouv+er 22,74 univers 22,50	électron 189,64 noyau 108,77 proton 106,74 neutron 95,30 couche+ 56,08 positi+f 47,76	nucléaire+ 81,13 explosion 78,34 bombe+ 73,78 vill+ 73,78 centrale nucléaire 61,32

Remarque : d'après une lemmatisation des formes textuelles identifiées, Alceste calcule les Chi 2 des formes réduites. Ainsi, « oxygène » et « oxygènes » sont rassemblés sous le radical « oxygène+ » ; de même, « blanc », « blanche », « blanches », etc. sont réduits à « blan+ », et ainsi de suite.

Tout d'abord, et compte tenu du rapport complet édité en sortie du programme, nous constatons que ce sont significativement les collégiens et les filles qui contribuent aux u.c.e. (unité de contenu élémentaire) de la classe 1. Autrement dit, 45,92 % des u.c.e. « 4^e » et 48,12 % des u.c.e. « filles » sont dans cette classe, alors qu'elle ne représente que 36,14 % des u.c.e. classées. À propos des traits lexicaux, « oxygène » et « carbone » arrivent en premier rang, car ce sont les exemples les plus invoqués dans la question de la couleur de l'atome (illustrée, dans les manuels scolaires, par un rond blanc pour le premier et noir pour le second). La classe 2 est aussi marquée par les collégiens (35,41 % des u.c.e.

« 4^e »), mais on ne peut prononcer aucune contribution significative de la variable genre. Parmi les lemmes répertoriés, les leaders « solide » et « gazeux » se trouvent très souvent opposés l'un à l'autre, quant il s'agit de l'état physique « d'un seul atome » dans un bloc de fer, d'aluminium, etc., ou dans un gaz, réciproquement. Ensuite, la classe 3 est essentiellement marquée par les discours des élèves en TL dont la contribution aux u.c.e. relève de 46,22 %. La modalité H étant très faible – à peine 22,97 % des u.c.e. « H », ce qui est comparable au 20,02 % qui est le poids de cette classe –, on peut la négliger. Le trait « cré+er » avec ses variations (création, créés, etc.) se situe en premier, loin des autres caractérisant cette classe par la question de la création des atomes. Au contraire, la contribution des lycéens (de 2^{de} et de TS) et des garçons aux u.c.e. de la classe 4^e est significative, puisque 77,22 % des u.c.e. « 2^{de} », 68,48 % des u.c.e. « TS » et 31,65 % des u.c.e. « H » appartiennent à cette classe qui ne représente que 17,90 % des u.c.e. retenues. Dans cette classe se retrouvent toutes les particules subatomiques, c'est-à-dire, les constituants de l'atome, que nous avons regroupés sous le label « Modélisation ». L'« électron » occupe la place primordiale, suivi du « noyau », ce qui vient renforcer notre hypothèse H2 (cf. §9.3.4). Enfin, les Chi 2 calculés pour la cinquième classe étant très faibles, on ne peut pas conclure à une association remarquable entre cette classe et les modalités impliquées. Des traits comme ceux évoqués dans la dernière colonne du tableau précédent composent la classe lexicale « Nucléaire » dont le lemme éponyme obtient le score de Chi 2 le plus élevé, suivi des aspects explosifs de la bombe atomique et les villes japonaises victimes des retombées nucléaires.

À l'issue de la technique de classification descendante hiérarchique (évoquée plus haut, cf. §10.3.1), Alceste édite le dendrogramme suivant, sur lequel nous avons rajouté l'étiquetage interprétatif pour chaque classe :

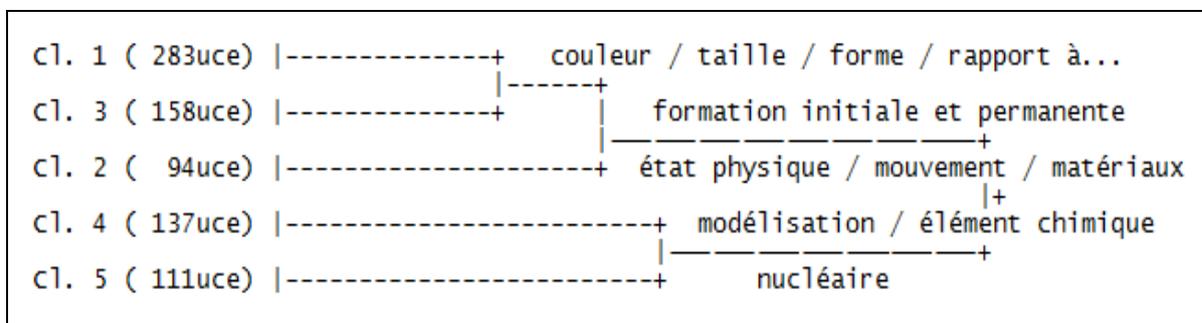


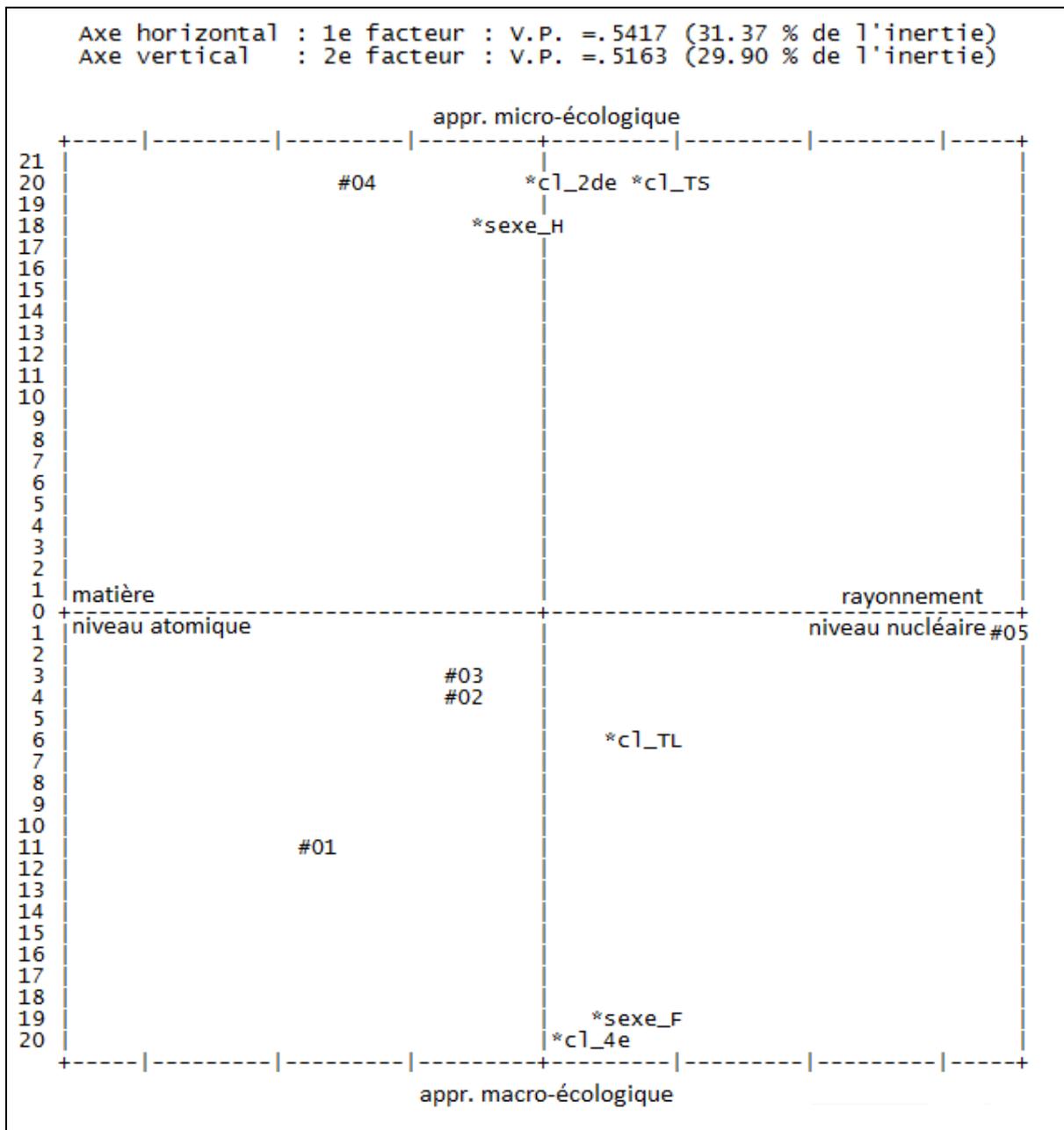
Schéma 12.1 : Des partitions successives du corpus textuel

De droite à gauche dans ce schéma, nous observons une première partition (les deux droites pointillées aux traits allongés) qui établit une structuration bipolaire de l'arborescence : les classes 1, 3 et 2 prises ensemble constituent un pôle, l'autre étant l'assemblage des classes 4^et 5. D'un côté, nous retrouvons la phénoménologie de la matière au niveau atomique et moléculaire, alors que de l'autre, nous descendons dans le niveau subatomique, avec les constituants de l'atome et les effets nucléaires (énergie, radioactivité). Ensuite, le programme opère une deuxième partition qui aboutit à quatre issues – classes 1 et 3 rassemblées puis classe 2, classe 4^et, enfin, classe 5 – et qui laisse apparaître une dichotomie de taille : les classes 1 et 3 excèdent 56 % du discours, notamment parce que la partie de discours correspondante est plus réursive, voire redondante (donc, davantage d'u.c.e. définies), en raison du besoin de mieux élucider les idées associées à ces thématiques.

Afin d'obtenir une thématization plus large, nous tentons de répartir les classes et leurs thèmes relatifs. Nous identifions ainsi trois thématiques inhérentes :

- la première, à la matière au niveau atomique et moléculaire, avec des appartenances « collégiens », « TL » et « filles » y étant associées ;
- la deuxième, à la matière au niveau subatomique (constituants d'atome et leur articulation), avec des appartenances « lycéens de 2^{de} et de TS » et « garçons » y étant associées ;
- la troisième, au rayonnement du noyau, en d'autres termes, à la radioactivité et aux effets nucléaires, sans influence significativement remarquée de genre ou de niveau de classe

Il est d'ailleurs notable que ces remarques se trouvent en concordance avec l'hypothèse H4, pour les élèves « TL », et avec les H2 et H3, pour les lycéens de 2^{de} et de TS. La fusion des deux premières thématiques sous la catégorie « matière », opposée au rayonnement, nous offre un levier interprétatif du graphique 12.2, ci-dessous, issu de l'analyse factorielle des correspondances.



Graph 12.2 : Projection des cinq classes lexicales (# 01, # 02...) et des modalités des variables considérées (*sexe_H / F et *cl_4^e / 2de / TS / TL). Les valeurs propres des facteurs explicatifs excèdent cumulées 61 % d'inertie

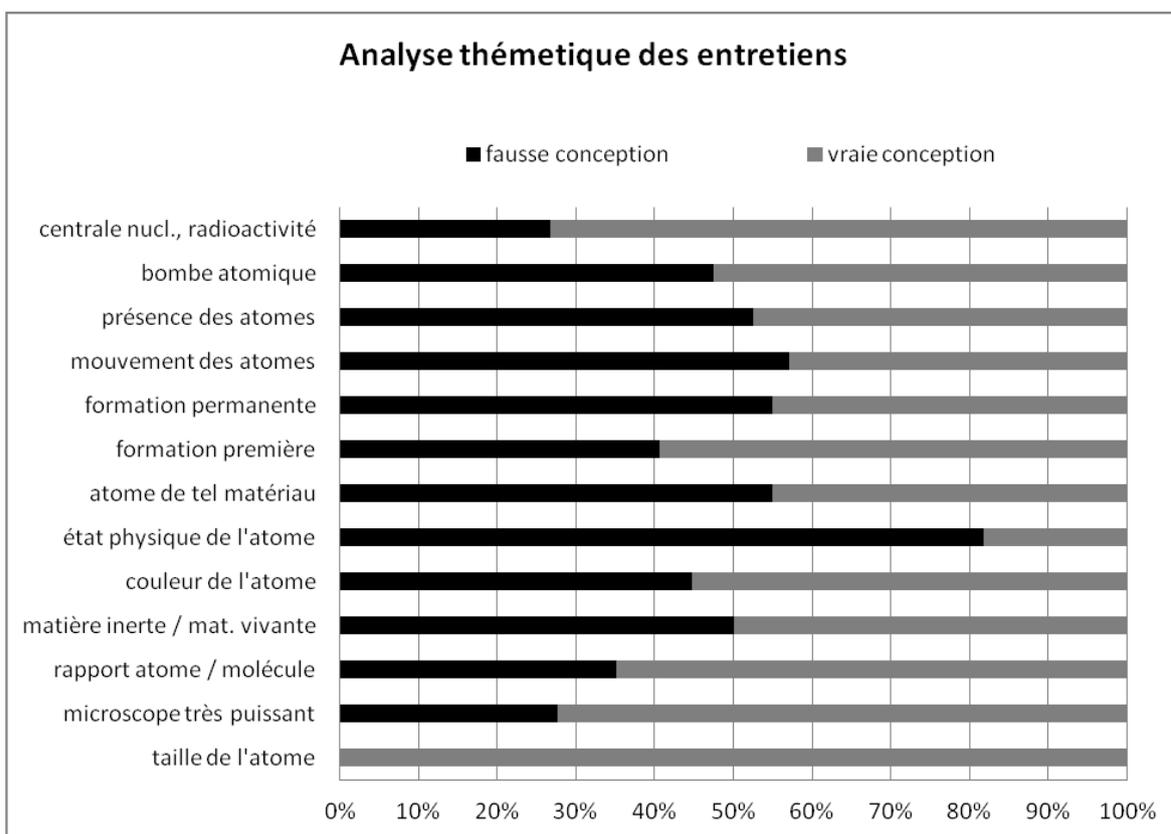
Dans ce graphique, l'axe horizontal représente un déplacement du contenu sémantique du discours de la « matière » vers le « rayonnement », ou bien, du « niveau atomique » vers le « niveau nucléaire » (1^{er} facteur explicatif). L'axe vertical peut mesurer, postulons-nous, l'échelle écologique du savoir (2^e facteur explicatif) : du bas vers le haut, l'approche macro-écologique du savoir « atome » évolue vers une analyse micro-écologique, au sens de Chevallard (1988, p. 99) qui suggère : « On parlera d'analyse micro-écologique ou

d'analyse macro-écologique selon que l'on traite d'un élément particulier de ce savoir, ou du savoir considéré pris comme totalité. » Selon ces notions, les programmes des classes de 4^e mettent en œuvre une approche macro-écologique du savoir, tandis que ceux des 2^{des} et des TS traitent des différents sujets en lesquels il se scinde, tels que les constituants de l'atome et leur structuration (modèle atomique), le comportement chimique des éléments, la radioactivité, la fission nucléaire, etc. C'est pourquoi l'on retrouve les modalités de la variable classe dans ces positions sur le plan factoriel précédent. Les classes lexicales 1, 2, 3 et 4 portent sur l'aspect matériel de l'atome, la quatrième se caractérisant par une approche micro-écologique nette. Aux antipodes, la classe 5 est typique des aspects énergétique et nucléaire, les deux approches, macro et micro, y contribuant pour autant. Autrement dit, les élèves évoquent, de manière banale, la bombe atomique et ses effets néfastes (approche macro-écologique), mais aussi les éléments radioactifs ou le principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire (approche micro-écologique). Globalement, nous constatons qu'indépendamment du genre et de la classe scolaire, les deux facettes, matière et énergie, entrent de façon équivalente dans le discours, la dernière étant légèrement plus avancée chez les TS et TL, conformément aux programmes propre à ces parcours.

12.2.2 Résultats d'après l'analyse de contenu

En annexe 5, nous synthétisons les statistiques descriptives de l'analyse thématique effectuée par thème et sous-thèmes considérés, suivant le guide de l'entretien (cf. tableau 10.1). Nous la complétons aussi avec un spécimen de réactions d'élèves parmi les plus caractéristiques. Pour visualiser les résultats, nous avons conçu le graphe suivant qui fournit les pourcentages des références⁴⁵ observées soit qu'il s'agisse de vraies conceptions ou de malconceptions.

⁴⁵ Cf. annexe 5, p. 673, note de bas de page 4.



Graph 12.3 : Conceptions vraies et fausses, résultantes de l'analyse thématique des entretiens

Il est clair que l'ensemble des élèves, dont 69 % sont des collégiens de 4^e, appréhendent la petitesse de l'atome (en des termes qualitatifs, au moins), sans pour autant avoir tous affermi le rapport atome / molécule / cellule (au lycée, cette confusion commence à régresser) : « Les molécules sont... en fait c'est un regroupement d'atomes, ou je sais plus si c'est les atomes qui sont un regroupement de molécules. » (garçon, 2^{de}) ; « [...] dans les cheveux c'est un mélange des deux, atomes et cellules. » (fille, TL). Ensuite, si même les plus jeunes reconnaissent que les couleurs par lesquelles sont illustrés les atomes dans les manuels sont artificielles, une partie importante des élèves semblent croire qu'il existe des atomes pour toute substance étiquetée à partir de son appellation commerciale, par exemple « sucre » à la place de « glucose » et « fructose », « sel » pour « chlorure de sodium », etc. Ainsi, pour un peu plus de 80 % des élèves, chaque atome, pris séparément, se trouve-t-il dans le même état physique que la matière macroscopique le contenant. Cependant, presque un élève sur cinq a construit l'idée que c'est grâce à l'assemblage des atomes que la matière manifeste telle ou telle propriété macroscopique : « Non, enfin, quand on les dessine, c'est des fausses couleurs. En réalité, en se mélangeant ils forment

des couleurs. » (fille, 4^e) ; « [un atome de carbone] je dirais qu'il n'est pas noir. C'est quand il s'assemble à d'autres qu'ils deviennent noir. » (garçon, 4^e) ; « Non, on parle d'un assemblage d'atomes qui forment le bois [et non pas d'atomes de bois]. » (garçon, TS). De plus, la majorité évoque le Big bang et l'espace pour penser à la formation initiale des atomes, mais quant à une formation permanente, les élèves se partagent entre ceux qui pensent que « se sont créés les atomes » et ceux légèrement plus nombreux adeptes de la formation permanente. Nous observons une tendance généralisante consistant à lier la création et la présence des atomes avec l'air, l'atmosphère. L'atome est ainsi censé être consubstantiel de l'air qui est élevé en un principe clef : « Ils sont créés [les atomes] dans les molécules [...] dans l'air [...]. » (garçon, 4^e) ; « On le touche [l'atome], il est dans l'air. » (fille, 4^e) ; « Bah, dans notre corps il y en a, parce qu'il y a de l'air. » (garçon, 4^e) ; « Ils sont déjà créés, euh, au commencement, au Big bang, quand l'atmosphère s'est formée. » (garçon, 2^{de}) ; « Y en a partout, enfin [...] dans l'atmosphère. Dans l'écran, euh, non, je sais pas. » (fille, TL). S'agissant de la puissance nucléaire de l'atome, la moitié des élèves définissent la bombe atomique soit de façon tautologique (un engin qui « contient des atomes »), soit en la classant parmi les armes chimiques : « [...] beaucoup d'atomes assemblés qui font une sorte de gaz qui est dangereux, comme du poison. » (fille, 4^e) ; « [...] y a des atomes qui peuvent être [...] enfin qui peuvent nous asphyxier. » (fille, 4^e). Par contre, les trois quarts des participants identifient la centrale nucléaire comme « une usine où on fabrique de l'énergie » (fille, 4^e), et, « ça sert à fabriquer de l'électricité. Ils transforment des atomes, enfin peut être, le nucléaire en électricité. » (fille, 4^e). Enfin, il est remarquable que la conception qui semble s'esquisser concernant la notion de nuage électronique est celle d'un mouvement désordonné des électrons (classiques) ou celle d'un synonyme des couches électroniques : « [...] c'est des positions aléatoires que les électrons ils prennent. » (garçon, TS) ; « [...] on les classe avec des lettres, *K, L, M, N*, c'est un nuage électronique, c'est les couches d'électrons autour d'un noyau. » (garçon, TS) ; « [...] les électrons ils circulent librement autour du noyau, y a pas de [...] trajectoire précise, c'est comme un nuage. » (garçon, 2^{de}).

Au total, nous avons retenu 332 références statistiquement exploitables. 170 d'entre elles (51,2 %) renvoient à des conceptions qui vont dans le bon sens et 162 à des misconceptions. 97 références parmi les 170 précitées, soit 57,1 %, proviennent de discours tenus par des filles. Notons ici que les filles constituent le 54,2 % de l'effectif des interviewés. En conséquence, le rapport entre les deux pourcentages étant équilibré, cela ne laisse pas conclure à un effet d'influence de la variable genre. Cependant, on ne peut pas se

prononcer sur l'effet potentiel de la variable niveau de classe / série de 'bac', en raison de la représentativité insuffisante des lycéens dans ce corpus.

12.3 Résultats issus des questionnaires de la pré-enquête

Cet outil (cf. annexes 1 et 2) comprend quatorze questions dans sa version destinée aux lycéens et onze pour la version collège dont :

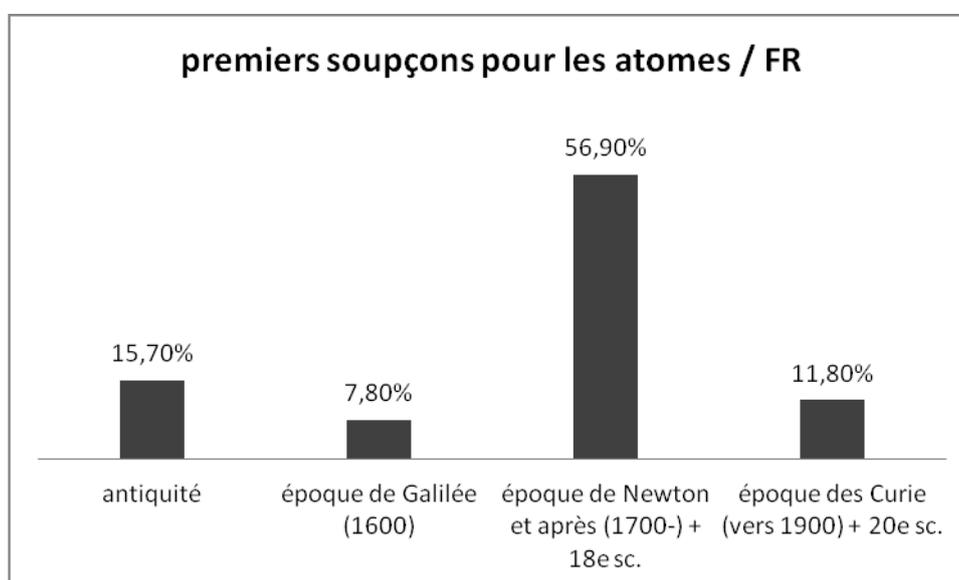
1. douze (version lycée) / neuf (version collège) sont des questions fermées à choix multiple (en moyenne quatre choix dont un est convenable, pour éviter une dispersion exagérée) ou dichotomiques : autrement dit, les individus doivent sélectionner parmi les réponses ou les modalités prédéfinies (par exemple « atome » / « molécule ») ;
2. une question propose la mise en ordre de sept / cinq modalités fournies, d'après un critère précis ;
3. une question incite les élèves à exprimer leur degré d'acceptation ou de rejet sur une échelle de Likert (à propos de cette technique, cf. §10.5.4), vis-à-vis d'un nombre de sous-questions courtes (choisies en fonction du niveau scolaire des répondants, mais aussi des programmes en place, notamment en TS). Nous avons opté pour le genre de l'échelle dit « à choix forcé », à savoir une échelle à quatre modalités, sans inclure une option « sans opinion ».

Dans cette phase de la recherche, les questions fermées offrent l'avantage de la rapidité, sans le risque de démotiver les élèves. Puis, le dénombrement des réponses facilement codables est moins coûteux pour le chercheur qui souhaite mettre rapidement en évidence les facettes latentes du phénomène étudié, en vue de la formation des outils de l'enquête principale qui suivra. De plus, la comparabilité des réponses ainsi recueillies est assurée, les questions fermées étant rigoureusement standardisées, en ce sens qu'elles sont posées à tous « de la même façon, sans adaptation, ni explication complémentaires, laissées à l'initiative de l'enquêteur. » (Ghiglione et Matalon, 1978, cités par Mialaret, 2004, p. 80). En revanche, les unités de contenu significatives sont imposées par l'enquêteur dans un questionnaire fermé et non pas privilégiées au gré des individus. Enfin, les élèves qui passent un questionnaire fermé ont tendance, nous l'avons remarqué sur le terrain, à

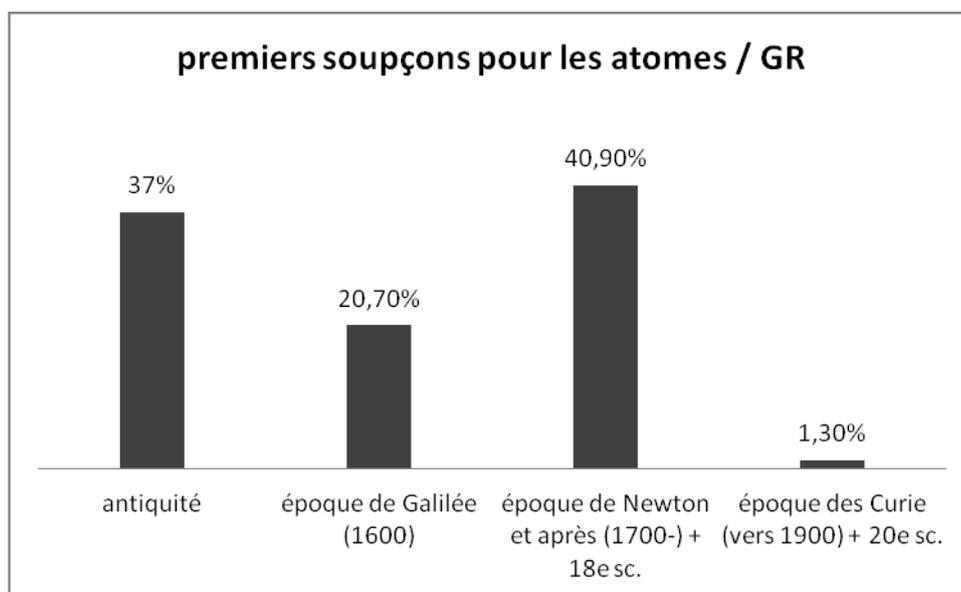
échanger entre eux. Cependant, combinée avec l'entretien individuel, ces deux techniques peuvent nous procurer plus d'informations sur la question de recherche.

Dans ce qui suit, nous relatons les résultats issus d'un traitement relevant de la statistique descriptive sur Excel. Nous avançons question par question, de façon unifiée (effectif français N = 51 ; effectif grec N = 154), la seule distinction retenue étant le pays d'origine et le niveau de classe, si nécessaire. Par conséquent, selon les enquêtés, notés « FR » et « GR » :

1. L'homme a soupçonné l'existence des atomes plutôt depuis l'époque de Newton, d'après les FR, comme le montre le graphe 12.4 ou dans l'antiquité, pour le tiers des GR (cf. graphe 12.5) :



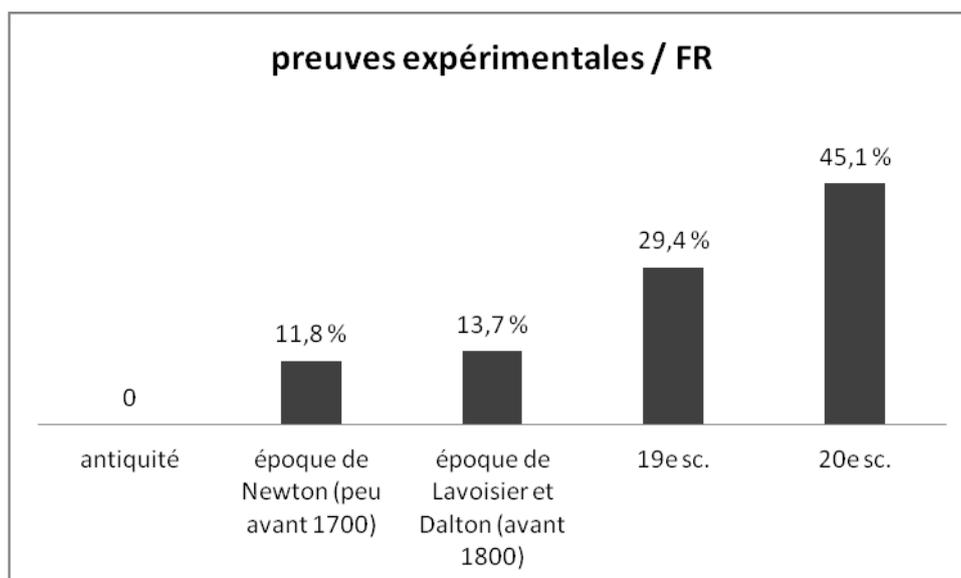
Graphe 12.4 : Moment de naissance de l'idée de l'atome. (Certains élèves n'ayant pas répondu, la somme des scores se trouve inférieure à 100 %, cette remarque parcourt ce paragraphe de façon récurrente)



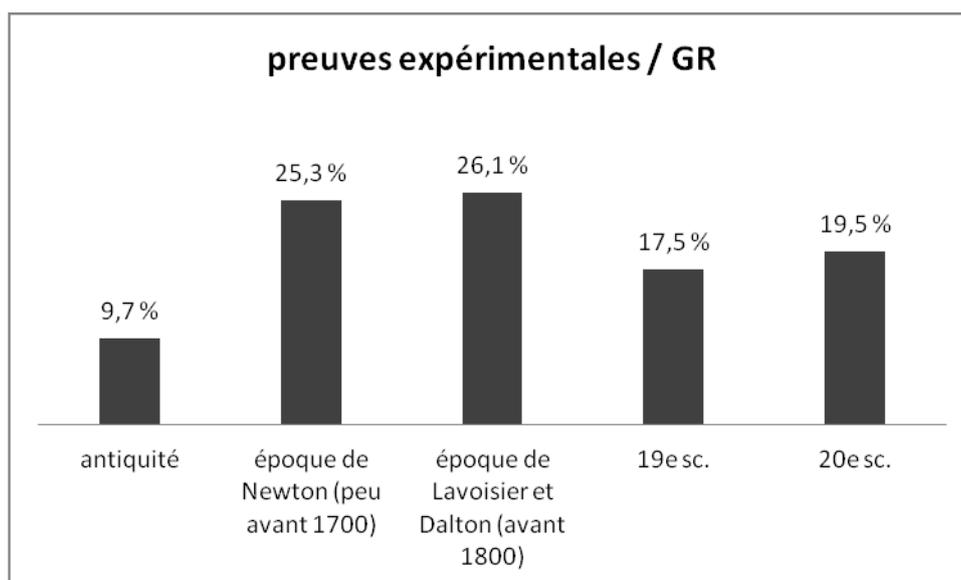
Graphe 12.5 : Moment de naissance de l'idée de l'atome

Remarque : Les trois premières questions possèdent deux versions : version collège et version lycée, afin d'éviter l'usage des noms de « Galilée » et de « Newton » dans les exemplaires adressés aux collégiens qui, en règle générale, ne connaissent pas encore la contribution scientifique de ces personnages historiques. Pour des raisons d'économie dans ce paragraphe, nous avons procédé à la fusion des modalités de réponses proposées dans les deux versions (signalée par « + » dans les graphes), selon le critère chronologique. Ainsi, l'image globale à saisir par origine d'individus est offerte dans un seul graphe.

2. On ne dispose pas des preuves expérimentales de l'existence des atomes depuis l'époque de Lavoisier et de Dalton, croit de manière erronée la grande majorité des FR (cf. graphe 12.6), les GR étant complètement partagés (cf. graphe 12.7) :

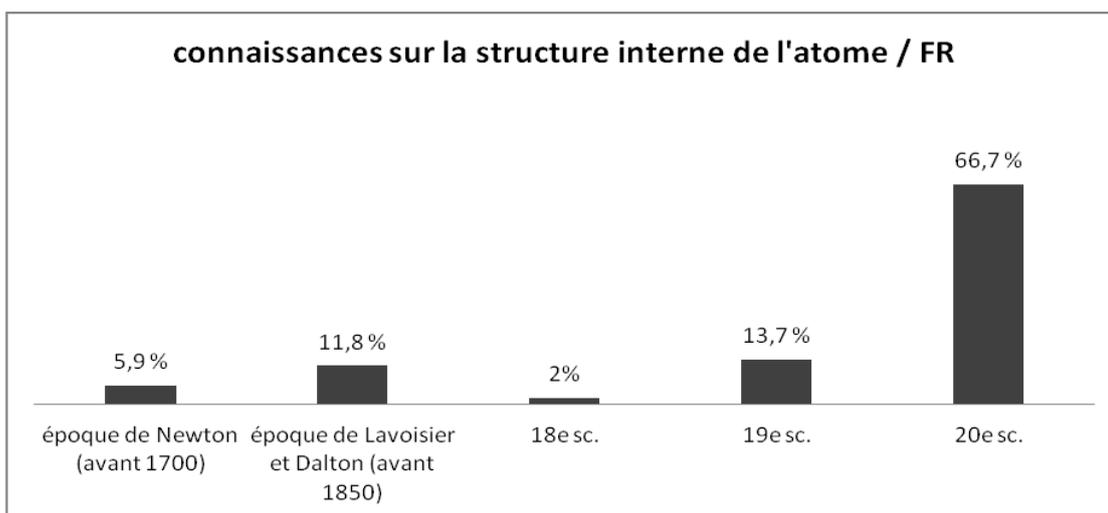


Graphe 12.6 : Les preuves expérimentales de l'existence d'atomes sont très peu dues aux travaux de Lavoisier et de Dalton, selon les FR

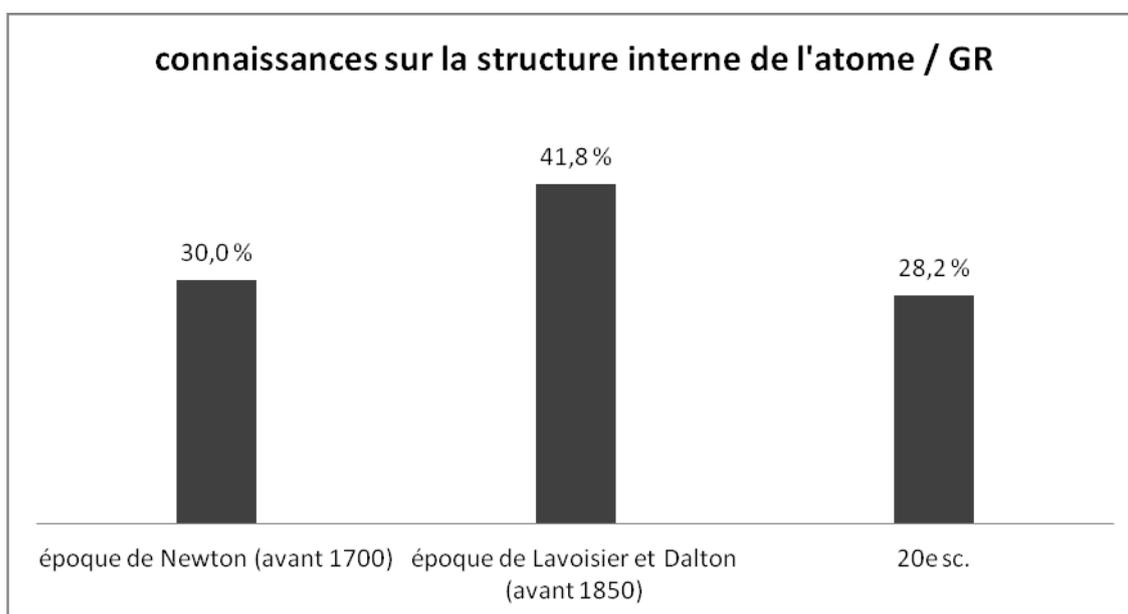


Graphe 12.7 : Les preuves expérimentales de l'existence d'atomes remontent à l'époque de Lavoisier et de Dalton, seulement pour le quart des GR

3. Les premières connaissances sur la structure interne de l'atome n'arrivent vraisemblablement pas avant le 20^e siècle, énoncent avec succès les deux tiers des lycéens FR (cf. graphe 12.8) ; en revanche, les trois quarts des GR y échouent (cf. graphe 12.9) :



Graphe 12.8 : Moment des connaissances produites sur la structure interne de l'atome

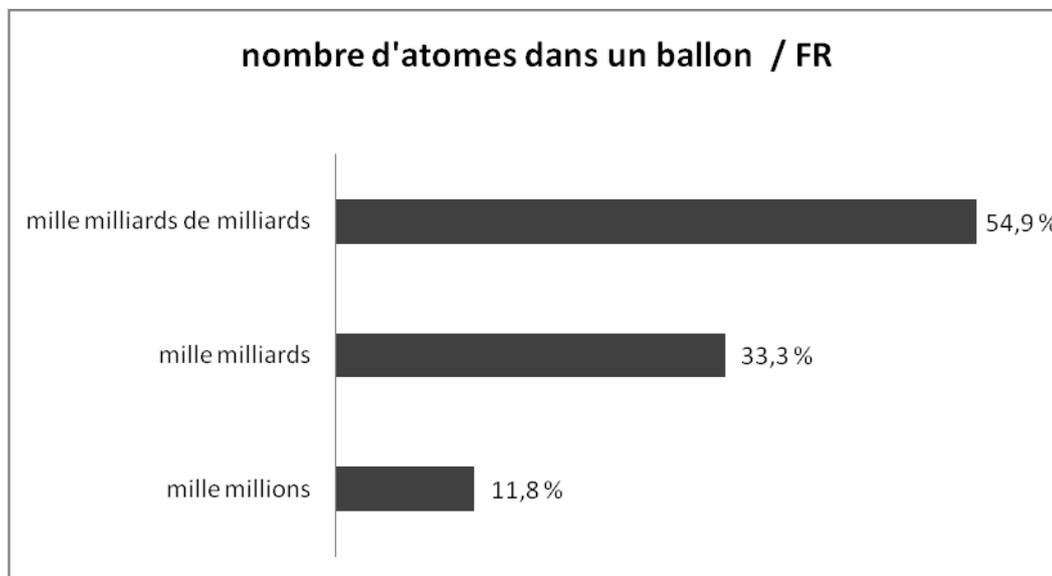


Graphe 12.9 : Moment des connaissances produites sur la structure interne de l'atome

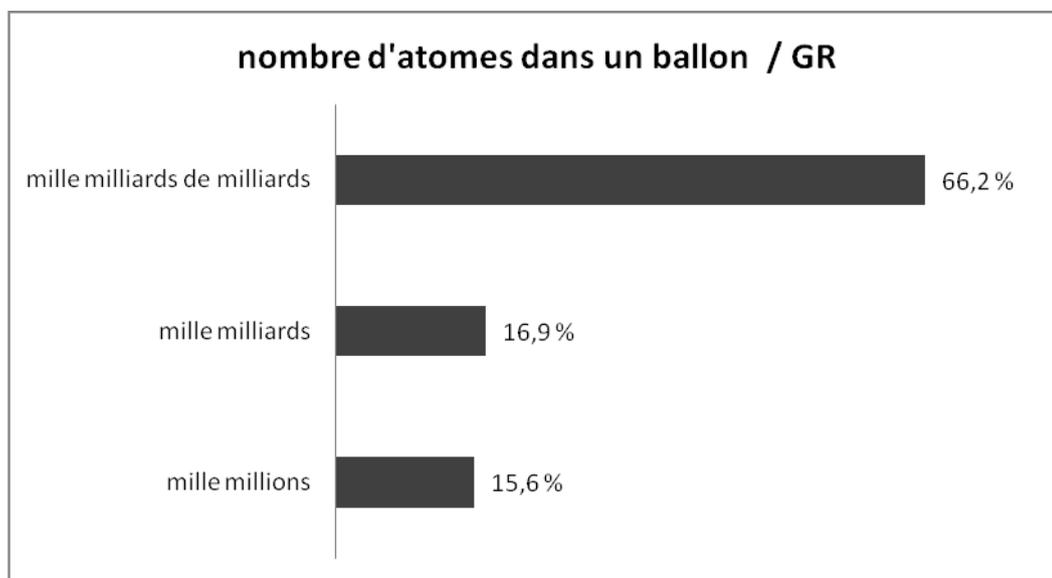
Vis-à-vis de la modalité « 20^e s. », les réponses par niveaux de classe fluctuent chez les GR de 26 % pour les élèves de 2^{de} à 40 % pour les TS, avec pour autant 45 % de ces derniers choisissant l'« époque de Lavoisier et Dalton ».

4. Le nombre d'atomes dans un ballon n'approche aucunement, pour 45 % des répondants FR, le nombre d'Avogadro $N_A \approx 10^{23}$, ce qu'illustre le graphe 12.10 ci-dessous.

Cependant, il ne faut pas perdre de vue que 61 % de l'échantillon français est construit par des élèves de 4^e, pas encore enseignés sur la constante d'Avogadro. Il en est de même pour les GR, qui se trouvent un peu moins nombreux autour de modalités non convenables (cf. graphe 12.11) :



Graphe 12.10 : Quantité d'atomes dans un ballon. Parmi les élèves de 2^{de} la modalité prégnante atteint 75%

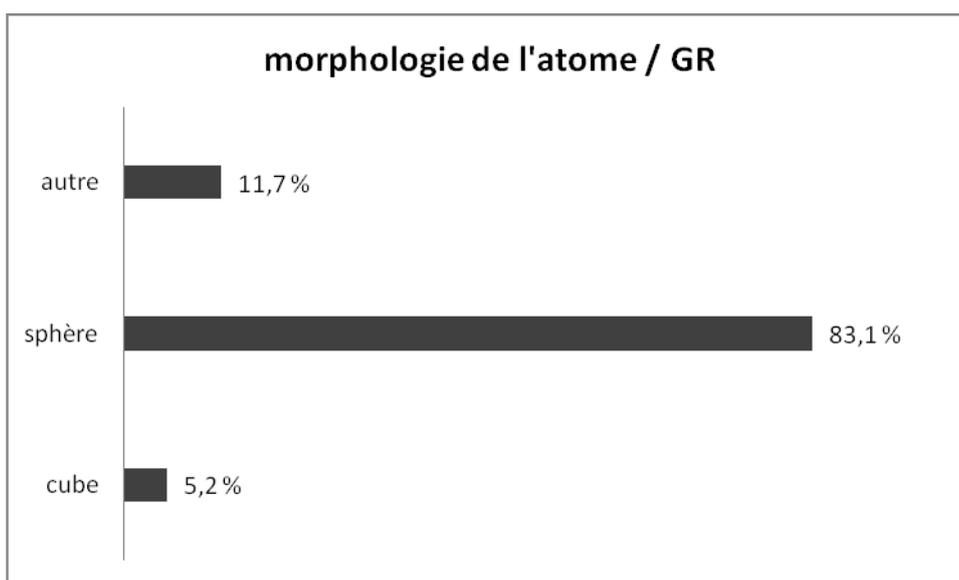


Graphe 12.11 : Quantité d'atomes dans un ballon. Parmi les élèves de 2^{de} la modalité prégnante atteint 70% et chez les TS, 75%

5. La forme type des atomes est rapprochée d'une sphère, pour presque la totalité des élèves, comme on le constate dans les graphes 12.12 et 12.13 :



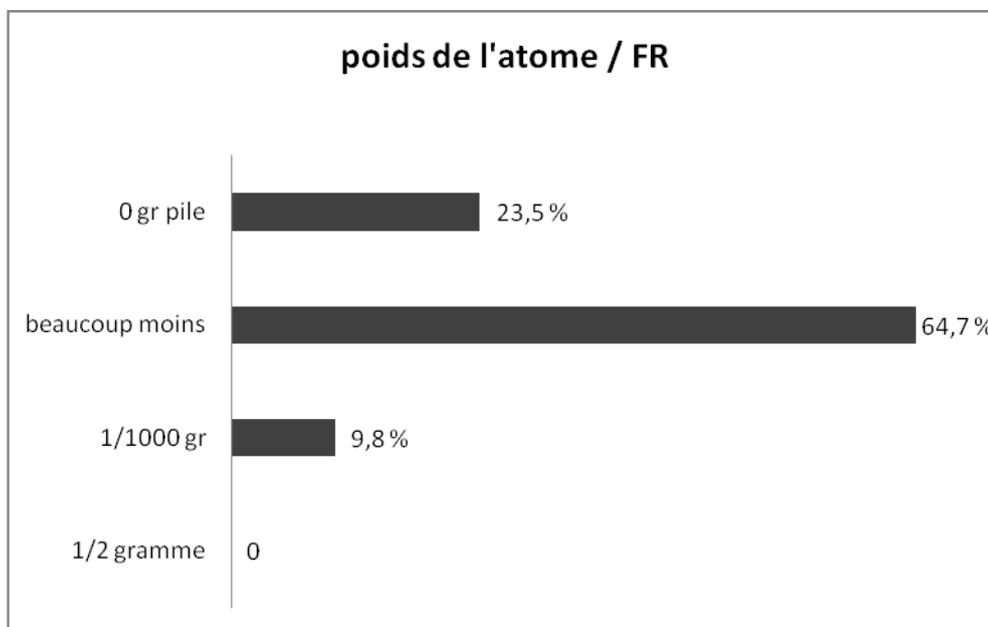
Graphe 12.12 : Unanimité absolue sur la forme sphérique des atomes



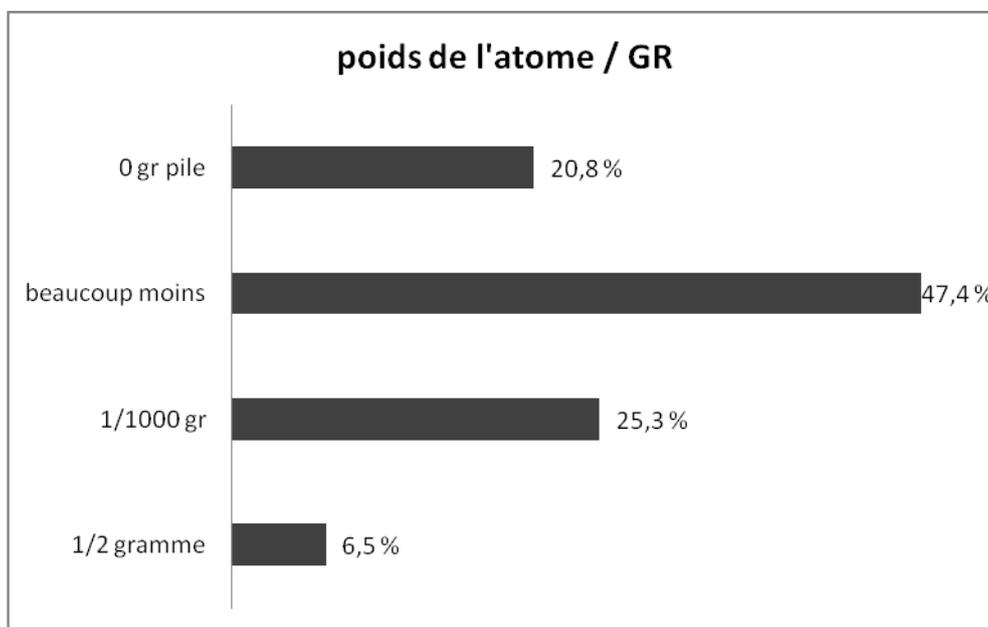
Graphe 12.13 : Unanimité considérable autour de la conception que les atomes sont sphériques

Un certain espoir que ces 11,7 % évoquant une « autre » forme puissent sous-entendre par là les différentes formes des orbitales, se dément très vite, puisque ce n'est qu'un seul élève de cette rubrique qui provient d'une terminale scientifique.

6. Le poids de l'atome est négligeable pour 65 % des FR et pour la moitié presque des GR. L'atome est considéré dépourvu du moindre poids pour le quart des premiers et le cinquième des seconds (cf. graphes 12.14^et 12.15) :



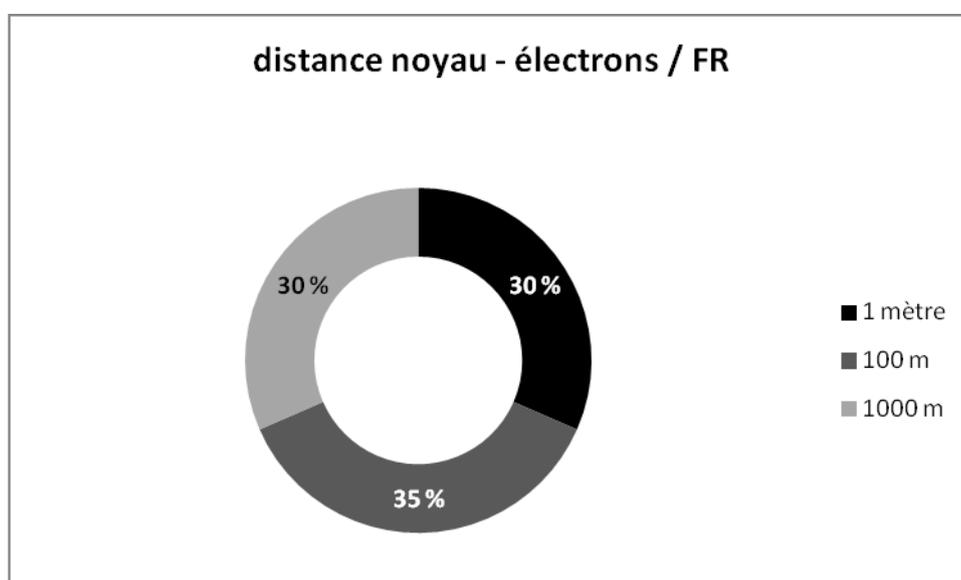
Graphe .12.14 : L'atome pèse presque 0 pour la plupart des FR



Graphe 12.15 : L'atome pèse très peu pour un élève sur deux

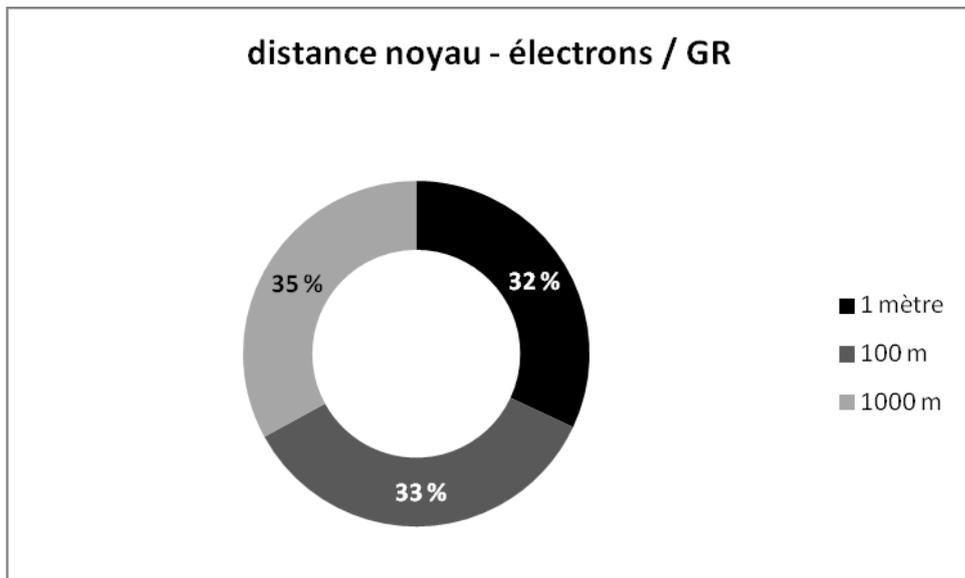
Par niveau scolaire, pour le 30 % des collégiens GR et autant pour les lycéens des classes de la 2^{de}, le poids de l'atome est aux environs du millième de gramme, modalité beaucoup moins parlante chez leurs camarades FR.

7. Les réponses obtenues à propos de la distance entre le noyau atomique et les électrons varient considérablement, ce qui nous laisse contester l'affermissement de la structure lacunaire, c'est-à-dire que l'atome est constitué essentiellement de « vide⁴⁶ », contrairement à cette formulation répandue. Les graphes 12.16 et 12.17 qui suivent révèlent un aspect trichotomique qui règne chez les lycéens FR et GR interrogés, cette question n'étant pas adressée aux collégiens :



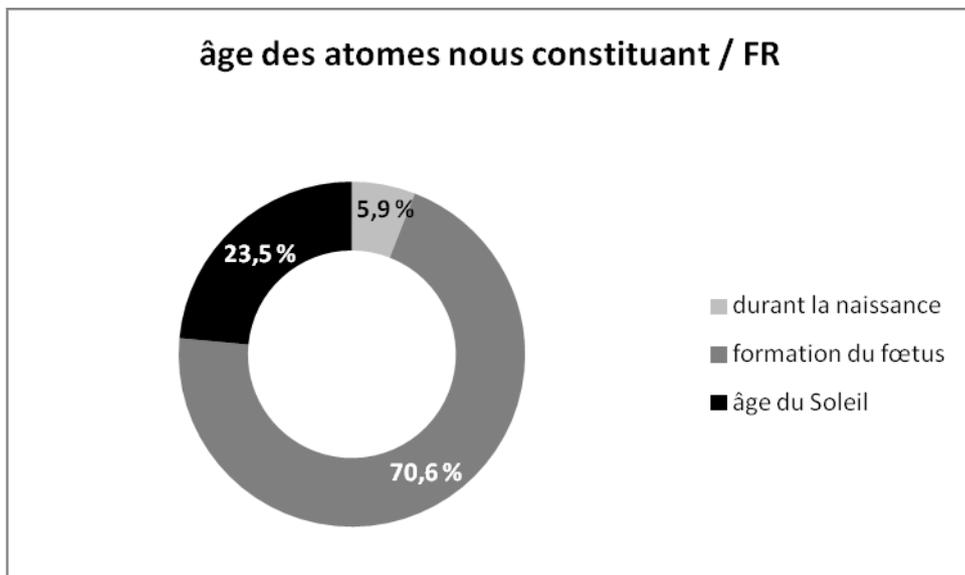
Graph 12.16 : La structure lacunaire reste une idée confuse, chez les FR. D'après l'analogie entre le noyau et la balle de tennis de table (cf. énoncé de la question 7, versions « seconde » et « terminale »), les électrons doivent être à une distance de 1000 m

⁴⁶ L'usage des guillemets signale la distinction entre le vide classique, banalisé (ce qui est rien), entendu ici, et le vide quantique qui n'est pas rien.

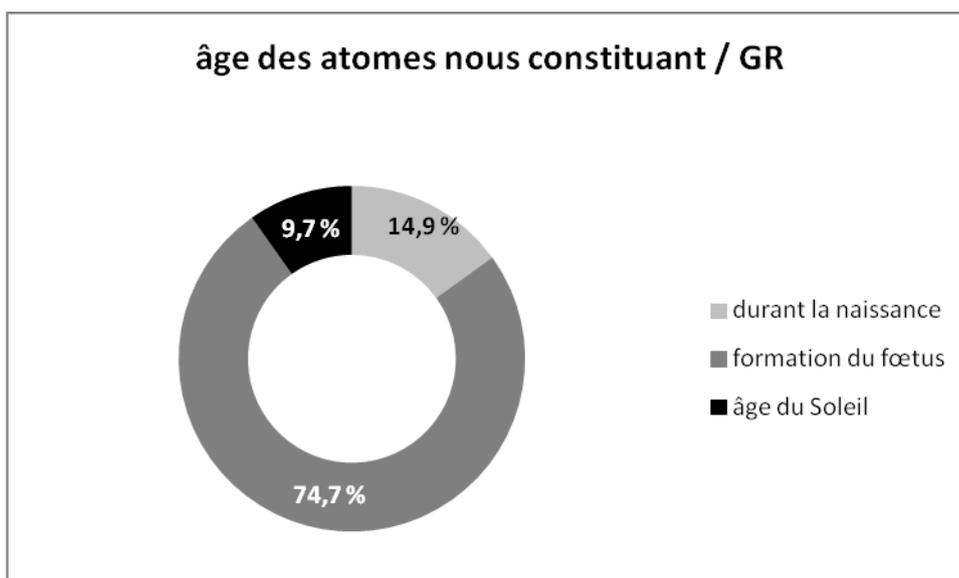


Graphe 12.17 : Par rapport à l'idée que l'atome est presque vide, les GR sont également partagés

8. Les atomes dont est fait notre corps sont le plus probablement formés pendant la phase de l'embryon, croient les FR qui rejoignent les GR, comme l'illustrent les deux graphes ci-dessous :

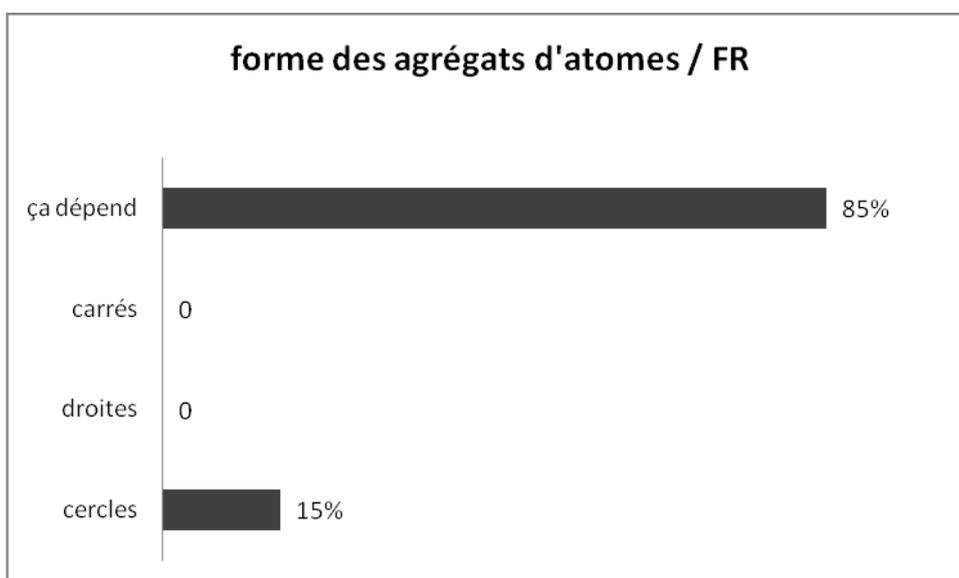


Graphe 12.18 : La conception que le Soleil est l'usine créant la matière à partir de son hydrogène s'avère être peu développée

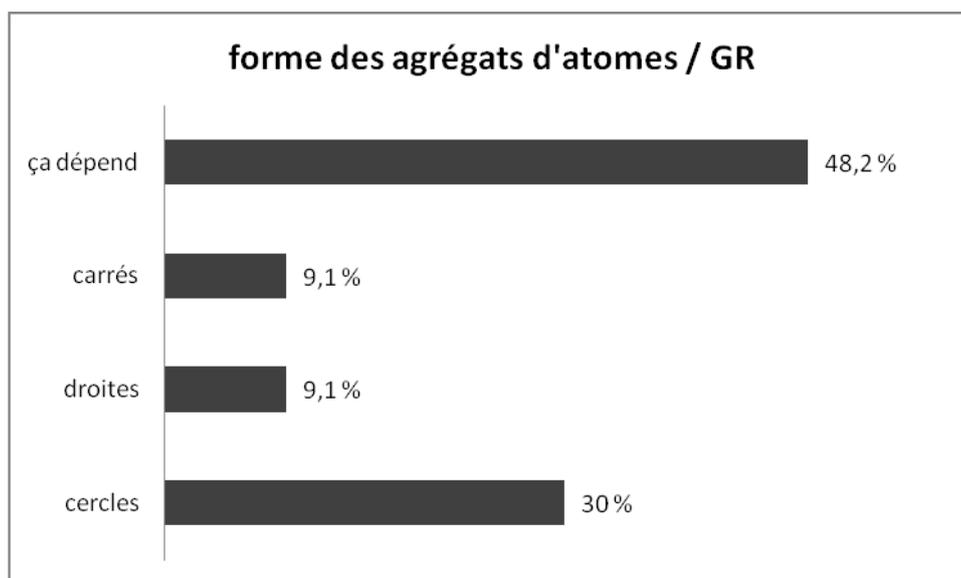


Graphe 12.19 : La conception que les atomes, créés au Soleil, se recyclent pour former des structures organiques est aussi peu développée

9. L'arrangement des atomes pour construire des molécules présente une diversité dans la forme que prennent ces associations, selon les lycéens invités à répondre à cette question (cf. graphes 12.20 et 12.21) :



Graphe 12.20 : Diversité dans les formes géométriques des assemblages d'atomes

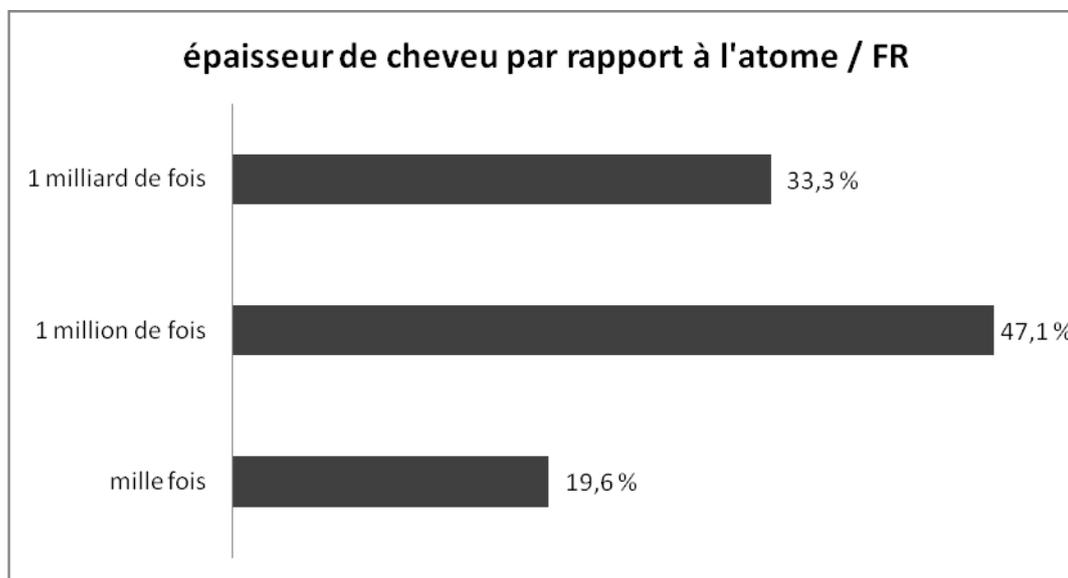


Graph 12.21 : Diversité dans les formes géométriques des assemblages d'atomes, selon la moitié des GR, un autre tiers pensant à un cercle

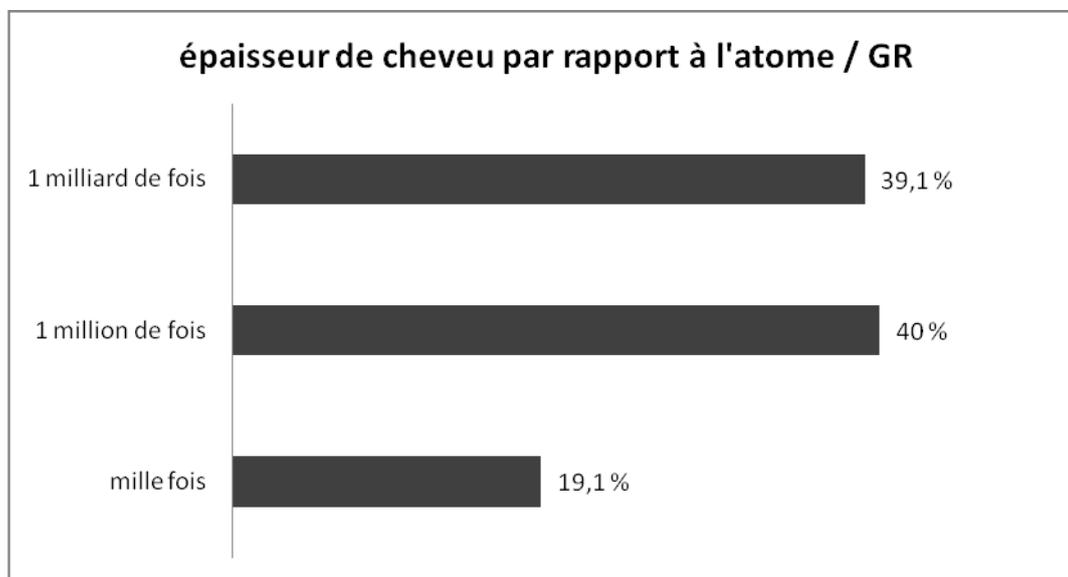
10. La mise en ordre de certaines entités microscopiques selon leur taille semble être une tâche assez problématique (voire cauchemardesque), puisqu'au moins la moitié des élèves échouent, à l'exception de ceux de terminale. Plus précisément, les taux de réussite absolue (aucune faute) correspondant aux FR varient en fonction du niveau scolaire et sont de 48 % pour les élèves de 4^e (ordonner seulement les objets : cellule ; tête d'épingle ; atome ; molécule), de 25 % en classes de 2^{de} et de 67 % en terminale. Encore une fois, le nombre faible des effectifs par strate rend la fiabilité de ces résultats très modérée. Pour ce qui concerne les GR, à peine le quart des collégiens et la moitié des élèves en TS réussissent totalement dans cet exercice, les autres perdent le fil entre les millimètres, micromètres, nanomètres, etc., impliqués. Nous concluons, suivant l'hypothèse 6 (cf. §9.3.4) qu'à l'origine de la confusion récurrente entre atome, molécule et cellule se trouve la difficulté des élèves à se représenter les limites entre l'inerte et l'organique à ces niveaux d'échelles.

11. La réponse convenable à cette question est que l'atome est en moyenne un million de fois moins épais qu'un cheveu, à savoir celle qui est majoritaire – même à la limite chez les GR – dans les graphes 12.22 et 12.23, ci-après. Certes, cette question à elle-seule, sans que le chercheur sache à quelles technique et technologie (au sens chevallardien) ont eu

recours les élèves – les collégiens se partagent entre les trois modalités, une augure peut-être de réponses aléatoires –, ne peut pas conduire à une conclusion nette sur l’acquisition ou non du savoir relatif à la dimension type de l’atome (10^{-10} m).



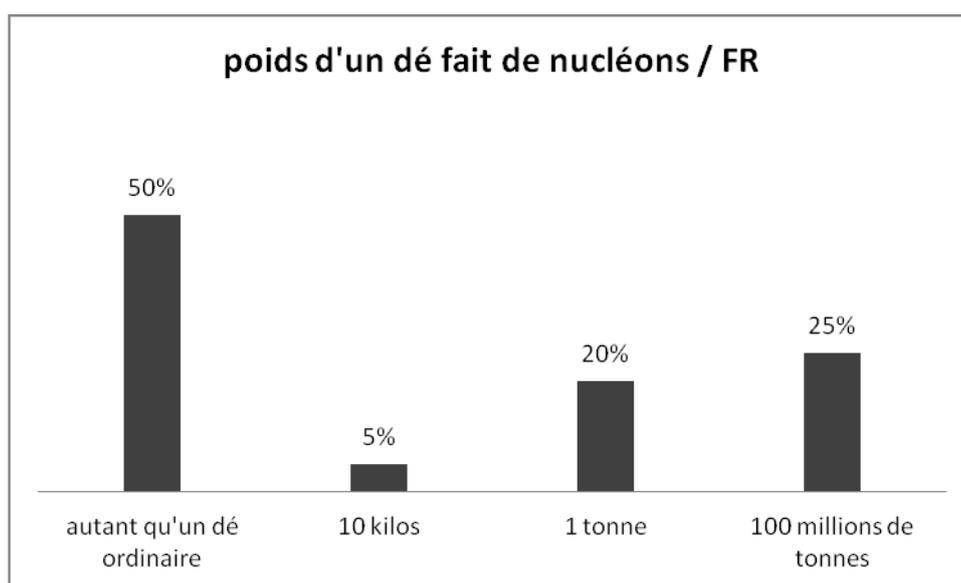
Graph 12.22 : Estimation du rapport « épaisseur d’un cheveu / atome »



Graph 12.23 : Estimation du rapport « épaisseur d’un cheveu / atome »

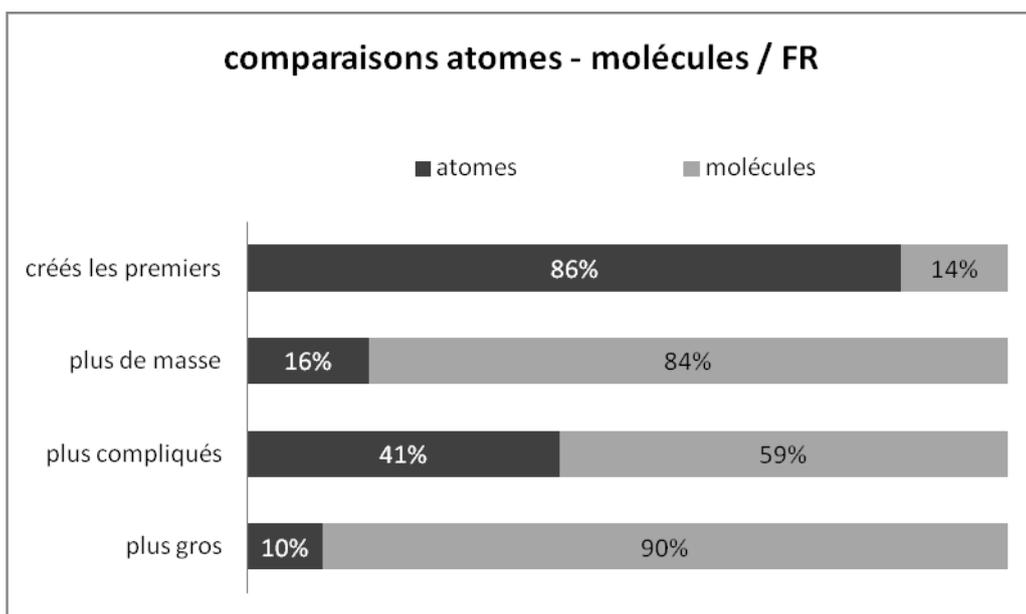
12. Un dé compact fabriqué à partir de noyaux atomiques, autrement dit, un cube de 1 cm^3 de volume, plein de protons et de neutrons empilés, pèserait autant qu’un dé

banalisé, confirme la moitié des lycéens, auxquels nous avons adressé cette question. En outre, quasiment l'autre moitié exprime toutefois un doute (cf. graphe 12.24). La construction du sens autour de la densité de la matière nucléaire (qui compose par exemple les étoiles à neutrons) demeure, pensons-nous, un objectif majeur étroitement lié à la conception de la structure lacunaire de l'atome et par extension de la matière dans l'enseignement de l'atome. Dans cet objectif, les manuels de physique-chimie français se réfèrent – contrairement aux manuels grecs – à cette analogie du dé « nucléaire ». C'est pour cela que nous avons essayé cette question uniquement chez les FR.



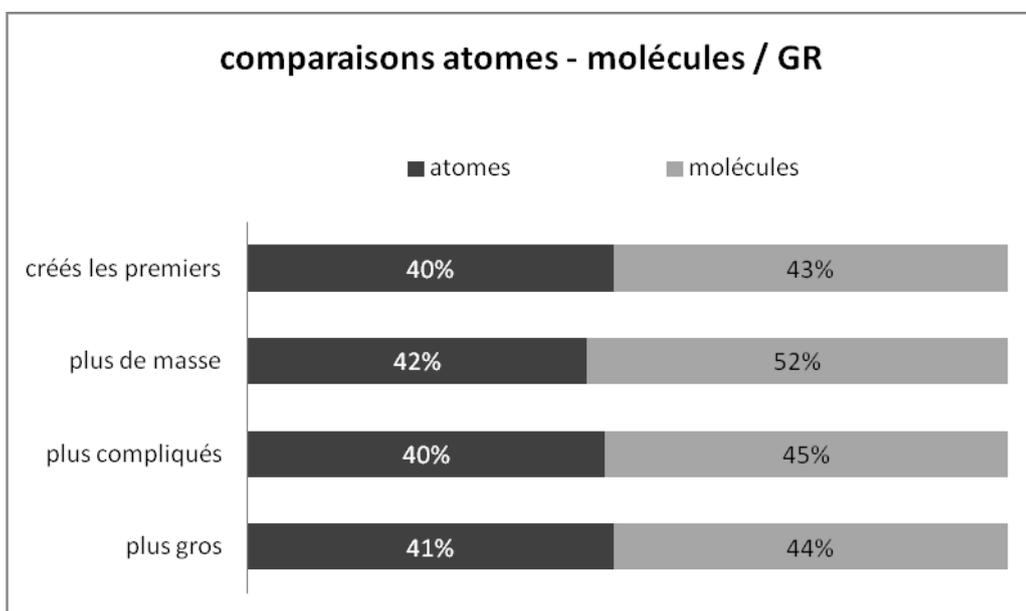
Graphe 12.24 : La densité de la matière nucléaire comparée à celle de la matière ordinaire

13. La comparaison entre les atomes et les molécules va dans un sens scientifiquement correct pour les FR, comme le présente le graphe 12.25 qui suit. Notons que les réponses des collégiens ont tendance à converger avec celles des lycéens :



Graphe 12.25 : Comparaisons à propos de certains critères. Pour quatre élèves sur dix, l'atome est plus compliqué que la molécule

En revanche, le graphe 12.26 qui visualise les réponses des GR nous permet de déceler une image en général dichotomique, à l'exception des élèves en TS, fort plus délibératifs dans leur choix qui coïncide avec ce qui est scientifiquement admis.



Graphe 12.26 : La comparaison à propos de ces critères conduit à la subdivision de l'échantillon grec

14. Les réponses affirmatives ou négatives dans les sous-questions de la dernière question du questionnaire présentent un intérêt, notamment de point de vue comparatif, en ce sens que plusieurs aspects de l'atome ont été questionnés auprès des deux groupes FR et GR. Les tableaux 12.5 et 12.6 donnent le pourcentage résultant de la fusion des modalités « oui » et « plutôt oui » sous la mention « OUI ». Il en est de même pour les « non » et « plutôt non », remplacés par « NON ». Quand la somme se trouve inférieure à 100 %, c'est parce que quelques élèves n'ont coché aucune case.

Tableau 12.5 : Questionnement d'opinion sur échelle de Likert, auprès des FR (N = 51).

Les sept questions signalées par un astérisque « * » ont été exclusivement posées aux lycéens (N = 20)

		NON (%)	OUI (%)
1	Éternels, impérissables les atomes ?	21,6	76,5
2	Actuellement, se créent-ils des atomes ?	33,3	66,7
3	Il en existe sur nous ?	13,7	86,3
4	* Y a-t-il des atomes artificiellement créés par les scientifiques ?	51	49
5	Les voit-on à l'aide du microscope optique ordinaire ?	86,3	13,7
6	Peut-on les photographier avec un appareil photo extra puissant ?	54,9	45,1
7	L'atome, est-il plein ?	35,3	62,7
8	Est-ce que les atomes, ça se mange ?	33,3	66,7
9	Est-ce que les atomes, ça s'aspire ?	10	90
10	Dans les laboratoires, les scientifiques peuvent-ils couper un atome avec une lame extrêmement fine ?	92,2	7,8
11	* Les atomes commencent-ils à apparaître avec la vie, sur Terre ?	60	40
12	L'atome a-t-il de la masse ?	15,7	82,4
13	* A-t-il de la charge électrique ?	35	65
14	Atome = molécule ?	86,3	13,7
15	Atome = cellule ?	78,4	21,6
16	Peut-on parler de prolifération de l'atome, à la manière de la cellule ?	60,8	35,3
17	L'atome relève-t-il du Vivant, c'est du Vivant ?	54,9	45,1
18	Avec la mort des cellules, les atomes les constituant se détruisent-ils ?	62,7	37,3

19	Le fait que le sucre, la farine ou le sable sont formés de petits grains, nous permet-il d'inférer l'existence d'atomes de sucre, de sable, etc. ?	66,7	33,3
20	Les atomes constituant le feuillage (verdure) sont-ils verts ?	86,3	13,7
21	Est-ce que l'énergie emmagasinée dans le noyau atomique est-elle dangereuse, nuisible ?	33,3	66,7
22	Les atomes, en général, restent-ils isolés (non assemblés) sur Terre ?	88,2	11,8
23	* Le fer solide devient gazeux à 2861°C ; ses atomes disparaissent-ils alors ?	100	0
24	* L'azote liquide est le gaz diazote N ₂ refroidi en -200°C. Est-ce que chacun de ses atomes est-il alors froid ?	50	45
25	* On parle des atomes d'hydrogène, d'oxygène, etc. Y-a-t-il plus de trente différentes espèces ?	0	100
26	Le cuivre par réchauffement se dilate ; en est-il autant pour chacun de ses atomes ?	54,9	43,1
27	Si on pouvait attraper un atome existant au cœur du soleil, serait-il très chaud, brûlant, comme des charbons ardents ?	51	49
28	* Lors de la transformation du sodium de l'état solide à l'état gazeux, ses atomes se convertissent-ils, changent-ils de structure ?	70	25
29	Lors du mélange des gaz, p.ex. He+Ne (pas de réaction), les atomes d'hélium, ou ceux du néon, se convertissent-ils, changent-ils de structure ?	58,8	37,3
30	En fait, l'atome est-il de la matière ?	37,3	62,7

De ces résultats on peut tirer de manière lapidaire les inférences suivantes :

- a) la hausse progressive des scores du « OUI » aux questions 15, 16 et 17 confirmant le symptôme de la confusion entre l'atome et les structures du vivant, que nous avons remarqué dans les dessins ;
- b) la propension des élèves à admettre que la description au niveau microscopique se déduit de l'observation macroscopique (ce qui est qualifié d'obstacle réaliste), en tenant compte les réponses aux questions 24^et 26 ;
- c) l'image dichotomique notamment à propos des questions 4, 6, 11, 17, 24, 26 et 27 ;
- d) l'atome est plein pour deux élèves sur trois (cf. question 7), tandis qu'un sur trois croit qu'il ne relève pas de la matière.

Suit le tableau 12.6 qui fournit les réponses des élèves grecs en pourcentage sur l'ensemble de l'échantillon concerné (*i.e.* tous, N = 154 ; lycéens, N = 110 ; élèves en TS, N = 20) :

Tableau 12.6 : Questionnement d'opinion sur échelle de Likert, auprès des GR. Un astérisque « * » avant une question signale qu'elle a été posée aux lycéens seulement. Les questions annoncées par « ** » ont été adressées uniquement aux élèves grecs en TS

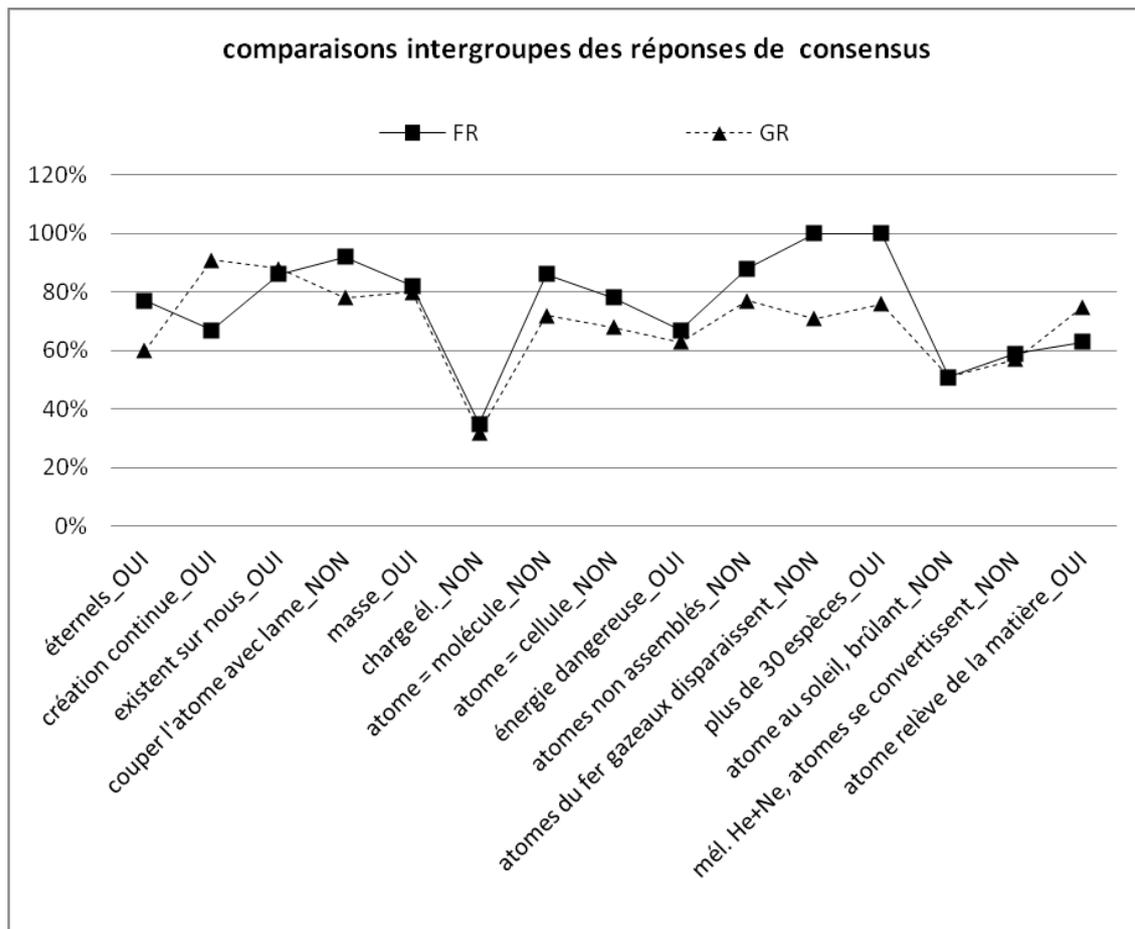
		NON (%)	OUI (%)
1	Éternels, impérissables les atomes ?	39,6	60,4
2	Actuellement, se créent-ils des atomes ?	9,1	90,9
3	Il en existe sur nous ?	11,7	87,7
4	Y a-t-il des atomes artificiellement créés par les scientifiques ?	33,8	64,3
5	Les voit-on à l'aide du microscope optique ordinaire ?	44,2	55,2
6	Peut-on les photographier avec un appareil photo extra puissant ?	37,7	61
7	L'atome, est-il plein ?	51,3	48,1
8	Est-ce que les atomes, ça se mange ?	81,2	18,2
9	Dans les laboratoires, les scientifiques peuvent-ils couper un atome avec une lame extrêmement fine ?	77,9	21,4
10	* Les atomes commencent-ils à apparaître avec la vie, sur Terre ?	21,8	72,3
11	L'atome a-t-il de la masse ?	20	80
12	* A-t-il de la charge électrique ?	31,8	46,8
13	Atome = molécule ?	72,1	27,3
14	Atome = cellule ?	67,5	29,9
15	Peut-on parler de prolifération de l'atome, à la manière de la cellule ?	43,5	53,9
16	L'atome relève-t-il du Vivant, c'est du Vivant ?	40,3	58,4
17	Avec la mort des cellules, les atomes les constituant se détruisent-ils ?	33,1	65,6
18	Le fait que le sucre, la farine ou le sable sont formés de petits grains, nous permet-il d'inférer l'existence d'atomes de sucre, de sable, etc. ?	44,2	53,9
19	Est-ce que l'énergie emmagasinée dans le noyau atomique est-elle dangereuse, nuisible ?	36,4	62,7
20	* Les atomes, en général, restent-ils isolés (non assemblés) sur Terre ?	77,3	22,7
21	* Le fer solide devient gazeux à 2861°C ; ses atomes disparaissent-ils alors ?	70,9	27,3
22	* On parle des atomes d'hydrogène, d'oxygène, etc. Y-a-t-il plus de trente différentes espèces ?	20	76,4
23	* Le cuivre par réchauffement se dilate ; en est-il autant pour chacun de ses atomes ?	37,3	56,4
24	Si on pouvait attraper un atome existant au cœur du soleil, serait-il très chaud, brûlant, comme des charbons ardents ?	51,3	48,1

25	* Lors de la transformation du sodium de l'état solide à l'état gazeux, ses atomes se convertissent-ils, changent-ils de structure ?	38,2	58,2
26	* Lors du mélange des gaz, p.ex. He+Ne (pas de réaction), les atomes d'hélium, ou ceux du néon, se convertissent-ils, changent-ils de structure ?	57,3	40,9
27	** Serait-il possible de localiser avec précision l'électron dans l'atome, à l'usage d'une technologie future de pointe ?	80	20
28	** Est-il probable que l'électron de l'atome d'hydrogène, en état fondamental, se trouve à une distance au noyau supérieure à celle correspondant au premier rayon de Bohr r_1 (première orbite) ?	55	45
29	En fait, l'atome est-il de la matière ?	25,5	74,5

Très rapidement, il résulte de ce tableau que :

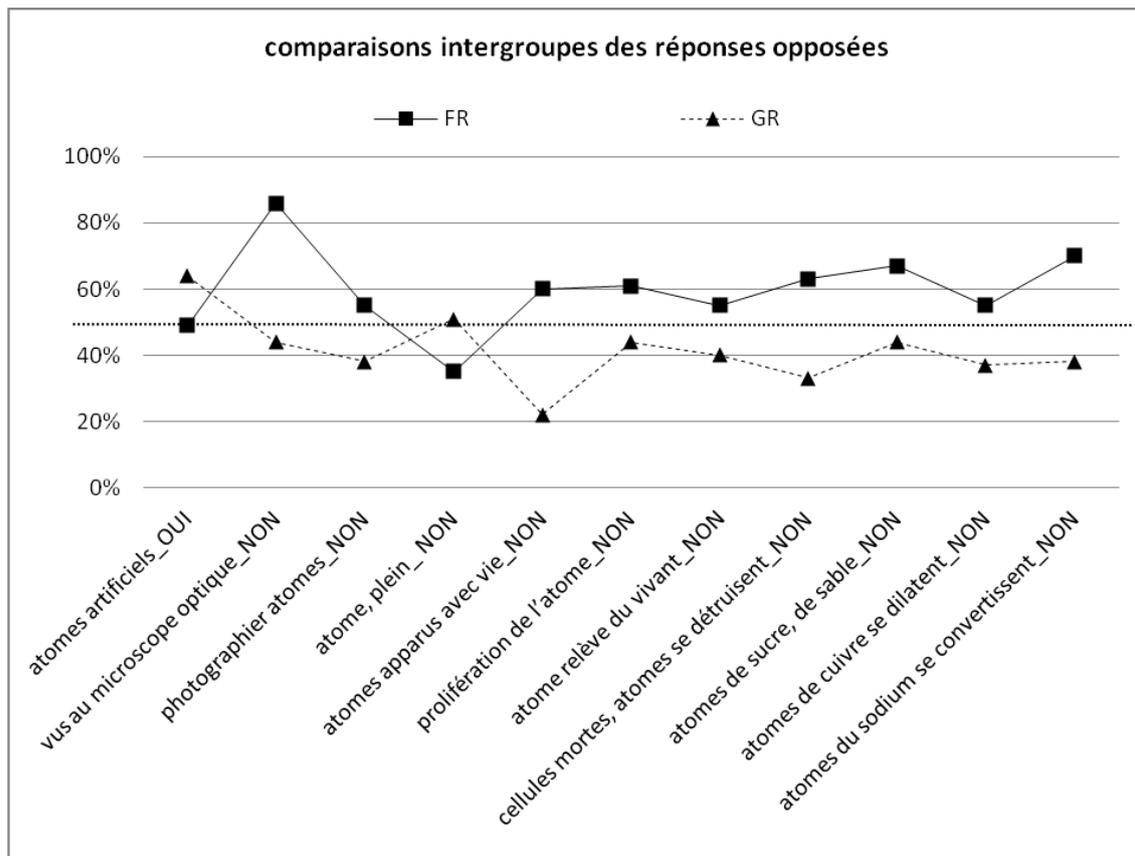
- comme dans le tableau 12.5, les scores du « OUI » aux questions 14, 15, 16 et 17 s'accroissent au fur et à mesure pour ainsi corroborer le constat de confusion entre l'inerte et le vivant à l'échelle microscopique ;
- des indices de l'obstacle réaliste (*i.e.* la description au niveau microscopique se déduit de l'observation macroscopique) peuvent être repérés dans les réponses aux questions 18, 23 et 24 ;
- à propos des questions 5, 7, 18, 24^et 28 les GR sont véritablement partagés, soit qu'il s'agisse des collégiens, soit qu'il s'agisse des lycéens ;
- l'atome est plein pour la moitié des élèves (cf. question 7), tandis qu'un sur quatre croit qu'il ne relève pas de la matière ;
- l'approche ondulatoire du nuage électronique reste obscure pour les élèves en TS.

D'un point de vue comparatif entre les deux groupes considérés, nous avons élaboré les graphes suivants qui montrent les scores correspondant à la réponse convenable, fournie en majuscules comme extension de l'énoncé paru dans l'axe horizontal. Le graphe 12.27 qui suit contient les résultats des questions où il y a consensus intergroupe (soit dans la réussite, soit dans l'échec) face à une question donnée. À titre illustratif, à la première question (si l'atome est éternel), les deux groupes réussissent et cela de manière unanime, car la majorité des sujets (77 % des FR et 60 % des GR) donnent la bonne réponse (à savoir, « OUI », cf. l'extension du premier énoncé raccourci dans l'axe des abscisses). Au contraire, à la sixième question ils échouent également, puisque seulement une minorité d'entre eux (35 % des FR et 32 % des GR) répondent « NON », et ainsi de suite.



Graph 12.27 : Comparaisons intergroupes vis-à-vis des réponses allant dans le consensus. Par « _OUI » et « _NON », nous indiquons la juste réponse appropriée à chaque question, pour favoriser la lecture du graphe

Passons maintenant aux questions de désaccord entre les FR et les GR. Ainsi, si la plupart des premiers répondent avec réussite à une question, la plupart des seconds y échouent, de sorte que les marqueurs indiquant les scores de la bonne réponse se situent toujours en deçà et delà de la droite en pointillés tracée au milieu de la zone du graphe et correspondant au niveau de 50 % (cf. graphe 12.28). Encore une fois, la réponse convenable, par exemple à la première question, est « OUI », mention à laquelle adhèrent 64 % des GR contre 49 % des FR, comme on peut le lire dans le graphique :



Graph 12.28 : Comparaisons intergroupes vis-à-vis des réponses allant dans le désaccord. Pour des raisons de lecture de ce graphe, les mentions « _OUI » et « _NON » fournissent la bonne réponse

Globalement, la radiographie des conceptions des élèves que la pré-enquête a pu dévoiler a trait à l'image daltonienne persistante de l'atome, à la confusion inerte / vivant quand il s'agit d'entités du micromonde et à l'intuition d'attribuer aux atomes les propriétés macroscopiques de la matière (température, couleur, états physiques de la matière, etc.). Autres caractéristiques erronées, l'atome est chargé électriquement, il date sur la Terre depuis l'apparition de la vie, et même il date pour nous de la phase du fœtus. Enfin, la conception de sa structure interne remonte parfois à l'époque de Newton, personnalité emblématique en sciences dont la renommée irrésistible semble provoquer un obstacle aux élèves dans la frise historique des théories et découvertes scientifiques.

CHAPITRE 13 : LA REPRÉSENTATION SOCIALE DE L'ATOME – ÉCHANTILLON GÉNÉRAL

Après avoir exposé les résultats de la pré-enquête, passons maintenant à l'exploitation des données recueillies lors de la phase de l'enquête principale. Dans notre démarche, nous avançons question par question, en parcourant tour à tour les versions différentes du questionnaire sur les représentations, destiné aux 616 élèves qui composent notre échantillon général. Si nécessaire, des informations spécifiques (notamment de nature méthodologique) seront précédées des tableaux, graphes, etc.

13.1 Question 1

À l'aide du logiciel EVOC nous avons traité les données fournies par la totalité de l'échantillon (*i.e.* 616 élèves). Au préalable, nous nous sommes centrés sur les six groupes selon lesquels se décompose l'échantillon, issus des différenciations bâties à partir de l'origine et du niveau de classe, afin d'examiner si les divergences éventuellement repérées permettent ou non une mise en commun de toutes les données prélevées auprès des deux sous-ensembles, grec et français, puis sur une proposition graphique du corpus intégral de mots, produit par le motif de cette première question d'évocation.

13.1.1 Grecs des classes de 4^e (N = 104)

Les collégiens grecs ont au total fourni 138 induits différents en 423 occurrences, ce qui signifie que chacun d'eux a produit en moyenne 4,1 mots⁴⁷ (423 : 104). Nous décrivons brièvement la procédure de traitement de ce corpus et les différents programmes exécutés qu'offre l'architecture d'EVOC. Les mêmes étapes ont été suivies pour tous les sous-groupes. À noter d'abord que le mot préalablement utilisé, « induit », a un double sens : il peut désigner aussi bien un seul mot qu'une courte expression. Par exemple, imaginons que l'élève lambda cite, à propos de l'atome, les quatre induits suivants : « invisible » ; « c'est de partout » ; « CO₂ » ; « E = mc² ». Pour que le logiciel comptabilise le deuxième induit comme un seul syntagme (une unité sémantique), il faut accoler les

⁴⁷ Le « mot » est ici synonyme d'« induit », donc non pas appréhendé de manière grammaticale rigoureuse.

mots comme suit : « c'est-de-partout ». Pour la même raison, le « CO₂ » devient « CO-deux » et le dernier « E-égale-m-c-au-carré ». Une fois ce travail terminé, on exécute le programme [NETTOIE], qui vise à éliminer les fautes d'orthographe, les erreurs de frappe, les mots mal définis ou même l'usage simultané du singulier et du pluriel. Si par exemple nous estimons que la marque singulier / pluriel dans les cas des induits « bille » et « billes » n'est pas significative pour notre problématique, nous adoptons partout une écriture au singulier. Certes, cette étape ne consiste aucunement à réduire les synonymies ou à classer les mots à la suite de critères, telles que leur racine, leur sens, etc. Ensuite, nous exécutons le programme [RANGMOT] effectuant une analyse lexicographique en termes de fréquences de citation des induits et des rangs d'apparition. En sortie, il donne un listing de la distribution des rangs pour tous les induits, la fréquence seuil étant la valeur par défaut, en l'occurrence, cinq. Pour établir le tableau de croisement du rang et de la fréquence des induits et identifier ainsi les syntagmes les plus centraux de la représentation étudiée, nous passons au programme [RANGFRQ] où on définit les critères de seuil comme suit : fréquence minimale = 5, il s'agit du score minimal de citations obtenu par un induit pour que ceci soit pris en compte ; fréquence intermédiaire ou critique = 10 ; rang moyen = 2,5, valeur se situant bien avant la moyenne théorique (qui est de 3) sur l'intervalle des entiers naturels [1 ; 5] pour cet indicateur. Nous obtenons donc une séparation des induits en quatre quadrants de la manière illustrée par le tableau 13.1 ci-après : le quadrant en haut à gauche comprend les induits à la fois très fréquents et cités dans les premiers rangs ; les quadrants en haut à droite et en bas à gauche contiennent des induits pour lesquels il y a contradiction entre les critères du rang et de la fréquence ; enfin, le quadrant en bas et à droite est constitué des induits plus périphériques :

Tableau 13.1 : Répartition du corpus GR_4^e en induits centraux et périphériques. Dans les cases, la première colonne de chiffres donne la fréquence absolue et la seconde le rang moyen par item

Fréquence ≥ 10 et Rang Moyen $\leq 2,5$			Fréquence ≥ 10 et Rang Moyen $> 2,5$		
chimie	18	2,500	composé	12	2,833
molécule	48	2,250	neutron	21	3,476
noyau	31	2,097	proton	31	2,806
			électron	29	3,207
			élément chimique	13	2,615
Fréquence < 10 et Rang Moyen $\leq 2,5$			Fréquence < 10 et Rang Moyen $> 2,5$		
Einstein	6	2,333	oxygène	7	2,571
corpuscule	9	2,333	cellule	6	2,667
numéro atomique	7	2,286	hydrogène	5	2,600
science	7	2,286	ion	5	3,000
			microorganisme	6	3,167
			physique	5	2,800

Il résulte de ce tableau que les items « molécule » et « noyau atomique » figurent dans la case du noyau central. Cependant, il ne faut pas conclure de façon trop rapide que pour les répondants, atome et molécule constituent des synonymes. En revanche, les composantes de l'atome (proton, neutron, électron) se situent en périphérie proche. Nous repérons pour l'instant l'indice d'un effet de confusion entre les concepts d'atome et de molécule, chez les collégiens grecs. Son degré de généralité reste à explorer auprès des autres groupes.

Suit l'étape de catégorisation des induits récoltés, réalisée moyennant le programme [CATEVOC]. Ce programme permet de les regrouper sémantiquement autour de quelques notions prototypiques, conçues sur des critères plutôt subjectifs du chercheur, spécifiques de la problématique de recherche, relatifs à la nature de l'objet, aux caractéristiques du terrain d'investigation, etc. Pour une aide à cette phase délicate et nodale quant à la discussion des résultats, les concepteurs du logiciel EVOC ont élaboré le programme [AIDECAT] qui identifie les induits le plus souvent cités par les sujets, et qui peuvent constituer à eux seuls des notions prototypiques. Ainsi, dans notre liste des dix-sept notions prototypiques, certains labels – molécule, noyau, électron, proton, neutron, ion – proviennent directement de ce traitement. Autrement dit, ces appellations ou étiquettes constituent à elles seules des catégories spontanées issues de ce programme. Nous nous attachons en ce point à circonscrire les notions prototypiques éponymes des catégories considérées, tout au long de notre approche et à justifier leur pertinence, sans prétendre

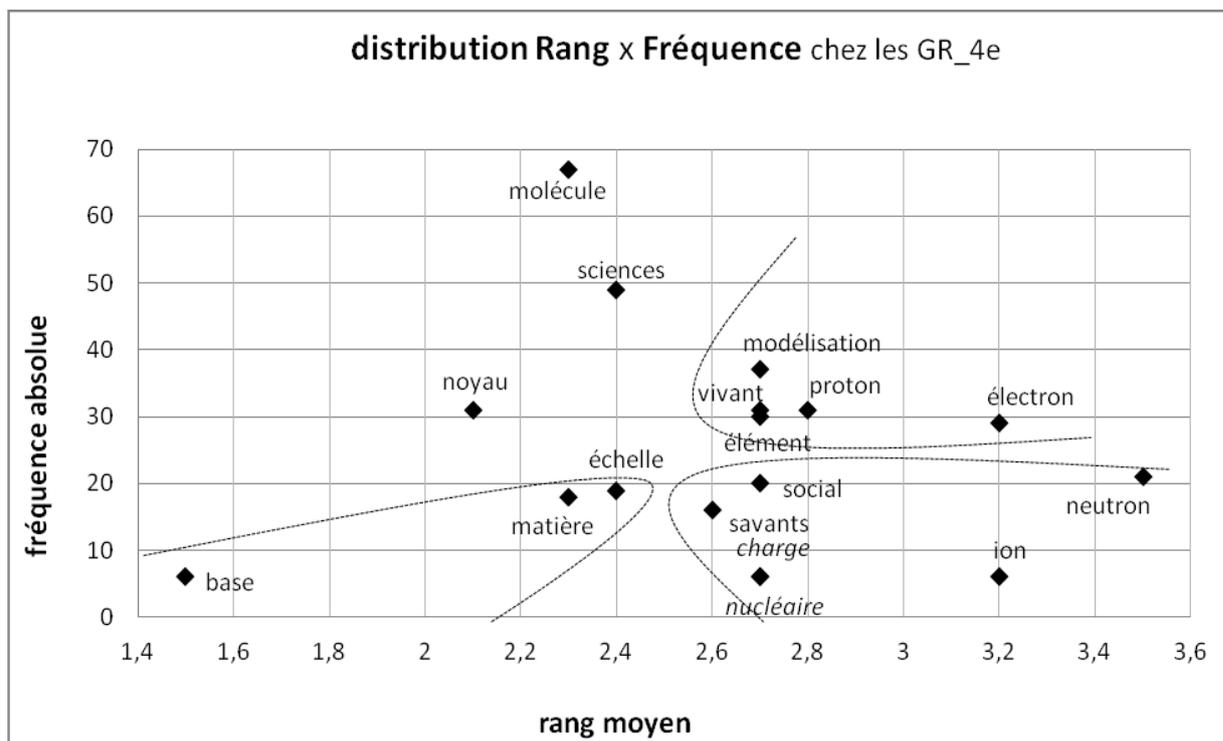
toutefois à l'exhaustivité, d'autres classifications étant, le cas échéant, également possibles.

Plus précisément :

1. « molécule » : ce même induit avec « composé », ainsi que les formules chimiques (« CO₂ », « H₂O », etc.) constituent la première catégorie ;
2. « électron » : sont principalement inclus dans cette catégorie les induits éponymes et ceux sémantiquement proches, par exemple « positron » ;
3. « proton » : catégorie comprenant le même mot ;
4. « neutron » : de même ;
5. « noyau » : de même ;
6. « ion » : il en est de même avec, de plus, les variations « anion », « cation », « ionisé », etc. ;
7. « élément » : catégorie qui contient ce mot avec ses synonymes, ainsi que tout induit précisant une espèce chimique, telle « hydrogène », « azote », etc. ;
8. « matière » : sont classées toutes les citations qui ont trait à des essences (verbalement écrites et non pas par des symboles de chimie) et à des entités matérielles, comme « air », « eau », « planète », « particule », etc. Cependant, lorsque ce dernier mot est précédé d'un adjectif, celui-ci va déterminer le classement approprié, comme c'est le cas de l'induit « particules élémentaires », englobé dans la catégorie suivante ;
9. « base » : catégorie concrétisant l'ancienne idée de discontinuité de la matière, c'est-à-dire que l'atome est censé être le fondement, la pierre angulaire de toute chose. Exemples d'induits : « brique ultime », « unité structurale de la matière », « constituant des molécules », etc. ;
10. « échelle » : toute référence explicite à l'échelle microscopique y est contenue, comme « tout petit », « infinitésimal », « 10⁻¹⁵ m », etc. ;
11. « charge » : cette notion prototypique regroupe les induits éponymes suivis parfois des adjectifs « positive », « négative », « neutre » ou « électronique » ;
12. « nucléaire » : tout vocable relatif à cette question du nucléaire y est placée. À titre indicatif : « bombe atomique », « énergie nucléaire », « Hiroshima », « fusion », etc. ;
13. « modélisation » : dans cette catégorie sont regroupés des induits dont le sens sert à assimiler et à modéliser l'atome et les phénomènes autour de lui, comme « boulette blanche », « modèle planétaire », « couche », « quark », « numéro atomique », « réaction chimique », « désagrégation d'atome », etc. Des propriétés de l'atome,

- ainsi que des grandeurs physiques telles que « particule insécable », « universel », « impérissable », « force de Coulomb », « vitesse », etc. s’y trouvent également ;
14. « sciences » : les diverses branches et spécialisations de la science, entremêlées avec les lieux et les démarches scientifiques nous ont parus propices pour former une catégorie distincte, avec « chimie », « SVT », « sélection naturelle », « laboratoire », « expérience », etc. ;
 15. « savants » : les noms des savants et scientifiques expressément cités par les élèves composent cette rubrique. À titre d’exemple, nous en relatons trois : « Démocrite », « Dalton », « Marie Curie », etc. ;
 16. « vivant » : plusieurs citations relevant du monde des êtres vivants (« ADN », « cellule », « amibe », etc.) ont nécessité l’introduction de cette catégorie ;
 17. « social » : tout renvoi propre à la connotation sociétale du mot atome en grec, tel que « individuel », « personnalité », « droits de l’homme », etc., appartient à cette catégorie spécifique. Y sont aussi inclus les induits « autonomie » et « être humain » issus du corpus français.

S’appuyant, par la suite, sur le programme [STATCAT] qui donne le nombre d’induits par catégorie (en chiffre et en %), le nombre d’occurrences et le nombre d’évocation des induits les plus fréquents, on dispose d’un indicateur de la qualité de telle catégorie : est-elle construite avec peu de mots de forte fréquence ou avec beaucoup de mots de faible fréquence ? Enfin, nous exécutons le programme [DISCAT] qui calcule la statistique des rangs pour chaque catégorie. Ceci permet de revenir sur le tableau « Rang x Fréquence » dans l’objectif de comparer le placement, sur le repère rang - fréquence, des catégories et des induits à partir des coordonnées obtenues. Dans le cas présent, l’entrecroisement des fréquences avec les rangs moyens calculés pour ces notions prototypiques fournit la distribution du graphe 13.1 :



Graph 13.1 : Distribution rang x fréquence. Les items en italique « charge » et « nucléaire » obtiennent les mêmes coordonnées et donc coïncident au même point du repère

Les quatre espaces selon lesquels est divisé le graphe correspondent aux quatre cases du tableau 10.2, puisque définis en termes de fréquence (élevée / faible) et de rang moyen (faible / fort). En haut à gauche, nous retrouvons les items du premier quadrant dans le tableau 13.1. Il en est de même avec les constituants de l'atome, le neutron étant à la limite entre les deux zones. À remarquer que cette sorte de comparaisons a une signification si la catégorie concernée contient peu de mots, comme la « science ». Au contraire, la « modélisation » concentre un grand nombre de mots disparates ; donc le rapprochement de son champ sémantique (assez dispersé) avec un seul induit primaire est impossible. De cette juxtaposition, nous concluons un certain ajustement dans les zones du noyau et de la périphérie proche de la représentation, chez les collégiens grecs.

13.1.2 Français des classes de 4^e (N = 102)

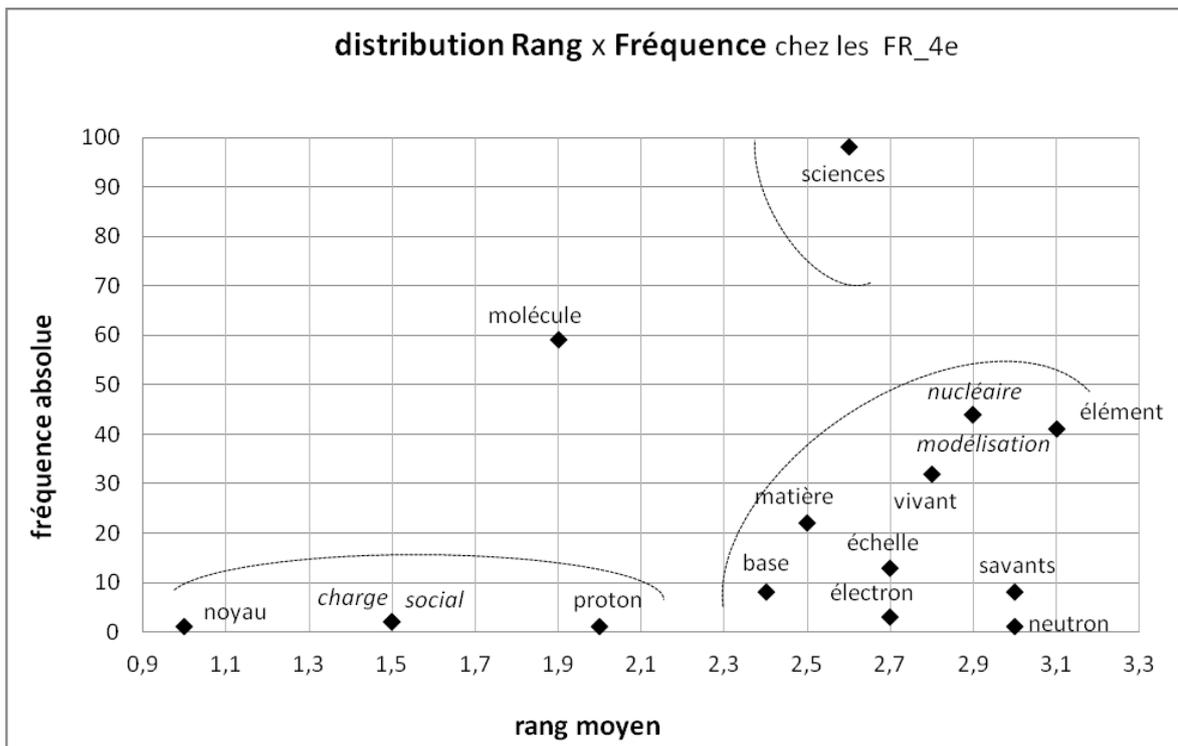
Ce groupe des français a produit un corpus de 141 mots différents en 379 occurrences, à savoir 3,7 mots en moyenne. La structure à quatre quadrants de ce corpus,

comme la donne le logiciel, est illustrée dans le tableau 13.2, ci-dessous où nous avons conservé les mêmes critères dans le seuil de la fréquence et du rang pour des raisons de comparabilité avec le groupe précédent :

Tableau 13.2 : Répartition du corpus FR_4^e en induits centraux et périphériques. Dans les cases, la première colonne des chiffres donne la fréquence absolue et la seconde le rang moyen par item

Fréquence ≥ 10 et Rang Moyen $\leq 2,5$			Fréquence ≥ 10 et Rang Moyen $> 2,5$		
atomique	10	2,200	carbone	14	3,286
molécule	41	1,415	chimie	18	2,778
nucléaire	11	2,273	physique	10	2,800
science	22	2,273			
Fréquence < 10 et Rang Moyen $\leq 2,5$			Fréquence < 10 et Rang Moyen $> 2,5$		
			cellule	6	2,563
			CO ₂	7	3,571
bombe atomique	6	2,000	Einstein	6	3,500
microscopique	6	2,000	dioxygène	7	2,571
particule	5	2,400	expérience	7	3,000
produit	5	2,200	hydrogène	9	3,222
			masse	5	3,400
			oxygène	8	3,375
			scientifique	5	3,800

Là encore, la molécule se place dans la zone centrale, avec l'item science, à la place de la chimie (cf. tableau 13.1). Bien que le « nucléaire » relève du « noyau » de l'atome (item rencontré dans la première case du tableau 13.1), nous supposons que les élèves entendent plutôt la puissance nucléaire que la constitution atomique. D'ailleurs, le terme associé, « bombe atomique », s'avère être sémantiquement très important, obtenant un rang faible remarquable. Soulignons, enfin, l'absence de références aux corpuscules subatomiques (non enseignés à ce niveau scolaire) et, dans la case 4, l'apparition du mot « cellule » et d'éléments chimiques parmi les plus connus, comme nous l'observons dans le tableau 13.1. Quant à la statistique des rangs par catégorie, nous la présentons par le graphe 13.2, comme suit :



Graphe 13.2 : Distribution rang x fréquence. Les items en italique autour du même point ont les mêmes coordonnées. La catégorie « ion » a un effectif nul

En termes de structure propre aux quatre quadrants (cf. tableau 10.2 pour la comparaison), seuls les labels molécule et sciences occupent des positions équivalentes dans les cases du noyau et de la périphérie proche. En outre, le bloc situé en bas à gauche est à négliger (fréquences quasi-nulles), tandis que celui de la périphérie lointaine (en bas à droite) se trouve à proximité de la périphérie proche par le truchement des deux termes, « nucléaire » et « modélisation ». Autrement dit, ces catégories se voient osciller entre ces deux zones.

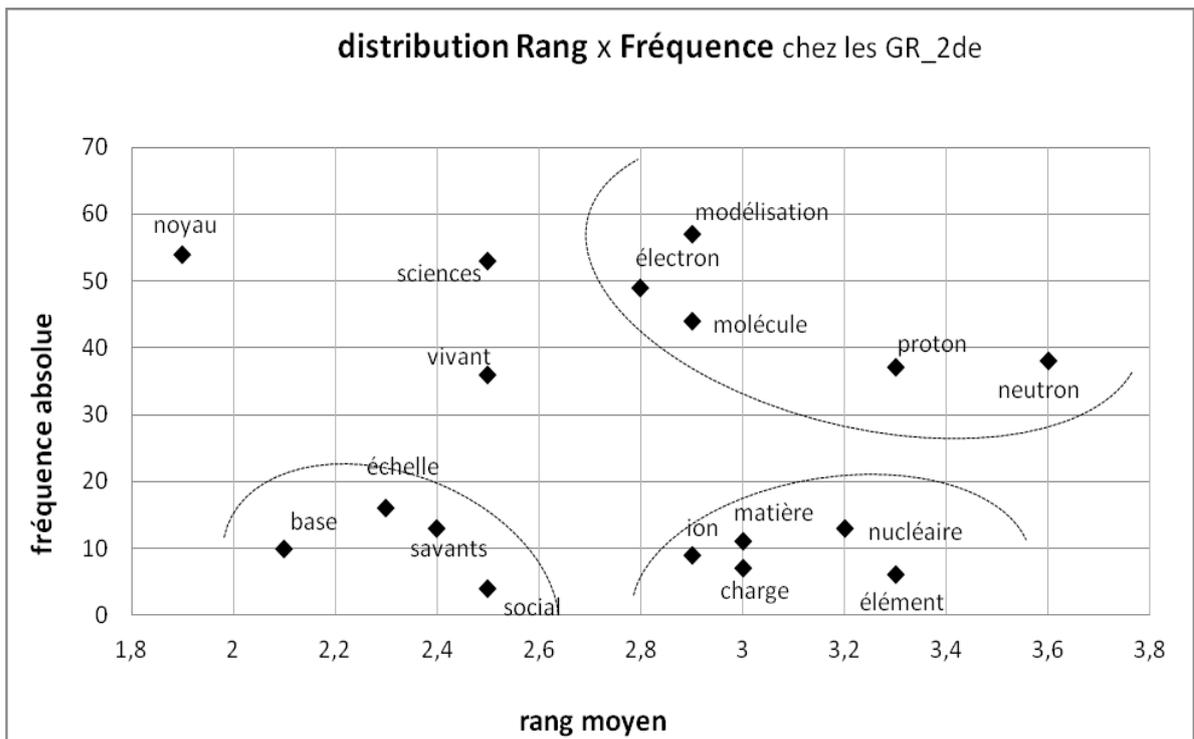
13.1.3 Grecs des classes de 2^{de} (N = 104)

Le nombre des induits différents produits par ce groupe est de 126 cités en 457 reprises, soit 4,4 mots en moyenne. En termes de fréquence et de rang, ces mots ont été répartis comme suit :

Tableau 13.3 : Répartition du corpus GR_2^{de} en induits centraux et périphériques. Dans les cases, la première colonne donne la fréquence absolue et la seconde le rang moyen par item

Fréquence ≥ 10 et Rang Moyen $\leq 2,5$			Fréquence ≥ 10 et Rang Moyen $> 2,5$		
cellule	12	2,417	molécule	36	3,000
chimie	24	2,125	neutron	38	3,632
noyau	52	1,865	physique	11	2,727
			proton	37	3,324
			électron	48	2,792
Fréquence < 10 et Rang Moyen $\leq 2,5$			Fréquence < 10 et Rang Moyen $> 2,5$		
atomicité	5	1,600	bombe atomique	8	3,250
science	5	1,600	charge électrique	5	3,200
désagrégation d'atome	6	2,500	composé	6	2,833
			couches	6	3,167
			ion	7	2,857
			nature	6	4,167
			organisme	5	3,200
			particule	6	3,333

La position du « noyau » dans la zone du noyau central de la représentation et, ceci avec un rang moyen systématiquement petit et, par ailleurs, les composants de l'atome en périphérie proche, constituent deux remarques qui persistent à la suite de la comparaison des tableaux 13.1 et 13.3. Toutefois, la « molécule » recule chez les lycéens de 2^{de} au profit de la cellule qui se place dans la case 1, malgré ses faibles effectifs. Si cela témoigne que la distinction entre les concepts d'atome et de molécule se consolide, au fur et à mesure de l'enseignement, ceci oblige à se poser la question : quels liens potentiels s'établissent-ils entre l'inerte et le vivant, si l'on se rappelle aussi ce qui apparaissait du corpus des dessins ? Au reste, nous constatons le placement systématique de la science parmi les mots classés le plus tôt dans la hiérarchie (donc de rang faible), ainsi que la tendance des grecs à n'accorder qu'un rang élevé à la bombe atomique, contrairement à leurs pairs français. Le graphe 13.3 illustre la distribution Rang x Fréquence pour les catégories considérées :



Graph 13.3 : Distribution rang x fréquence en quatre blocs

La comparaison entre le contenu significatif des quatre blocs de ce graphe et les quatre cases du tableau précédent met en évidence des correspondances intéressantes. De la concordance notable sur les quatre zones nous concluons que le travail de conception des notions prototypiques donnant naissance à leur tour aux catégories introduites parvient à appréhender les champs sémantiques qui ont émergé dans cette approche.

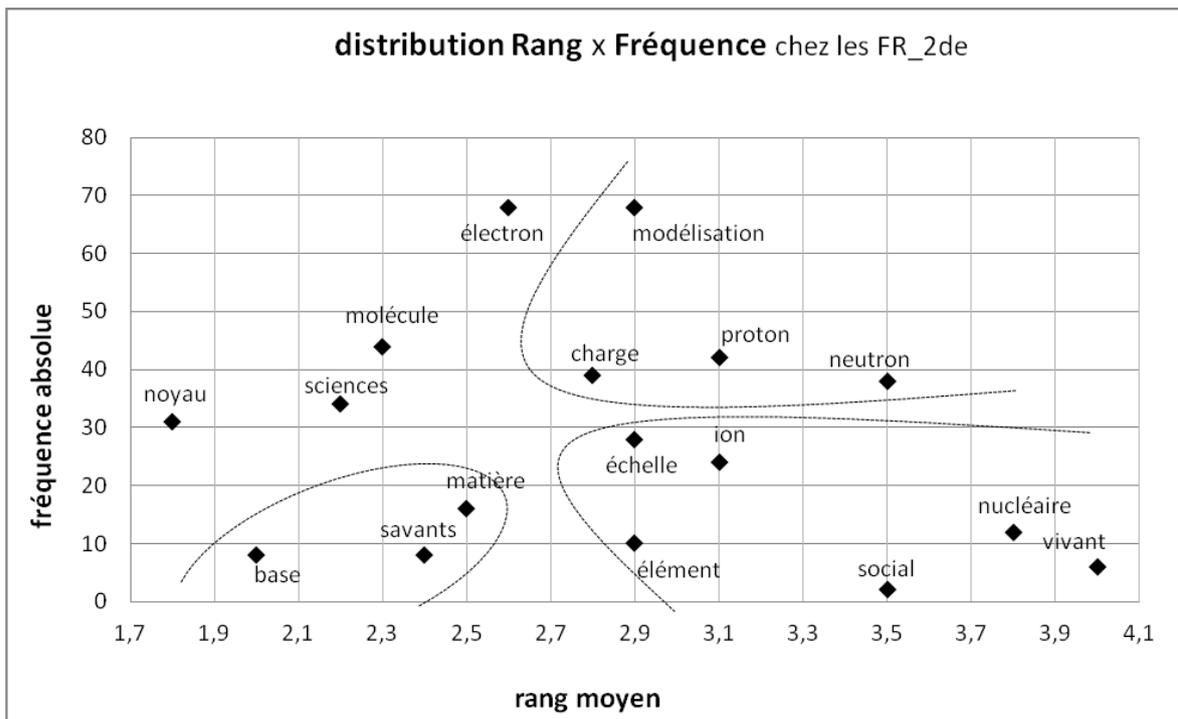
13.1.4 Français des classes de 2^{de} (N = 102)

Dans ce cas le corpus compte également 126 induits différents rencontrés 478 fois ce qui donne une moyenne égale à 4,7, sensiblement plus importante que la moyenne du groupe précédent et, la meilleure performance parmi les six groupes envisagés. Le logiciel EVOC fournit la classification suivante de ces mots (cf. tableau 13.4), une fois le seuil de fréquence et les valeurs critiques déterminés.

Tableau 13.4 : Répartition du corpus FR_2^{de} en induits centraux et périphériques. Dans les cases, la première colonne donne la fréquence absolue et la seconde le rang moyen par item

Fréquence ≥ 10 et Rang Moyen $\leq 2,5$			Fréquence ≥ 10 et Rang Moyen $> 2,5$		
matière	11	1,727	ion	13	2,769
molécule	43	2,372	neutron	38	3,526
noyau	30	1,733	nucléon	26	3,038
physique	14	2,071	proton	41	3,122
chimie	12	2,500	électron	65	2,554
Fréquence < 10 et Rang Moyen $\leq 2,5$			Fréquence < 10 et Rang Moyen $> 2,5$		
			anion	5	3,600
			charge-électrique	6	3,167
			classification périodique	6	3,333
infiniment petit	6	2,000	microscopique	5	2,800
électriquement neutre	7	2,000	numéro atomique	6	2,667
			négatif	5	4,200
			positif	6	3,333
			vide	5	3,200

Comme dans le tableau 13.2 relatif aux collégiens français, la « molécule » est retrouvée dans la zone du noyau fortement choisie par les lycéens de 2^{de}, mais placée cette fois au troisième rang, après l’item « noyau » qui apparaît dans la zone centrale ; effet aussi assez répandu chez les grecs. La science continue à entretenir sa place importante vis-à-vis du stimulus « atome » et les particules subatomiques occupent systématiquement la case 2 de la périphérie proche. Le fichier en sortie du programme [RANGMOT] montre que ce groupe d’élèves a fourni douze induits liés au « nucléaire », mais sous des syntagmes différents dont les effectifs sont toujours inférieurs au seuil de fréquence défini, donc exclus de ce tableau. Cette contrainte est surmontée par le graphe 13.4 nous informant des coordonnées attribuées aux catégories sémantiques :



Graph 13.4 : Distribution rang x fréquence en quatre blocs

Le bloc en haut à gauche indique la zone centrale de la représentation. Il nous a paru raisonnable d’y incorporer la catégorie « électron », avec un rang de 2,6, c’est-à-dire bien inférieur à 2,9 qui correspond au milieu de l’intervalle [1,8 ; 4] propre aux valeurs du rang (cf. axe des abscisses). De ce fait, les constituants de l’atome se trouvent pour la première fois séparés, les deux espèces de nucléons conservant bien entendu leur position périphérique avec la « modélisation ». Enfin, nous observons une contradiction entre la place importante du nucléaire pour les collégiens français (cf. graphe 13.2) et son recul chez les élèves du groupe en question ; au contraire, ils portent une attention principale à la « modélisation » bien évaluée depuis le graphe 13.2, et secondairement à la question d’échelle et au phénomène d’ionisation ; les trois sujets étant plus ou moins abordés et illustrés dans les manuels scolaires de ce niveau de classe. Pour ce qui concerne les autres catégories, il semble que leur poids dans la représentation reste déficitaire.

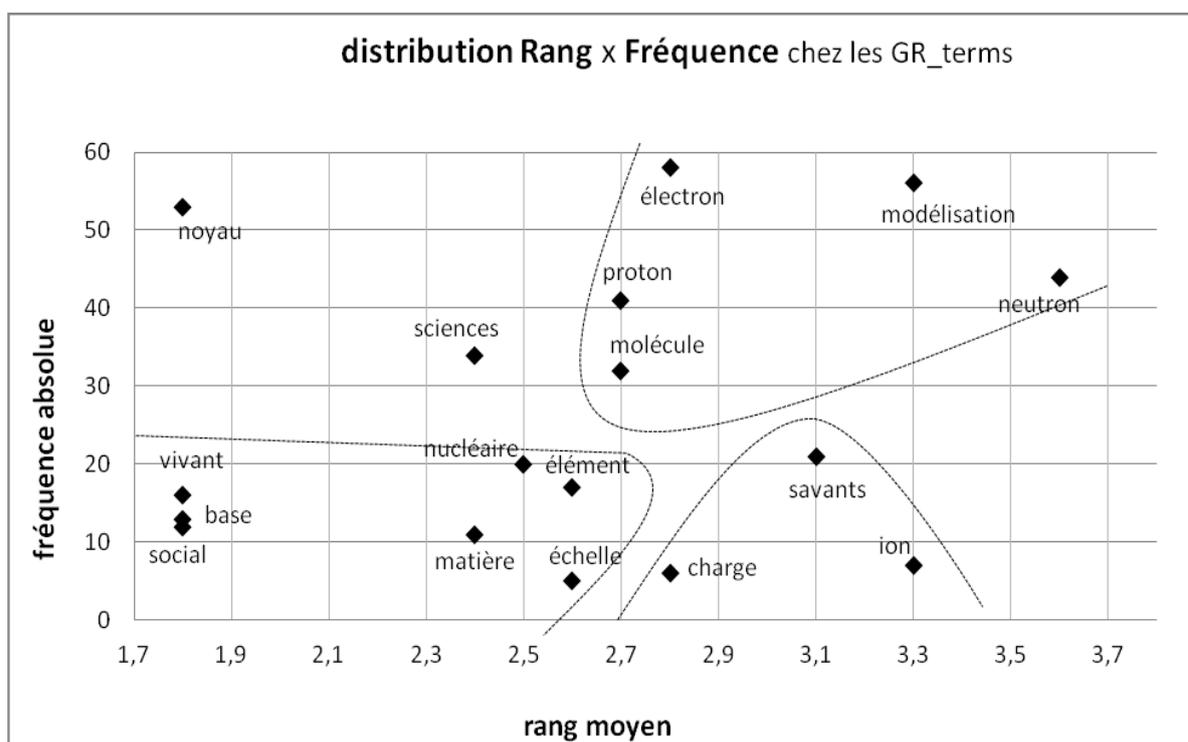
13.1.5 Grecs des classes de terminales (N = 105)

Les élèves des terminales, toutes séries confondues (42 en TL ; 14 en TS ; 49 en TT), ont rempli les lignes du questionnaire avec un nombre de 153 induits différents en 446 reprises, soit 4,2 mots en moyenne. Le tableau 13.5 en donne la structure suivante :

Tableau 13.5 : Répartition du corpus GR_terms en induits centraux et périphériques. Dans les cases, la première colonne donne la fréquence absolue et la seconde le rang moyen par item

Fréquence ≥ 10 et Rang Moyen $\leq 2,5$			Fréquence ≥ 10 et Rang Moyen $> 2,5$		
noyau	53	1,811	molécule	28	2,750
			neutron	44	3,591
			proton	41	2,707
			électron	58	2,793
Fréquence < 10 et Rang Moyen $\leq 2,5$			Fréquence < 10 et Rang Moyen $> 2,5$		
bombe atomique	7	2,429	couches	5	3,800
			désagrégation d'atome	5	2,800
chimie	7	1,857	ion	6	3,333
			physique	7	2,857

Le terme de noyau (atomique) arrive en premier rang avec une fréquence de citations importante et occupe seul la zone du noyau. La triade proton - neutron - électron partage la périphérie proche avec « molécule » qui, comparativement à ses scores chez les grecs de 2^{de}, se rapproche de la zone du noyau. Remarquons que la « bombe atomique » se déplace de la case 4 à la case 3, théoriquement susceptible de pénétrer dans la case 1, si ses effectifs venaient à augmenter L'image sous le prisme des catégories est illustrée par le graphe 13.5, ci-dessous :



Graph 13.5 : Distribution rang x fréquence en quatre blocs

Globalement, les lycéens grecs des terminales pensent, à propos de l'atome, principalement à un noyau, les corpuscules subatomiques (notamment électrons et protons) arrivant en deuxième position. Bien que tous les élèves des terminales, indépendamment de la série suivie, suivent en commun des cours de physique de l'atome (au moins jusqu'à l'année 2014-15) à un niveau plus qu'élémentaire, ceci ne semble pas empêcher la catégorie « molécule » d'obtenir des scores étonnants, à la limite d'une entrée dans le noyau central. Cette dynamique provient majoritairement des réponses des TL et en partie des TT. Ce constat doit nous interroger sur l'efficacité de l'enseignement de physique atomique dispensé en terminale grecque. En d'autres termes, se pose la question de savoir s'il y a ou non eu apprentissage. Ces cours, quoique obligatoires selon les programmes, ne constituent cependant qu'une matière dans laquelle les élèves seront optionnellement examinés. Compte tenu des statistiques, cette option est très peu abondante et varie de 0,001 % (en TL) à 3,8 % (chez les TS), au niveau national (cf. sitographie, lien 12). Donc, la majorité écrasante des lycéens reste peu impactée par le suivi de cette matière. Dans le langage didactique, dira-t-on qu'ici le contrat échoue car... il n'existe pas et ne peut être établi. Enfin, les catégories « nucléaire » et « vivant » se situent en haut dans le troisième bloc, à savoir à la frontière avec la zone centrale. Ceci dit que les évaluations à leur endroit peuvent fluctuer : dans la perspective de la représentation, les sujets peuvent

les traiter soit de la même manière, soit de la manière des éléments centraux. Dans ce cas, ces items auront une action déséquilibrante de l'organisation de la RS.

13.1.6 Français des classes de terminales (N = 99)

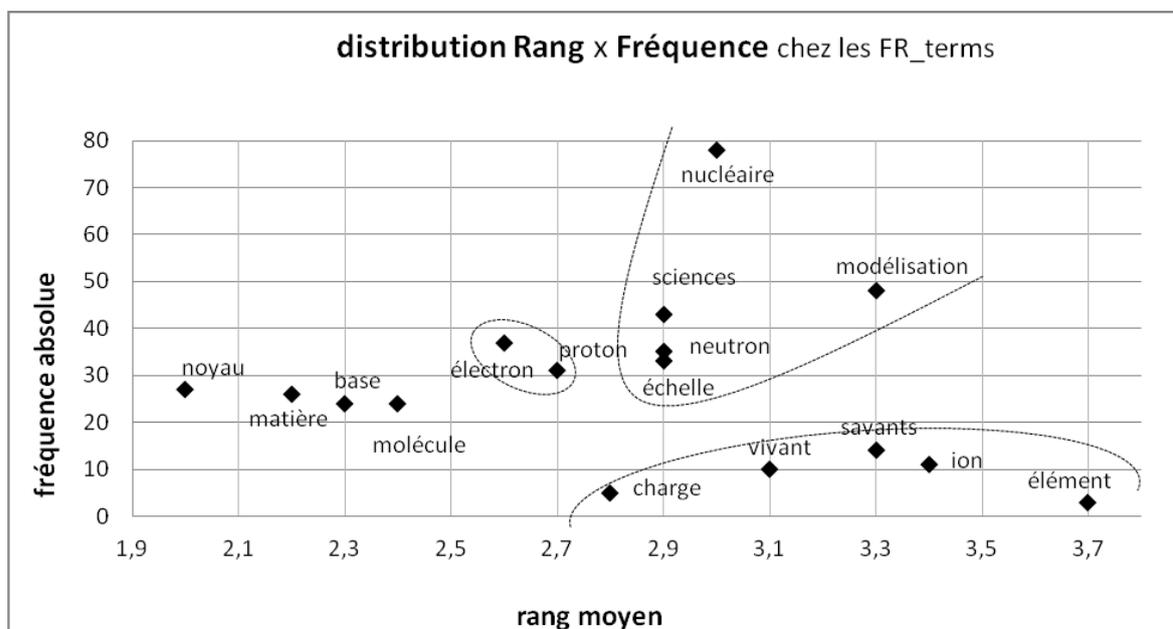
Ce groupe composé de 18 élèves en TL, 52 en TS et 29 en TES a produit 155 mots différents en 446 occurrences. La moyenne calculée est de 4,5 induits par individu. Nous nous intéressons tout d'abord à la comparaison de la répartition de ce corpus, donnée dans le tableau 13.6 ci-après, avec celle du tableau précédent 13.4, relatif au groupe des français des classes de seconde.

Tableau 13.6 : Répartition du corpus FR_terms en induits centraux et périphériques. Dans les cases, la première colonne donne la fréquence absolue et la seconde le rang moyen par item

Fréquence ≥ 10 et Rang Moyen $\leq 2,5$			Fréquence ≥ 10 et Rang Moyen $> 2,5$		
			chimie	10	2,900
			neutron	35	2,886
molécule	18	2,389	nucléaire	17	2,529
noyau	27	2,000	physique	11	2,727
matière	12	2,500	proton	31	2,710
			électron	36	2,583
			énergie	11	2,636
Fréquence < 10 et Rang Moyen $\leq 2,5$			Fréquence < 10 et Rang Moyen $> 2,5$		
			Einstein	8	3,125
			bombe atomique	7	2,714
infiniment petit	5	2,400	fission	5	3,800
microscopique	9	2,000	fusion	7	3,571
particule	6	2,000	ion	9	3,444
radioactivité	8	2,500	nucléon	7	3,143
			petit	6	3,500
			science	7	3,286

Si l'on omet les deux mots, physique et chimie, depuis la case 1 du tableau 13.4 (qu'on retrouve dans la case 2 du présent tableau), on a alors le même contenu dans la zone du noyau. De même, la ressemblance dans la case 2 entre les deux cas est impressionnante. Enfin, les mots relatifs au nucléaire (éminemment représenté ici) et à l'aspect microscopique de l'atome sont de manière entremêlée placés dans les cases périphériques. La différence principale entre ces tableaux réside alors dans l'apparente absence du

nucléaire chez les élèves de 2^{de} – causée par une diversité des syntagmes, comme nous l'avons souligné au-dessous du tableau 13.4 –, au bénéfice d'induits liés à la charge électrique, apparus de manière redondante, notamment dans la case de la périphérie éloignée (cf. tableau 13.4). Nous allons clore cette étape de recension des résultats partiels avec le graphe 13.6 montrant les places des catégories d'induits :

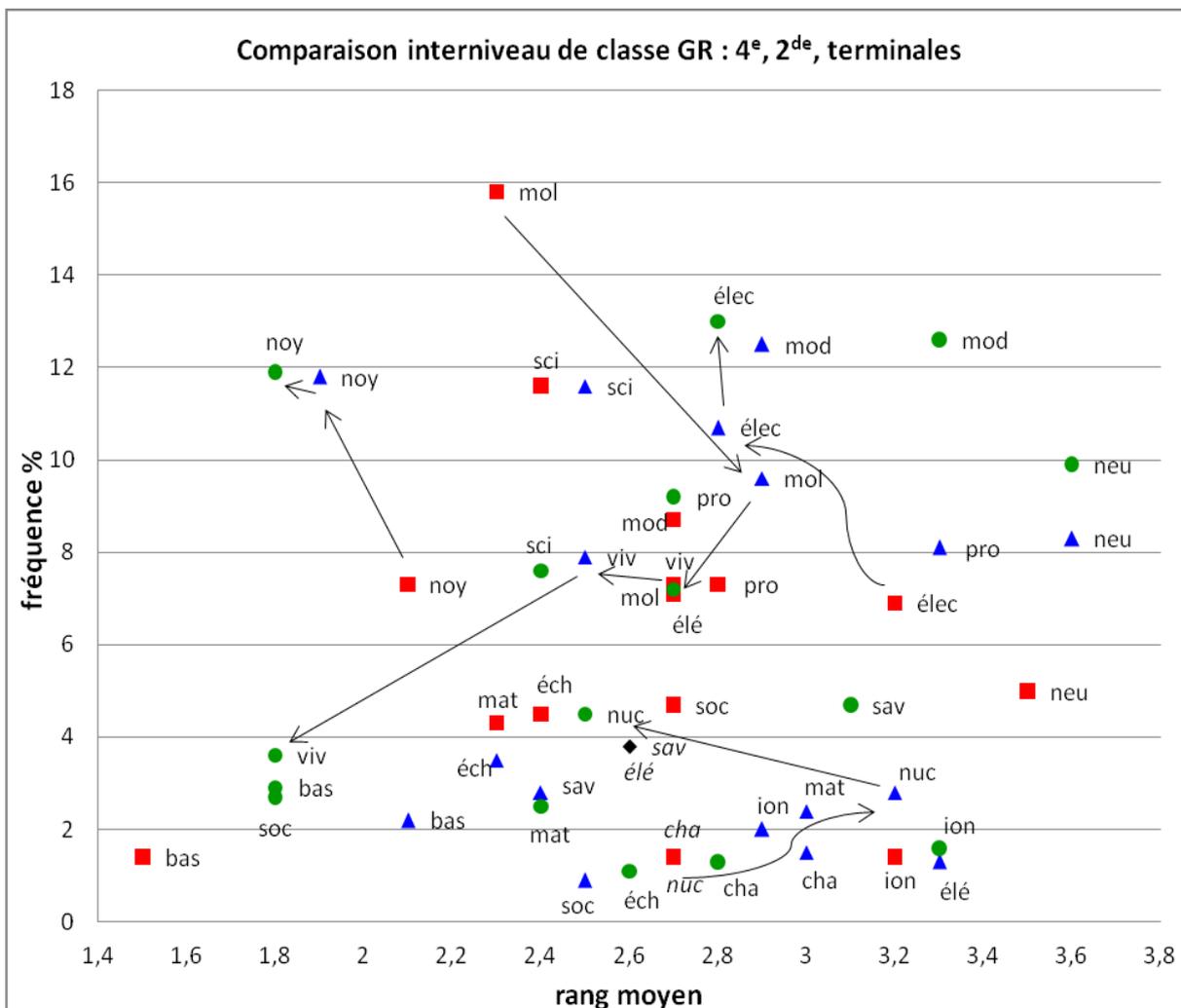


Graphe 13.6 : Distribution rang x fréquence en quatre blocs

Contrairement aux autres graphes, celui-ci projette une certaine irrégularité dans le sens où le bloc à gauche (noyau - matière - base - molécule) est caractérisé, d'une part, par des rangs plus faibles que ceux des items dans la petite ellipse, et, d'autre part, les fréquences qui lui correspondent sont légèrement inférieures à celles associées aux catégories électron et proton. Ce serait, pensons-nous, hasardeux de nous prononcer sur la centralité de l'un ou de l'autre bloc. De plus, si les constituants de l'atome viennent se rapprocher du noyau central, le « nucléaire » présente un nombre de citations plus élevé. Pour l'instant, nous nous gardons d'en inférer un statut générique avant de consulter l'aspect global des sous-échantillons français et grec, tous niveaux de classe confondus, ce qui est entrepris plus longuement (cf. §13.1.7 et §13.1.8).

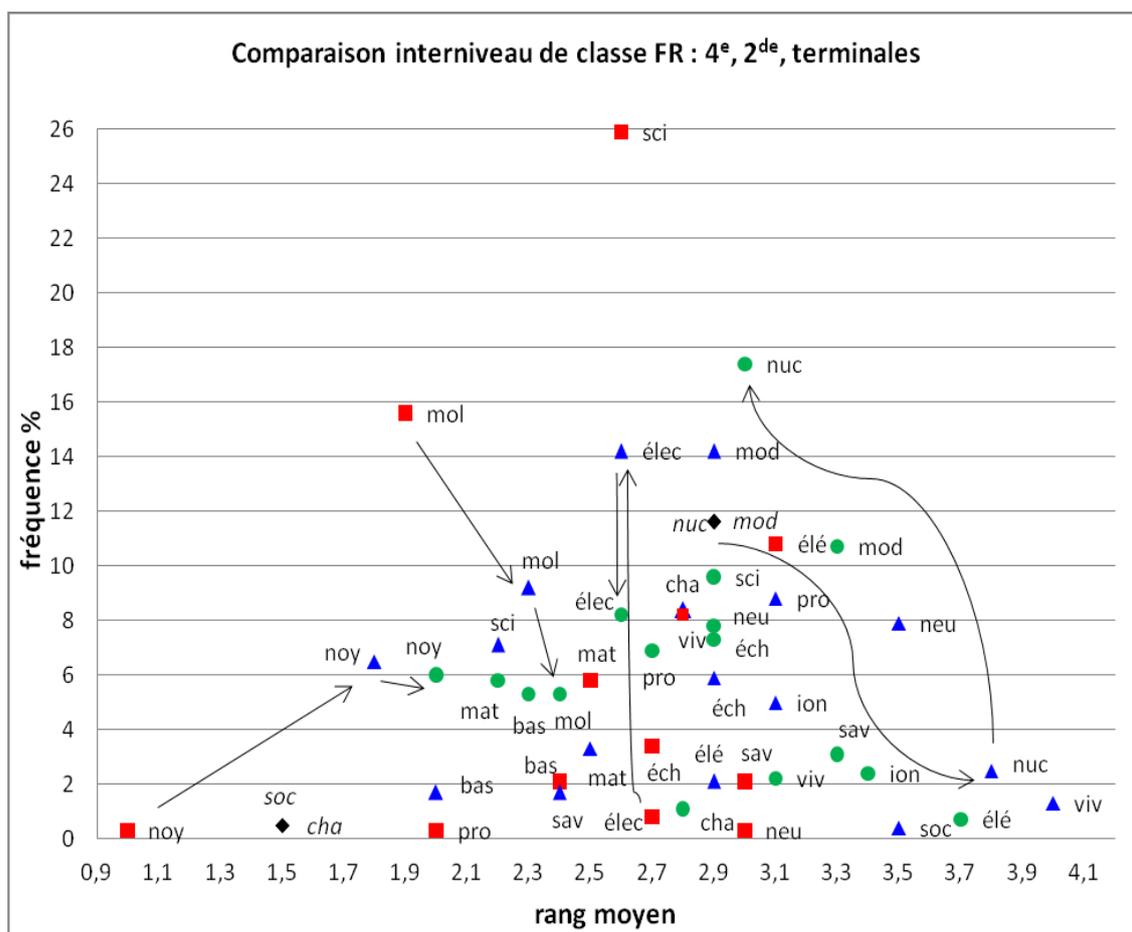
Nous tentons maintenant d'illustrer l'évolution des catégories, en termes de fréquence (%) et de rang moyen, dans le même graphe pour les trois groupes de grecs (cf. graphe 13.7) et de français (cf. graphe 13.8). Chaque label est indiqué par ses trois lettres initiales, par exemple « noy » pour « noyau », « élé » pour « élément », etc. À titre

indicatif, on peut poursuivre les flèches indiquant la manière dont se déplace un item (toujours dans le sens : 4^e → 2^{de} → terminale), comme c'est le cas des « noyau » et « électron » qui remontent progressivement l'un vers la zone centrale, l'autre vers la périphérie proche de la RS (cf. graphe 13.7). Au contraire, le terme « molécule » recule vers la périphérie éloignée, et ainsi de suite.



Graphe 13.7 : Évolution intergroupe grecque : ■ 4^e ; ▲ 2^{de} ; ● terminales. Les items en italique ont les mêmes coordonnées. Le losange noir (centre, en bas) indique un point partagé par le « savants » de 4^e et l'« élément » des terminales

De même dans le graphe 13.8 ci-dessous, soulignons le trajet descendant de la catégorie molécule, le jaillissement graduel des « noyau » et « électron » (ce dernier a néanmoins subi un redressement par les élèves en term.), ainsi que le va-et-vient du « nucléaire » :



Graphe 13.8 : Évolution intergroupe française : ■ 4^e ; ▲ 2^{de} ; ● terminales. Aux deux losanges noirs (à gauche et au centre) « cohabitent » les items notés en italique, tous associés au groupe des collégiens. Le « social » chez les terminales est nul

Pour comparer les deux distributions, nous distinguons deux tendances dans l'évolution d'un item, de la quatrième à la terminale : le mouvement centripète et le mouvement centrifuge. Le premier désigne un déplacement de l'item considéré vers le haut et vers la gauche. Autrement dit, lorsque la flèche résultante, 4^e → terminale, s'oriente vers un rang moyen plus faible et / ou une fréquence plus élevée. Inversement, un mouvement centrifuge pointe vers le sens inverse. Les items noyau, électron, proton, neutron, base et nucléaire suivent plutôt un mouvement centripète, aussi bien dans le graphe des grecs que dans celui des français. Bien que dans quelques-uns de ces items il y ait un certain recul pour l'un des deux indicateurs (rang, fréquence), nous insistons pour qualifier son évolution comme centripète, si l'autre indicateur devient plus significatif. C'est, par exemple, le cas des « base » et « neutron » grecs (cf. graphe 13.7), tout comme des « noyau » et « échelle » français (cf. graphe 13.8). En revanche, les items molécule,

savants, charge, modélisation, élément, ion et sciences semblent reculer suivant un mouvement centrifuge, dans les deux graphes. L’item vivant récule aussi, chez les français, mais il gagne un rang faiblement significatif, chez les grecs, malgré la baisse dans sa fréquence.

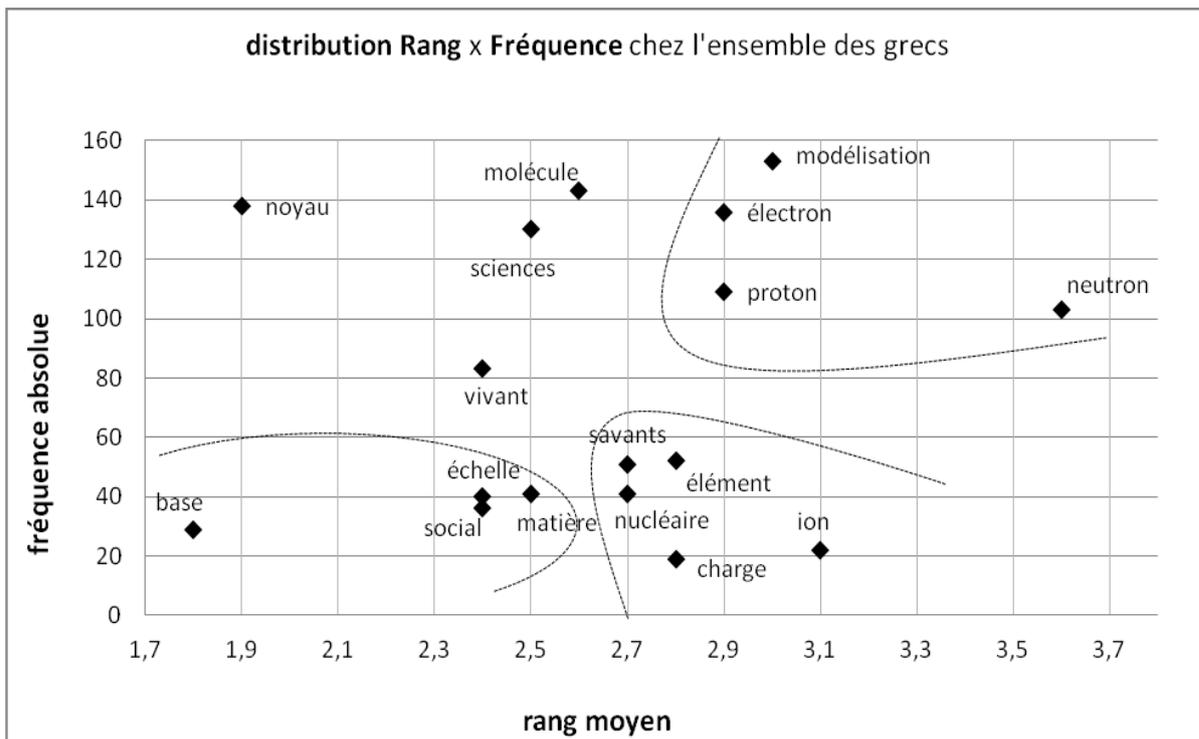
13.1.7 Sous-ensemble grec (N = 313)

Pour porter réponse à la question de l’organisation représentationnelle chez l’ensemble des grecs, nous avons relancé sur le logiciel EVOC le même travail avec pour fichier d’ouverture celui résultant de la fusion des données des trois groupes. Notons que les 313 sujets ont au total produit 296 mots différents en 1326 reprises, soit 4,24 induits par individu, en moyenne. Cette récolte d’induits étant plus abondante, nous avons accru le seuil de la fréquence, en vue d’éditer le tableau 13.7, à partir de dix (f = 10).

Tableau 13.7 : Répartition du corpus d’ensemble grec, GR_313. Dans les cases, la première colonne donne la fréquence absolue et la seconde le rang moyen par item

Fréquence ≥ 20 et Rang Moyen $\leq 2,4$			Fréquence ≥ 20 et Rang Moyen $> 2,4$		
cellule	20	2,400	bombe atomique	20	2,850
chimie	49	2,224	composé	22	2,727
noyau	136	1,897	molécule	112	2,616
			neutron	103	3,583
			physique	23	2,783
			proton	109	2,945
			électron	135	2,881
Fréquence < 20 et Rang Moyen $\leq 2,4$			Fréquence < 20 et Rang Moyen $> 2,4$		
corpuscule	13	2,231	Einstein	11	2,818
science	13	2,231	couches	11	3,455
élément chimique	13	2,308	désagrégation d’atome	14	2,643
			ion	18	3,056
			numéro atomique	15	2,733
			organisme	11	2,818

Malgré les quelques aspects contradictoires liés à la fluctuation de certains labels (cf. graphe 13.5), nous entreprenons de construire le graphe 13.9 à la base de la fusion des données des trois groupes grecs :



Graph 13.9 : Distribution rang x fréquence en quatre blocs, chez l'ensemble des grecs

De manière caricaturale, si les termes, principalement « noyau » et secondairement « sciences », ont la plus forte probabilité de centralité dans la RS, les deux autres à proximité, *i.e.* « molécule » et « vivant », se situent à la lisière de la zone centrale. Pour ce qui concerne le premier terme, il est très fréquemment cité – nous le rappelons, comme citation au stimulus « atome » –, ce qui peut signaler une confusion entre les concepts d'atome et de molécule. Quant au vivant, son rang faible le rend potentiellement capable de pénétrer dans le noyau central, avec comme conséquence l'altération de la représentation et sa transformation radicale. Ensuite, les constituants de l'atome occupent d'emblée la périphérie proche avec les induits regroupés sous le titre « modélisation », catégorie éminemment évoquée. L'aspect nucléaire de l'atome et l'idée de brique ultime de la matière ne paraissent pas si significatifs chez l'ensemble des grecs. Enfin, la place régressive de la catégorie élément nous assure que la distinction entre cette notion chimique et celle d'atome est plutôt établie. Nous récapitulons par le biais du tableau 13.8, selon la forme très courante dans les travaux en représentations sociales.

Tableau 13.8 : Analyse prototypique de la représentation sociale, chez l'ensemble des grecs. Entre parenthèses, la fréquence absolue, suivie du rang moyen

Fréquence f	Rang moyen RM	
	RM faible ($\leq 2,5$)	RM fort ($> 2,5$)
f élevée $f \geq 100$	<p align="center">Case 1</p> noyau (138 / 1,9) sciences (130 / 2,5)	<p align="center">Case 2</p> molécule (143 / 2,6) électron (136 / 2,9) proton (109 / 2,9) modélisation (153 / 3,0) neutron (103 / 3,6)
f faible $f < 100$	<p align="center">Case 3</p> base (29 / 1,8) échelle (40 / 2,4) vivant (83 / 2,4) matière (41 / 2,5) social (36 / 2,4)	<p align="center">Case 4</p> savants (51 / 2,7) nucléaire (41 / 2,7) élément (52 / 2,8) charge (19 / 2,8) ion (22 / 3,1)

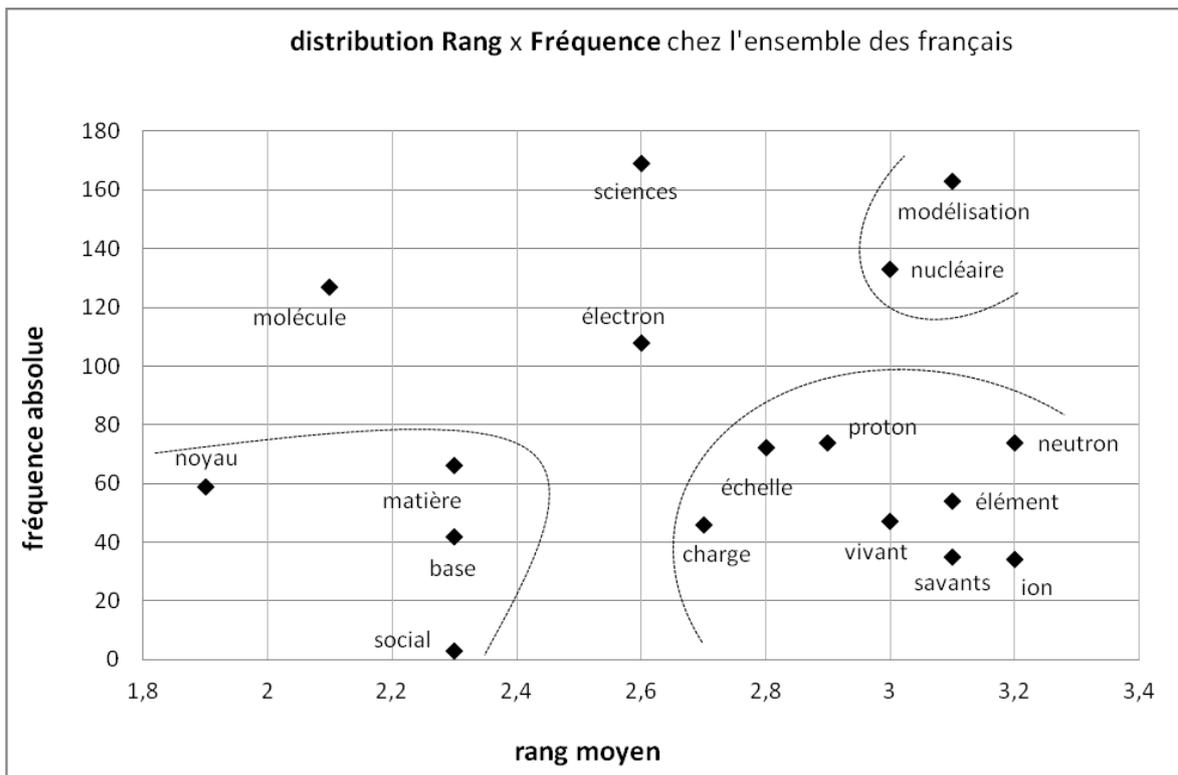
13.1.8 Sous-ensemble français (N = 303) – Comparaisons

Le corpus des induits qu'ont cité ces participants compte 300 mots en 1306 occurrences, c'est-à-dire 4,31 induits en moyenne, montant comparable (légèrement plus élevé) à celui obtenu auprès des grecs. À partir du fichier créé suite à la jonction des données issues des trois groupes de français, le logiciel élabore (une fois le seuil de fréquence défini à dix) le tableau suivant :

Tableau 13.9 : Répartition du corpus d'ensemble français, FR_303. Dans les cases, la première colonne donne la fréquence absolue et la seconde le rang moyen par item

Fréquence ≥ 20 et Rang Moyen $\leq 2,4$			Fréquence ≥ 20 et Rang Moyen $> 2,4$		
			cellule	20	2,800
			chimie	40	2,725
			ion	22	3,045
matière	27	2,037	neutron	74	3,216
microscopique	20	2,200	nucléaire	30	2,467
molécule	102	1,990	nucléon	33	3,061
noyau	58	1,845	physique	35	2,486
			proton	73	2,932
			science	32	2,469
			électron	104	2,567
Fréquence < 20 et Rang Moyen $\leq 2,4$			Fréquence < 20 et Rang Moyen $> 2,4$		
			Einstein	14	3,286
			bombe atomique	16	2,625
			carbone	15	3,400
atomique	12	2,333	fusion	12	3,500
infiniment petit	11	2,182	hydrogène	10	3,300
			oxygène	10	3,600
			particule	12	2,417
			petit	11	3,091
			énergie	14	2,714

En comparaison avec le tableau 13.8, pour les deux ensembles d'élèves, le « noyau » doit assurer un des éléments centraux de la représentation. Suivant un effet qu'on peut qualifier de fragmentation, plusieurs induits – regroupés ultérieurement par nous sous la même notion prototypique ou, pour ainsi dire, dans la même catégorie sémantique – se trouvent dispersés dans les cases de ce tableau, comme par exemple les mots science, physique, chimie qui composeront ultérieurement la catégorie « sciences ». De ce fait, le graphe 13.10 et sa forme alternative, *i.e.* le tableau 13.10 ci-après, nous offrent une image globale de la structure de la RS, auprès de la population ciblée :



Graphe 13.10 : Distribution rang x fréquence en quatre blocs, à propos de l'ensemble des français

Le fichier en sortie du programme [RANGMOT] nous informe de plus sur la moyenne générale attribuée à la distribution globale des induits. Ainsi, cette moyenne est de 2,67 pour les grecs et de 2,73 pour les français, en légère augmentation, ce qui signifie que le « barycentre » de la distribution telle qu'illustrée par le graphe 13.10 est légèrement décalé vers la droite, sur l'axe horizontal. Cela nous force à accroître à notre tour le rang critique envisagé dans le tableau 13.10 (par rapport à sa valeur retenue au tableau 13.8, soit 2,5) :

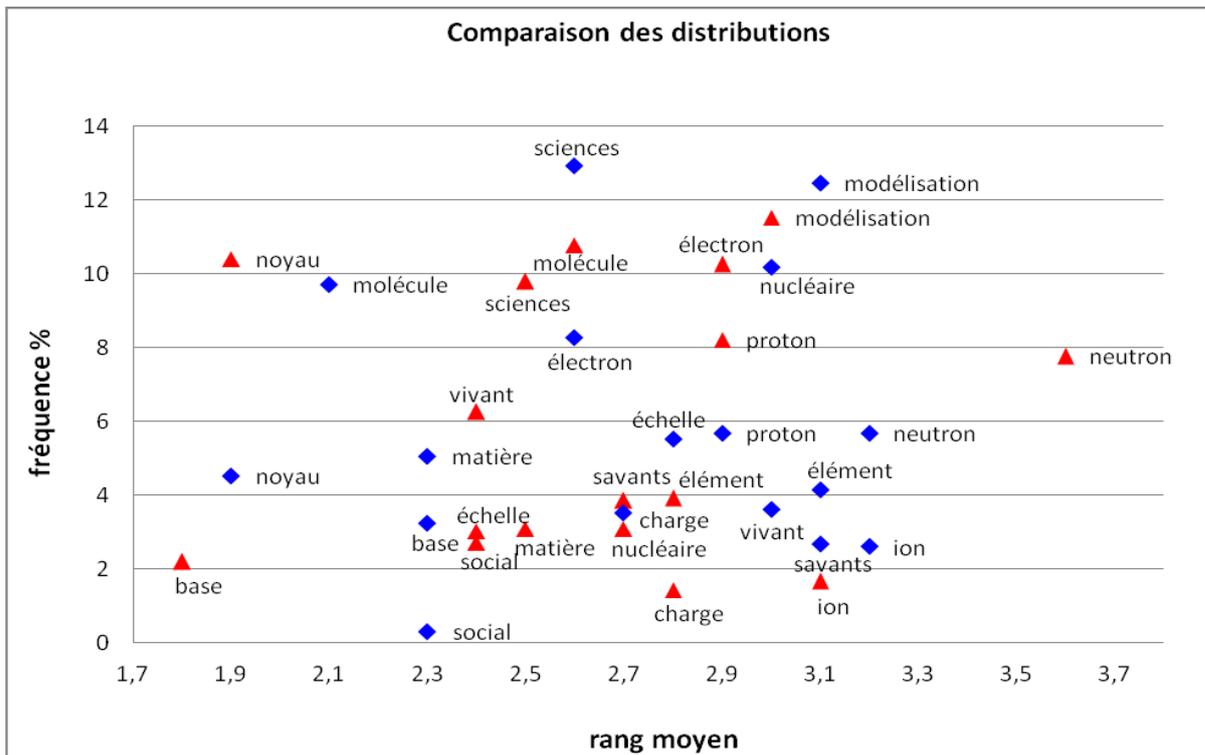
Tableau 13.10 : Analyse prototypique de la représentation sociale, chez l'ensemble des français. Entre parenthèses, la fréquence absolue, suivie du rang moyen

Fréquence f	Rang moyen RM	
	RM faible ($\leq 2,6$)	RM fort ($> 2,6$)
f élevée f ≥ 100	Case 1 molécule (127 / 2,1) sciences (169 / 2,6) électron (108 / 2,6)	Case 2 modélisation (163 / 3,1) nucléaire (133 / 3,0)
f faible f < 100	Case 3 noyau (59 / 1,9) matière (66 / 2,3) base (42 / 2,3) social (3 / 2,3)	Case 4 échelle (72 / 2,8) charge (46 / 2,7) proton (74 / 2,9) vivant (47 / 3,0) savants (35 / 3,1) élément (54 / 3,1) neutron (74 / 3,2) ion (34 / 3,2)

D'un point de vue comparatif entre les tableaux 13.8 et 13.10, nous observons que :

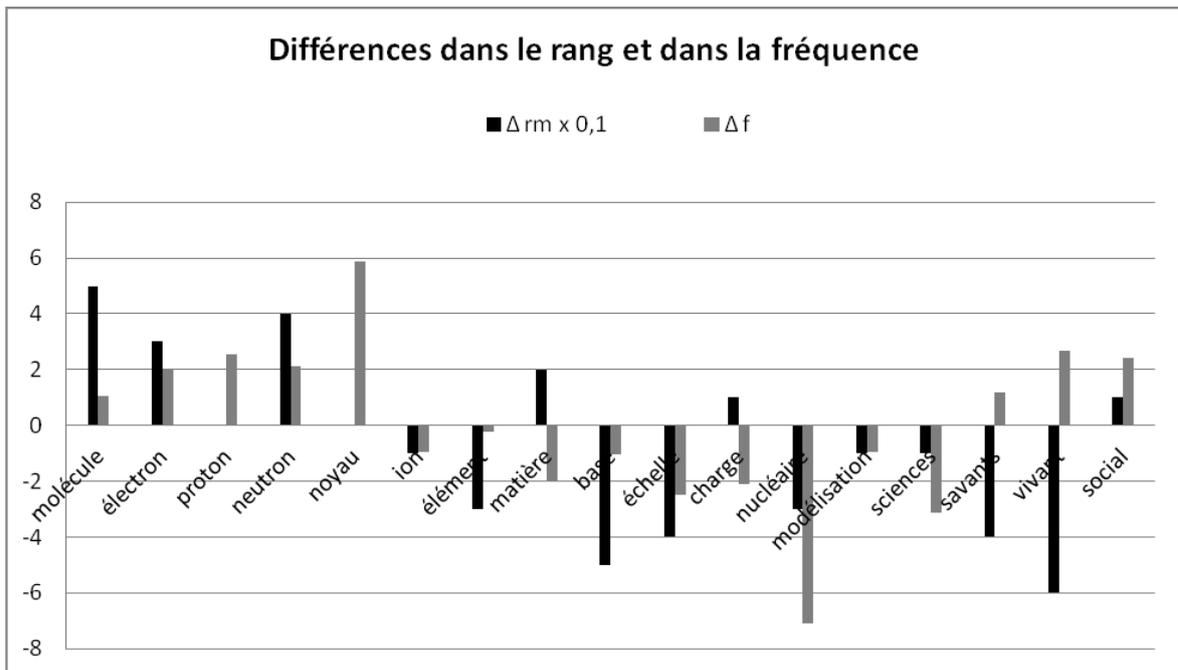
1. La notion prototypique sciences avec celle de noyau, chez les grecs ou l'autre d'électron, chez les français, matérialisent la case 1 ;
2. La molécule, notamment pour les français et le vivant pour les grecs se situent à proximité de la zone du noyau (voire incontestablement dedans) ;
3. Les constituants de l'atome (expressément entendus et non pas de façon implicite *via* quelques occurrences dans la « modélisation ») occupent la périphérie proche, chez les grecs et la périphérie éloignée, chez les français. C'est l'inverse pour le nucléaire, significativement plus fort chez les français ;
4. Le décalage entre les positions de la « modélisation » dans les graphes 13.9 et 13.10 demeure le deuxième le plus petit, derrière celui se référant à l'élément, qui figure en périphérie lointaine, pour les deux ensembles ;
5. Les notions prototypiques base, échelle, matière, ion, charge et savants, placées en périphérie obtiennent des scores plus ou moins similaires dans les deux cas ;
6. Enfin, le social, pratiquement nul chez les français, peut être considéré comme un effet de bruit portant atteinte à la partie grecque de la recherche.

Dans le graphe 13.11, nous avons superposé les distributions française et grecque pour obtenir un point de vue comparatif entre les items homologues :



Graphe 13.11 : Mise en commun des distributions à propos des deux ensembles
(fr : ◆ ; gr : ▲)

Au-delà, nous calculons la différence entre des paires des catégories homologues par rapport aux deux indicateurs. Ainsi, $\Delta f = f(\text{GR}) - f(\text{FR})$ définit la différence entre les fréquences (%) « grecque » et « française ». Il en est de même pour le rang moyen : $\Delta \text{rm} = \text{rm}(\text{GR}) - \text{rm}(\text{FR})$. Les résultats apparaissent dans le graphe suivant :



Graph 13.12 : Différences dans le rang et dans la fréquence entre les marqueurs du graph 13.11, pour chaque catégorie

Précisons qu'une différence Δf positive signifie que les grecs ont produit plusieurs items relatifs à la catégorie en question. De fait, le nombre des induits « grecs » à propos des notions prototypiques molécule, électron, proton, neutron, noyau, savants, vivant et social est supérieur au nombre des induits correspondants « français ». Il en est l'inverse quand $\Delta f < 0$. Une différence Δr_m positive signifie que la catégorie concernée est hiérarchisée de manière moins significative chez les grecs que chez les français (cf., par exemple, molécule, électron, etc.). Des induits classés dans ces notions prototypiques arrivent au plus tôt (en moyenne) dans la hiérarchisation des français. En revanche, des induits englobés dans « ion », « élément », « base », « modélisation », etc. sont mieux hiérarchisés par les grecs. Suite à ces remarques, des induits propres au « nucléaire », aux « sciences », à l'« échelle », à la « charge » et à la « matière » sont plus fréquemment cités par les français. Par contre, ceux relevant de « noyau », « électron », « proton », mais aussi du « vivant » et du « social » sont majoritairement fournis par les grecs. De plus, nous observons des différences Δr_m importantes pour « vivant » et « base », qui sont plus saillants chez les grecs, et pour « molécule » et « neutron », qui pèsent plus chez les français. Autrement dit, les cartographies française et grecque autour de ces catégories ne se différencient qu'à propos de quelques termes, le reste allant vers un sens de plus en plus consensuel. Or, nous postulons qu'il est légitime et raisonnable d'avancer vers un aspect

global pour examiner l'analyse lexicographique de l'échantillon d'ensemble, ce qui est développé dans le paragraphe suivant.

13.1.9 Ensemble général (N = 616)

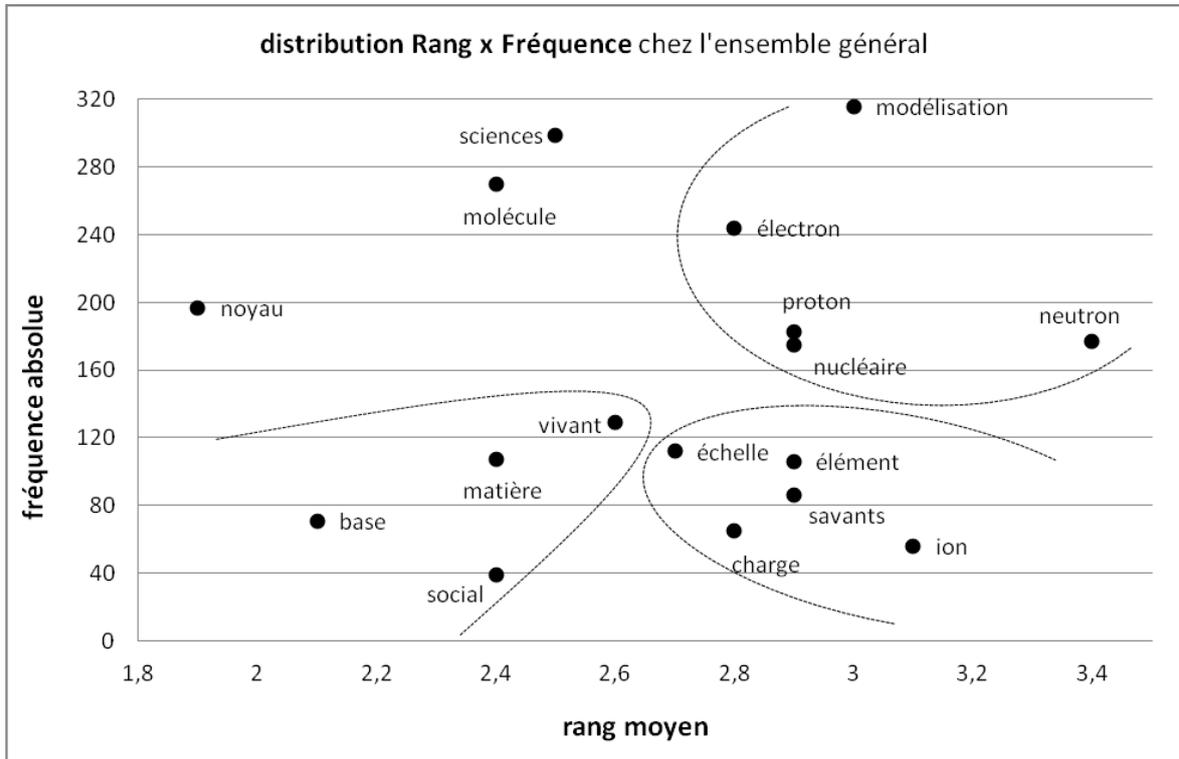
Tous les induits composant le corpus général atteignent le nombre de 2632 dont 511 différents. Ainsi, la moyenne est de 4,27 mots par individu. En outre, nous avons tiré vers le haut le nouveau seuil à partir duquel s'édite la fréquence, dans le programme [RANGMOT] : $f = 20$. Subséquemment, suivant la même démarche on obtient :

Tableau 13.11 : Répartition du corpus d'ensemble (échantillon général, N = 616). Dans les cases, la première colonne donne la fréquence absolue et la seconde le rang moyen par item

Fréquence ≥ 40 et Rang Moyen $\leq 2,5$			Fréquence ≥ 40 et Rang Moyen $> 2,5$		
chimie	89	2,449	cellule	40	2,600
molécule	214	2,318	ion	40	3,050
noyau	194	1,881	neutron	177	3,429
science	45	2,400	physique	58	2,603
			proton	182	2,940
			électron	239	2,745
Fréquence < 40 et Rang Moyen $\leq 2,5$			Fréquence < 40 et Rang Moyen $> 2,5$		
matière	34	2,147	Einstein	25	3,080
microscopique	26	2,038	bombe atomique	35	2,714
nucléaire	30	2,467	composé	23	2,652
			nucléon	34	3,118
			numéro atomique	22	2,773
			particule	20	2,700

Ce tableau fournit la répartition brute des induits, aux critères de fréquence et de rang choisis. Bien que nous croyions à ces résultats, il ne faut pas perdre de vue qu'il s'agit d'une élaboration basée sur les induits primitifs, à savoir avant regroupement sémantique. Dans la première case, par exemple, les deux mots chimie et science apparaissent séparément, tandis qu'ils sont sémantiquement proches et, donc, seront, dans la phase de la catégorisation, classés ensemble (y compris la physique, etc.). Il en est de même pour molécule et composé (cf. cases 1 et 4), ou nucléaire et bombe atomique, et ainsi de suite.

Une fois la catégorisation des mots effectuée, la distribution est doublement illustrée par le graphe 13.13 et le tableau 13.12 comme suit :



Graphe 13.13 : Distribution rang x fréquence en quatre blocs, à propos de de l'échantillon général

Tableau 13.12 : Analyse prototypique de la représentation sociale, chez l'ensemble de l'échantillon général. Entre parenthèses, la fréquence absolue, suivie du rang moyen

Fréquence f	Rang moyen RM	
	RM faible ($\leq 2,6$)	RM fort ($> 2,6$)
f élevée f ≥ 170	Case 1 noyau (197 / 1,9) molécule (270 / 2,4) sciences (299 / 2,5)	Case 2 électron (244 / 2,8) proton (183 / 2,9) nucléaire (175 / 2,9) modélisation (316 / 3,0) neutron (177 / 3,4)
f faible f < 170	Case 3 base (71 / 2,1) matière (107 / 2,4) social (39 / 2,4) vivant (129 / 2,6)	Case 4 échelle (112 / 2,7) charge (65 / 2,8) élément (106 / 2,9) savants (86 / 2,9) ion (56 / 3,1)

Il est incontestable que l'atome est, pour les élèves, caractérisé par un noyau. Ce mot évoque aussi pour eux la « molécule », par un processus d'ancrage, qui consiste à intégrer ce terme dans une catégorie plus appropriée, moins énigmatique. Le contenu de la périphérie proche renvoie aux pratiques sociales des élèves, à savoir, au traitement qu'ils se font de l'objet en classe des sciences : description de sa structure, schématisation, résolution des exercices, etc. Enfin, la conception, chez une partie importante des sujets, que l'atome relève du vivant, constitue un frein pour enclencher un processus de changement de la représentation.

13.2 Question 2

Nous traitons cette question, dite de caractérisation, moyennant le logiciel SIMI 2000© et présentons les résultats, premièrement par niveau de classe, puis pour les deux sous-ensembles grec et français avec évolution de la 4^e à la terminale pour chacun d'entre eux et, enfin, pour l'échantillon général. La procédure de traitement sur SIMI réside essentiellement dans le démarrage des programmes [REKEND], puis [KENDAL] qui sont les boutons affichés sur le schéma de l'architecture du logiciel, et apparaissent dans la fenêtre de gestion. Pour déclencher l'analyse, notre fichier initial EXCEL, créé lors du dépouillement des questionnaires renseignés, sert de fichier d'ouverture. Le programme [REKEND] transforme alors ce fichier en un nouveau fichier qui contient quinze colonnes où les items prennent la valeur 1 (non caractéristiques de l'atome) ou 2 (non sélectionnés) ou 3 (caractéristiques de l'atome), (cf. annexe 3). Le seul choix à faire est celui de l'indice de similitude, en l'occurrence, le tau b de Kendall.

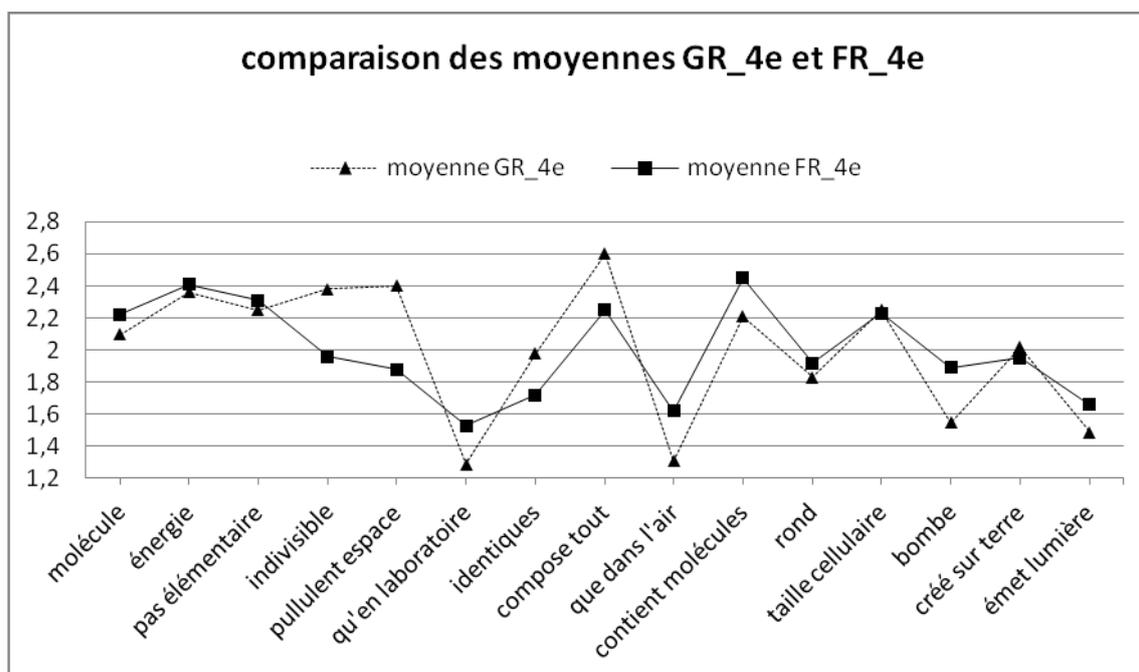
13.2.1 Classes de quatrième : grecs (N = 104) et français (N = 102)

Les scores qu'obtiennent la moyenne et les trois modalités, « plus caractéristique », « non choisi » et « moins caractéristique », sont donnés dans le tableau 13.13, ci-dessous. Plus la moyenne est forte, plus l'item concerné est considéré comme caractéristique de l'atome.

Tableau 13.13 : Représentativité des items de caractérisation, chez les grecs et français de la quatrième

items	plus caract.		non choisi		moins caract.		moyenne	
	GR	FR	GR	FR	GR	FR	GR	FR
molécule	33,7	44,1	42,3	33,3	24,0	22,5	2,10	2,22
énergie	49,0	56,9	37,5	27,5	13,5	15,7	2,36	2,41
pas élémentaire	40,4	45,1	44,2	41,2	15,4	13,7	2,25	2,31
indivisible	51,9	29,4	33,7	37,3	14,4	33,3	2,38	1,96
pullulent espace	54,8	20,6	30,8	47,1	14,4	32,4	2,40	1,88
qu'en laboratoire	5,8	10,8	17,3	31,4	76,9	57,8	1,29	1,53
identiques	26,9	16,8	44,2	38,6	28,8	44,6	1,98	1,72
compose tout	69,2	46,1	21,2	32,4	9,6	21,6	2,60	2,25
que dans l'air	6,7	18,6	17,3	24,5	76,0	56,9	1,31	1,62
contient molécules	43,3	53,9	34,6	37,3	22,1	8,8	2,21	2,45
rond	24,0	35,3	34,6	21,6	41,3	43,1	1,83	1,92
taille cellulaire	44,2	43,1	36,5	36,3	19,2	20,6	2,25	2,23
bombe	15,4	32,4	24,0	24,5	60,6	43,1	1,55	1,89
créé sur terre	25,0	28,4	51,9	38,2	23,1	33,3	2,02	1,95
émet lumière	9,6	17,6	29,8	30,4	60,6	52	1,49	1,66

Par le graphe 13.14, nous comparons les moyennes grecque et française. Les courbes qui passent par ces points ont seulement pour rôle de mieux illustrer les ressemblances et les différences, sans anticiper quelle fonction sous-jacente peut être supposée derrière.



Graph 13.14 : Aspects comparatifs de la moyenne par item, chez les grecs et les français de quatrième

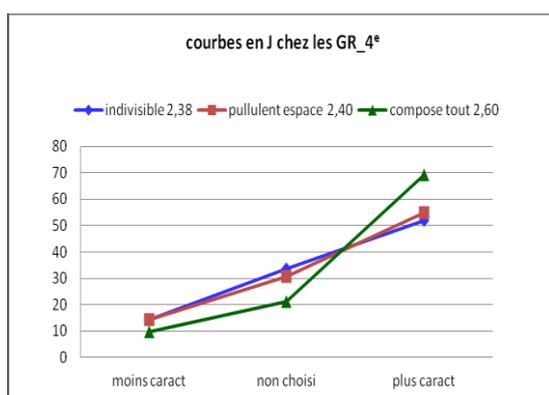
Si l'on ne rend compte que des items pour lesquels la différence dans la moyenne est supérieure ou égale à 0,2 (*i.e.* des marqueurs séparés par deux lignes dans la zone de traçage du graphe), on peut alors en identifier huit, soit les suivants :

1. Les grecs sont plus attachés à un modèle de l'atome indivisible, ce qui est à rapprocher du nombre important des dessins de type « boules daltoniennes » ;
2. À propos de la question si l'espace est plein d'atomes, nous discernons une dissension la plus profonde entre les français et les grecs ;
3. Pour les deux groupes, les propositions les moins significatives par rapport à l'atome sont la sixième, la neuvième puis la dernière (cf. graphe ci-dessus) et, le sont de façon plus emphatique chez les grecs. Par contre, les items les plus parlants, autant pour les deux populations, sont les deuxième, troisième et douzième. Les autres points d'unanimité obtiennent des scores négligeables ;
4. Les français sont relativement plus persuadés que les atomes diffèrent entre eux ;
5. L'idée que l'atome compose tout arrive la première en importance chez les grecs et en quatrième rang, auprès des français ;
6. Plus significativement pour les français que pour les grecs, les atomes s'identifient aux molécules (item 1) ou au pure en contiennent (item 10), une idée qui est en

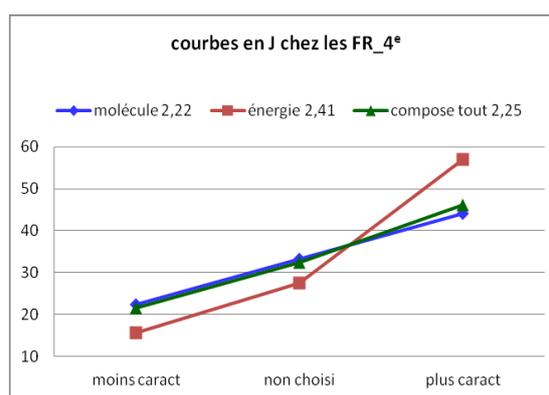
accord avec l'arrivée du terme molécule dans la zone centrale de la représentation (cf. tableau 13.2 et graphe 13.2) ;

7. Ce sont plutôt les français qui semblent être plus sensibles à la question des armes atomiques.

Nous nous attachons maintenant à visualiser la distribution des scores de caractérisation pour les quinze éléments catalogués dans cette deuxième question, concernant les groupes ici examinés. Nous distinguons trois sortes de courbes (cf. §10.5.2) : courbes en J, inhérentes aux éléments représentatifs, potentiellement centraux ; gaussiennes, correspondant aux éléments périphériques ou sans rapport avec la RS ; courbes en « U », témoignant d'une dichotomie des individus à l'égard de l'item en question. Si nécessaire, nous ajoutons un quatrième genre, les courbes quasi-J (cf. graphes 13.17 et 13.18, par exemple), comme une sous-catégorie des courbes en J. Les items concernés, inclinant plutôt vers le statut central, sont ceux pour lesquels la différence entre les scores du « non choisi » et du « moins caractéristique » (notés nc et mc), $\Delta(nc - mc)$, est supérieure à la différence entre les « plus caractéristique » et « non choisi » : $\Delta(nc - mc) > \Delta(pc - nc)$ ⁴⁸. Enfin, notons que les légendes dans les graphes indiquent les abréviations des items suivies quelquefois de leur moyenne, telle qu'elle apparaît dans le tableau 13.13. Les scores des trois modalités dans l'axe des ordonnées (qui sont de manière *ad hoc* étalonnées par cas) proviennent également de ce tableau.

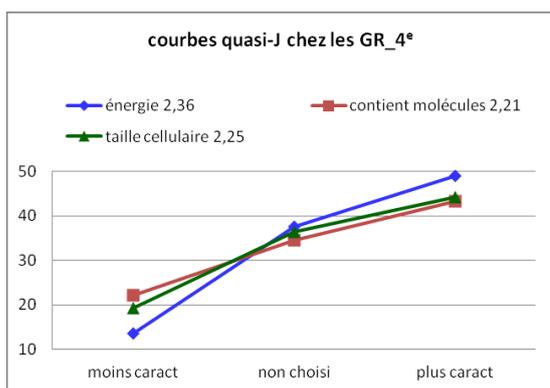


Graphe 13.15 : éléments représentatifs

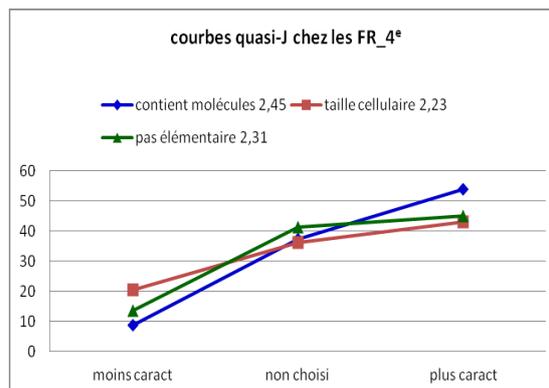


Graphe 13.16 : éléments représentatifs

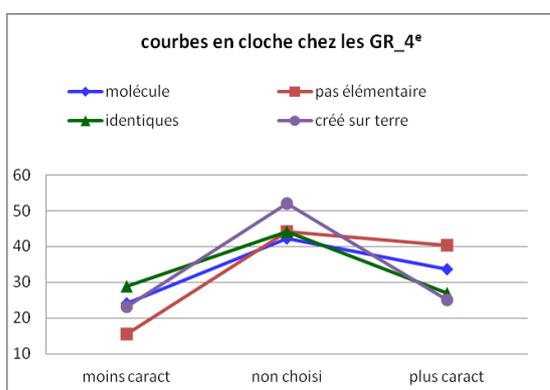
⁴⁸ Pour une démonstration de cette condition, cf. annexe8.



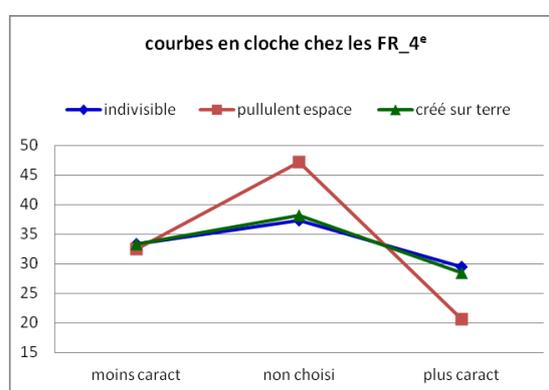
Graph 13.17 : éléments plutôt représentatifs



Graph 13.18 : éléments plutôt représentatifs



Graph 13.19 : éléments périphériques



Graph 13.20 : éléments périphériques

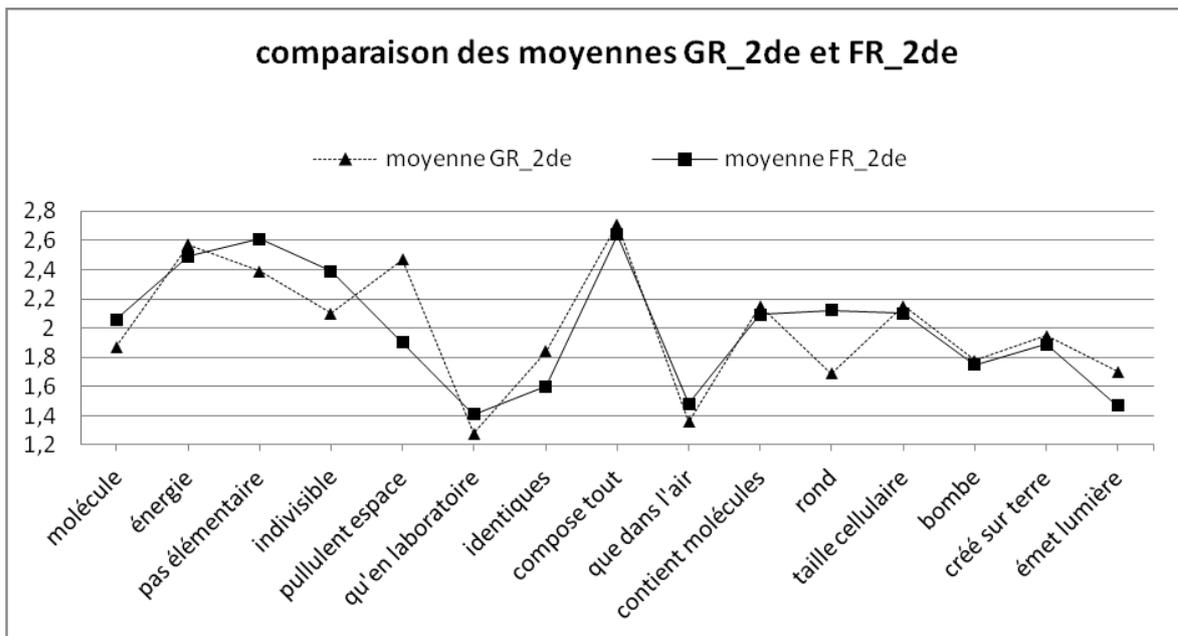
Les items qui restent (cinq pour les grecs et six pour les français) donnent des courbes dont la forme peut être rapprochée de la figure « J » à savoir, corrélée avec la courbe en J par symétrie orthogonale par rapport à la verticale. Ces items sont considérés n'ayant aucun rapport avec l'atome, selon les sujets interrogés.

13.2.2 Classes de seconde : grecs (N = 104) et français (N = 102)

Les résultats issus des réponses de cette population sont présentés dans le tableau 13.14 et le graph 13.21 qui suivent :

Tableau 13.14 : Représentativité des items de caractérisation, chez les grecs et français de la seconde

items	plus caract.		non choisi		moins caract.		moyenne	
	GR	FR	GR	FR	GR	FR	GR	FR
molécule	24,0	35,3	38,5	35,3	37,5	29,4	1,87	2,06
énergie	62,5	62,7	31,7	23,5	5,8	13,7	2,57	2,49
pas élémentaire	51,0	68,6	37,5	23,5	11,5	7,8	2,39	2,61
indivisible	42,7	57,8	24,3	23,5	33,0	18,6	2,10	2,39
pullulent espace	58,3	17,6	30,1	54,9	11,7	27,5	2,47	1,90
qu'en laboratoire	4,8	2,9	18,3	35,3	76,9	61,8	1,28	1,41
identiques	14,4	9,8	54,8	40,2	30,8	50,0	1,84	1,60
compose tout	78,8	71,6	13,5	20,6	7,7	7,8	2,71	2,64
que dans l'air	5,8	6,9	24,0	34,3	70,2	58,8	1,36	1,48
contient molécules	41,3	35,3	32,7	38,2	26,0	26,5	2,15	2,09
rond	17,3	43,1	34,6	25,5	48,1	31,4	1,69	2,12
taille cellulaire	37,5	35,3	40,4	39,2	22,1	25,5	2,15	2,10
bombe	25,0	27,5	27,9	20,6	47,1	52,0	1,78	1,75
créé sur terre	23,1	17,6	49,0	53,9	27,9	28,4	1,95	1,89
émet lumière	12,5	7,8	42,5	31,4	42,3	60,8	1,70	1,47

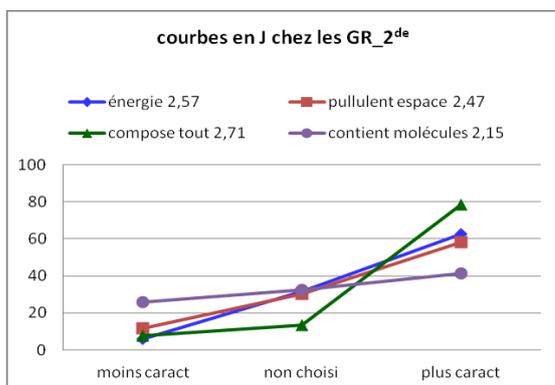


Graph 13.21 : Aspects comparatifs de la moyenne par item, chez les grecs et les français de seconde

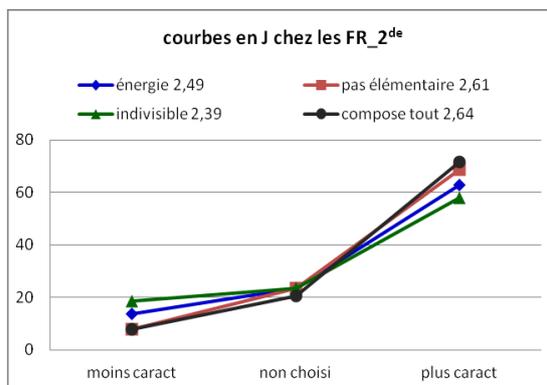
Nous nous centrons pour l'instant sur la comparaison du comportement de ces groupes, la confrontation interne de classe pour les uns et pour les autres faisant l'objet d'un autre paragraphe (cf. §13.2.4). Suivant le critère précédent, d'une différence existant dans la moyenne d'au moins de 0,2, nous inférons que :

1. La structure interne de l'atome est purement plus significative chez les français ;
2. Les grecs privilégient un modèle de l'atome cohérent, indivisible, cette caractéristique étant placée au troisième rang d'importance pour eux ;
3. L'espace interstellaire fourmille d'atomes selon les grecs, pour qui cela constitue un trait de l'atome, le troisième le plus important ;
4. Les français sont moins nombreux à croire que tous les atomes sont identiques ;
5. La forme ronde de l'atome se répercute dans la pensée des français, arrivant en cinquième rang des éléments les plus caractéristiques. Par contraste, ce paramètre ne semble pas préoccuper les grecs ;
6. Le dernier item, en principe peu significatif pour tous, l'est de façon plus accrue chez les français ;
7. Les deux propositions obtenant des scores les plus forts, à la fois pour les français et pour les grecs, sont les suivantes : l'atome contient de l'énergie et l'atome compose tout.

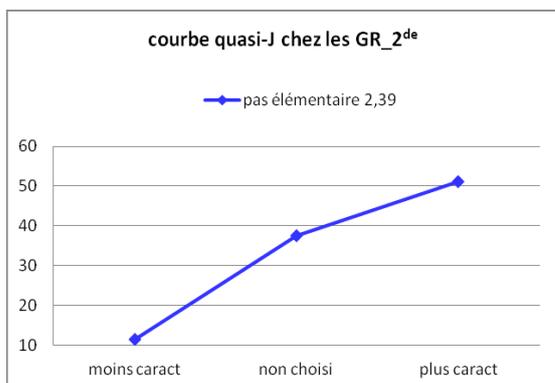
Les courbes de fréquence élaborées à partir des choix des élèves de seconde sont fournies ci-dessous :



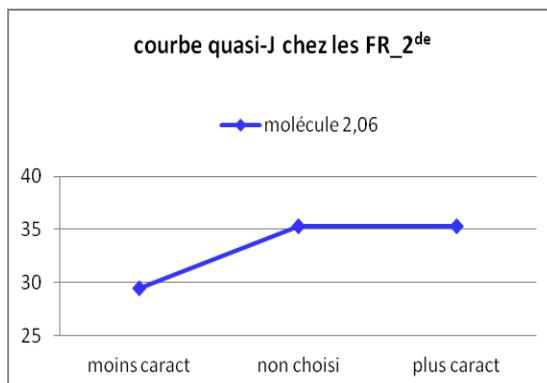
Graph 13.22 : éléments représentatifs



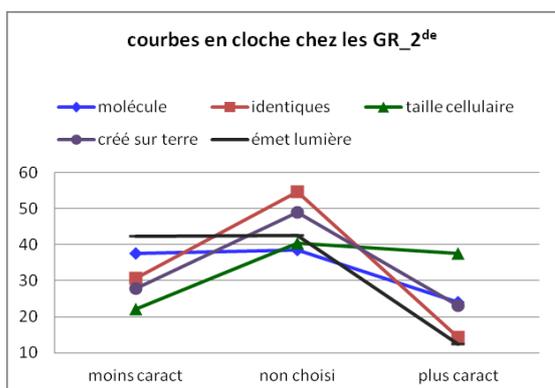
Graph 13.23 : éléments représentatifs



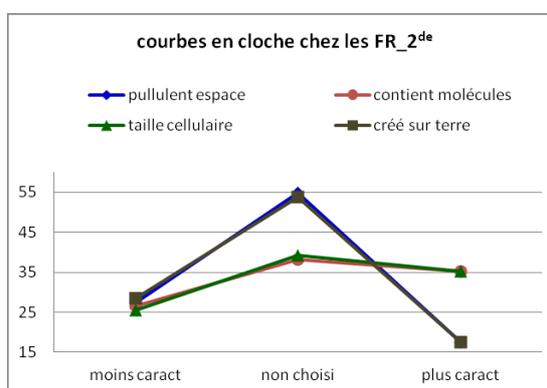
Graph 13.24 : élément plutôt représentatif



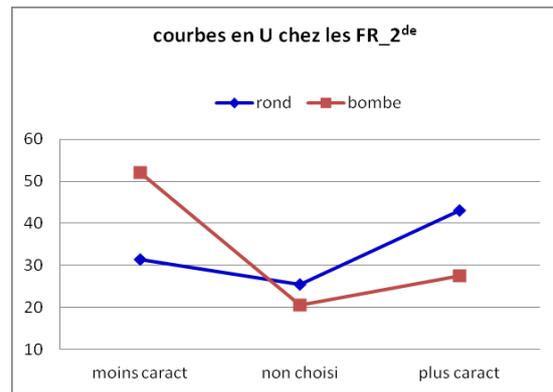
Graph 13.25 : élément plutôt représentatif



Graph 13.26 : éléments périphériques



Graph 13.27 : éléments périphériques



Graphe 13.28 : éléments dichotomiques

Les items « énergie », « compose tout » et « pas élémentaire » sont classés, pour les deux échantillons, parmi les éléments représentatifs ou quasi-représentatifs. La confusion atome / molécule intervient même chez les élèves de 2^{de}.

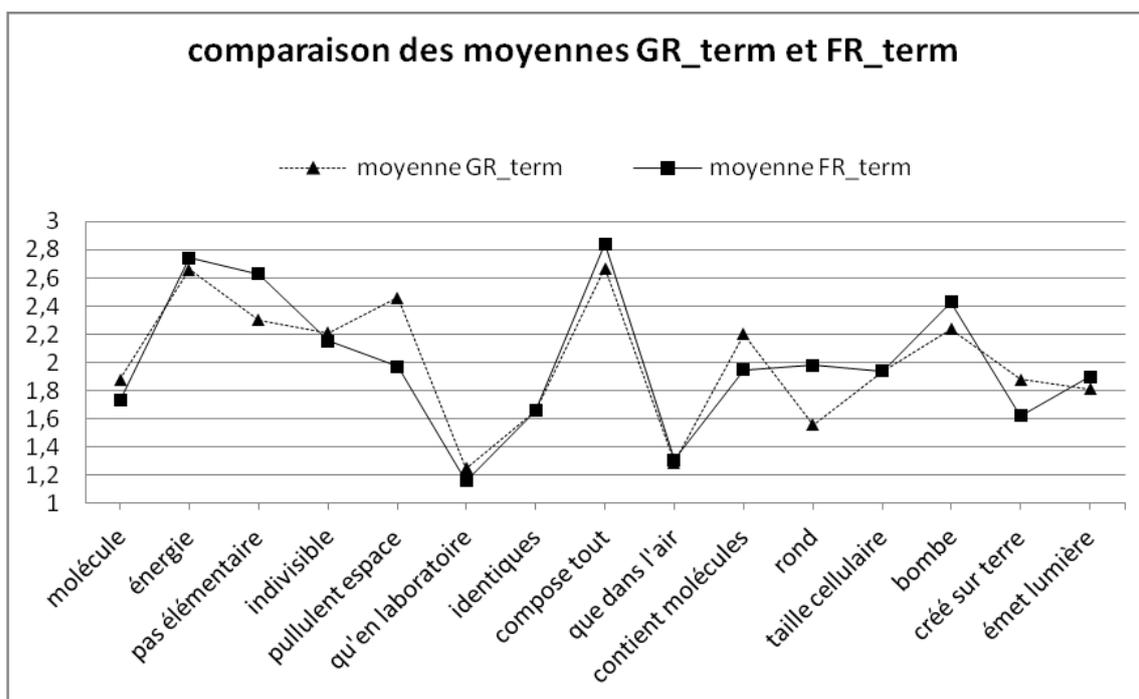
13.2.3 Classes de terminales : grecs (N = 105) et français (N = 99)

Pour cet ensemble d'élèves des terminales, toutes séries confondues, la classification des quinze propositions selon les trois modalités considérées est la suivante :

Tableau 13.15 : Représentativité des items de caractérisation, chez les grecs et français des terminales

items	plus caract.		non choisi		moins caract.		moyenne	
	GR	FR	GR	FR	GR	FR	GR	FR
molécule	24,0	13,1	40,4	46,5	35,6	40,4	1,88	1,73
énergie	73,3	80,8	19,0	12,1	7,6	7,1	2,66	2,74
pas élémentaire	47,6	69,7	35,2	23,2	17,1	7,1	2,30	2,63
indivisible	44,2	42,4	32,7	30,3	23,1	27,3	2,21	2,15
pullulent espace	52,4	20,2	41,0	56,6	6,7	23,2	2,46	1,97
qu'en laboratoire	1,9	0,0	21,0	16,2	77,1	83,8	1,25	1,16
identiques	9,5	10,1	46,7	45,5	43,8	44,4	1,66	1,66
compose tout	76,2	84,8	14,3	14,1	9,5	1,0	2,67	2,84
que dans l'air	5,7	2,0	17,1	27,3	77,1	70,7	1,29	1,31
contient molécules	40,0	28,3	40,0	38,4	20,0	33,3	2,20	1,95
rond	12,4	33,3	31,4	31,3	56,2	35,4	1,56	1,98
taille cellulaire	21,0	26,3	52,4	41,4	26,7	32,3	1,94	1,94
bombe	45,7	59,6	32,4	24,2	21,9	16,2	2,24	2,43
créé sur terre	21,9	6,1	43,8	49,5	34,3	44,4	1,88	1,62
émet lumière	22,9	23,2	35,2	43,4	41,9	33,3	1,81	1,90

À partir des deux dernières colonnes de ce tableau, nous avons construit avec EXCEL le graphe 13.29 pour visualiser la comparaison dans les moyennes :



Graph 13.29 : Aspects comparatifs de la moyenne par item, chez les grecs et les français des terminales

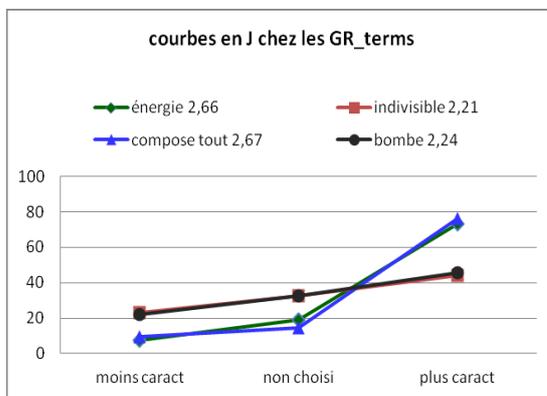
La plupart des items donnant des moyennes convergentes entre les deux groupes d'élèves, dans quatre cas la différence dépasse le plafond auparavant défini à 0,2. Nous les examinons tour à tour :

1. La troisième proposition que « l'atome est composé d'autres constituants » trouve résonance chez les français, tandis que pour les grecs semble figurer parmi les items non choisis (son score étant aux environs de 2) ;
2. De manière systématique, les grecs même en terminale pensent à un espace rempli d'atomes. Pour ouvrir une piste de réflexion, nous nous appuyons sur les notions protomathématiques, au sens de Chevallard (1991, p. 51), qui sont mobilisées de manière implicite au sein du contrat didactique. D'après l'auteur, l'élève doit reconnaître « certaines occasions d'emploi des notions mathématiques [ou de physique, ici] considérées comme outils de l'activité mathématique [physique]. » Chevallard (1991, p. 52). Par exemple, le professeur attendra de l'élève placé devant une application du principe d'inertie ou de la conservation de la quantité de mouvement, qu'il reconnaisse là l'occasion de se référer à une collision entre deux corps ponctuels dans l'espace où, faute de forces de frottement (car offrant un milieu physique presque parfaitement vide), le principe d'inertie anticipe leur

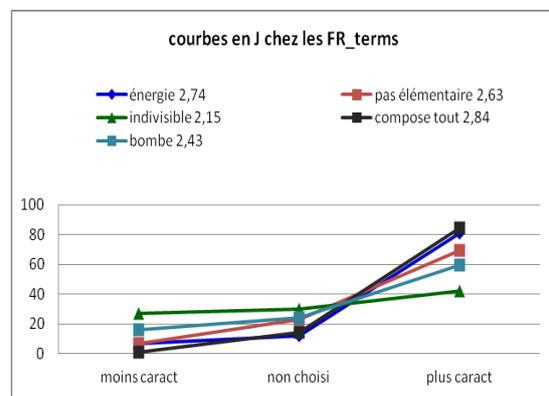
mouvement rectiligne uniforme. Or, pour les élèves ce milieu servant comme support à cette activité n'est guère vide, mais plein d'atomes ;

3. Les français de ce groupe (dont 50 % en TS) sont moins nombreux que les grecs (dont une minorité suit la TS) à confondre le constituant (atome) et le constitué (molécule) et donc à croire que ce sont les atomes qui contiennent des molécules ;
4. Le schéma rond de l'atome, aussi peu significatif pour les deux ensembles, l'est davantage chez les grecs.

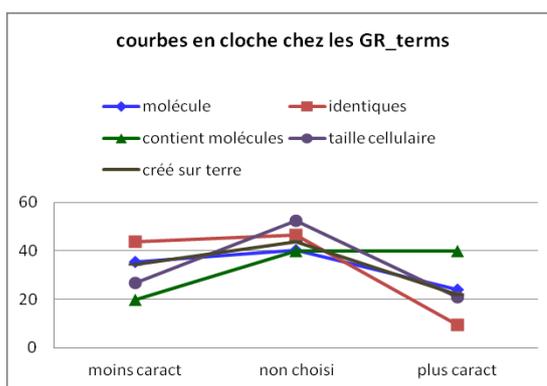
À partir des valeurs que prennent les trois modalités (cf. tableau 13.15) liées au degré de représentativité des items à l'égard de l'atome, nous avons construit les courbes de fréquence, comme le montrent les graphes suivants :



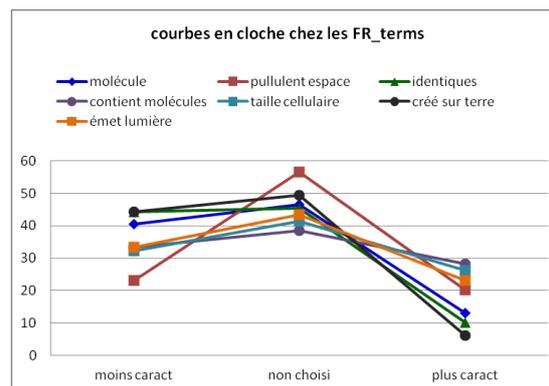
Graph 13.30 : éléments représentatifs



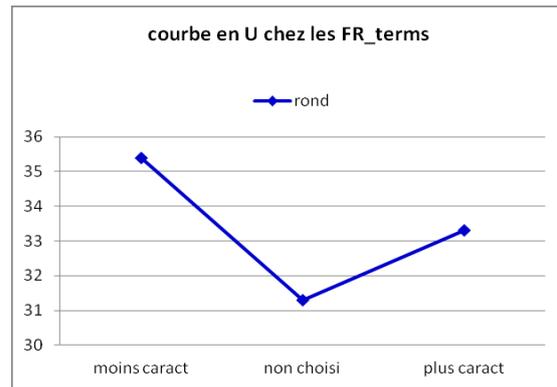
Graph 13.31 : éléments représentatifs



Graph 13.32 : éléments périphériques



Graph 13.33 : éléments périphériques



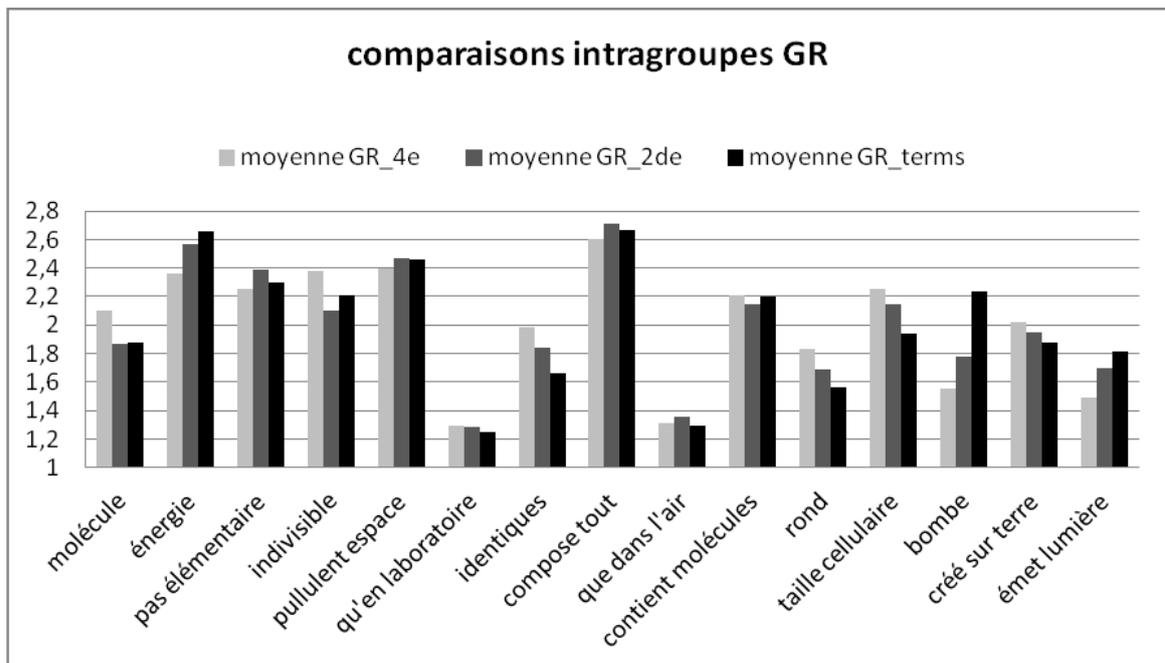
Graphe 13.34 : élément dichotomique

Nous remarquons que les deux groupes d'enquêtés ont sélectionné les mêmes items comme des éléments caractéristiques de l'atome. De plus, tous les éléments périphériques « grecs » font aussi partie de la famille d'éléments périphériques française.

Après avoir exploré l'écho des items proposés auprès des élèves des trois niveaux scolaires, passons maintenant à l'évolution des moyennes, d'un niveau au suivant puis à propos de l'ensemble des échantillons grec et français.

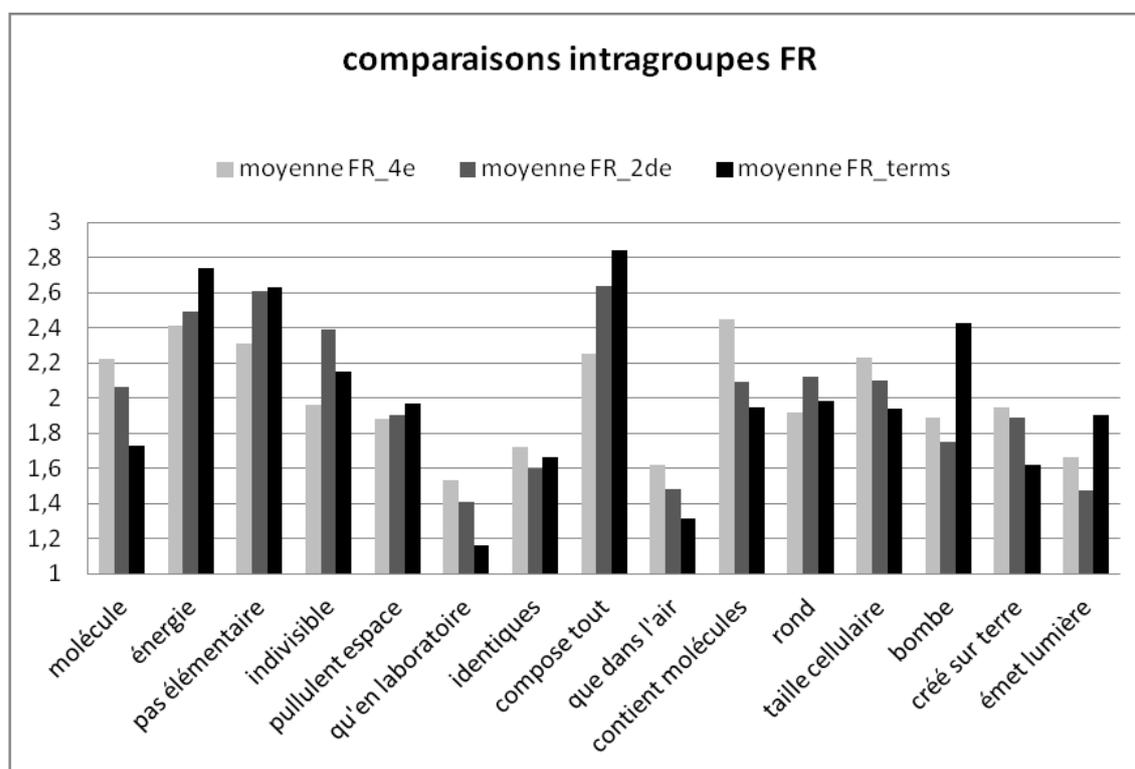
13.2.4 Comparaisons intragroupes. Ensemble des grecs et ensemble des français

Nous représentons par histogrammes l'évolution dans les moyennes, relative aux sous-ensembles, grec (cf. graphe 13.35) et français (cf. graphe 13.36). À remarquer que la valeur minimale dans l'axe des ordonnées est fixée, pour des raisons de lisibilité, à 1.



Graphe 13.35 : Évolution de la moyenne par item, de la 4^e à la terminale, chez les grecs

Parmi ces items, des tendances purement ascendantes sont les suivantes : « l'atome contient de l'énergie », item qui renforce son poids en terminale vers les plus caractéristiques de l'atome ; la bombe et l'émission de lumière qui, cependant, demeurent des traits peu caractéristiques pour les répondants. En contraste, nous observons des tendances descendantes notamment quant aux items, tels que « tous les atomes sont identiques », « l'atome est rond », « aussi petit que la cellule » (qui était le cinquième le plus important chez les collégiens grecs) et, enfin, « créé sur Terre ». De manière analogue, pour les français nous avons :



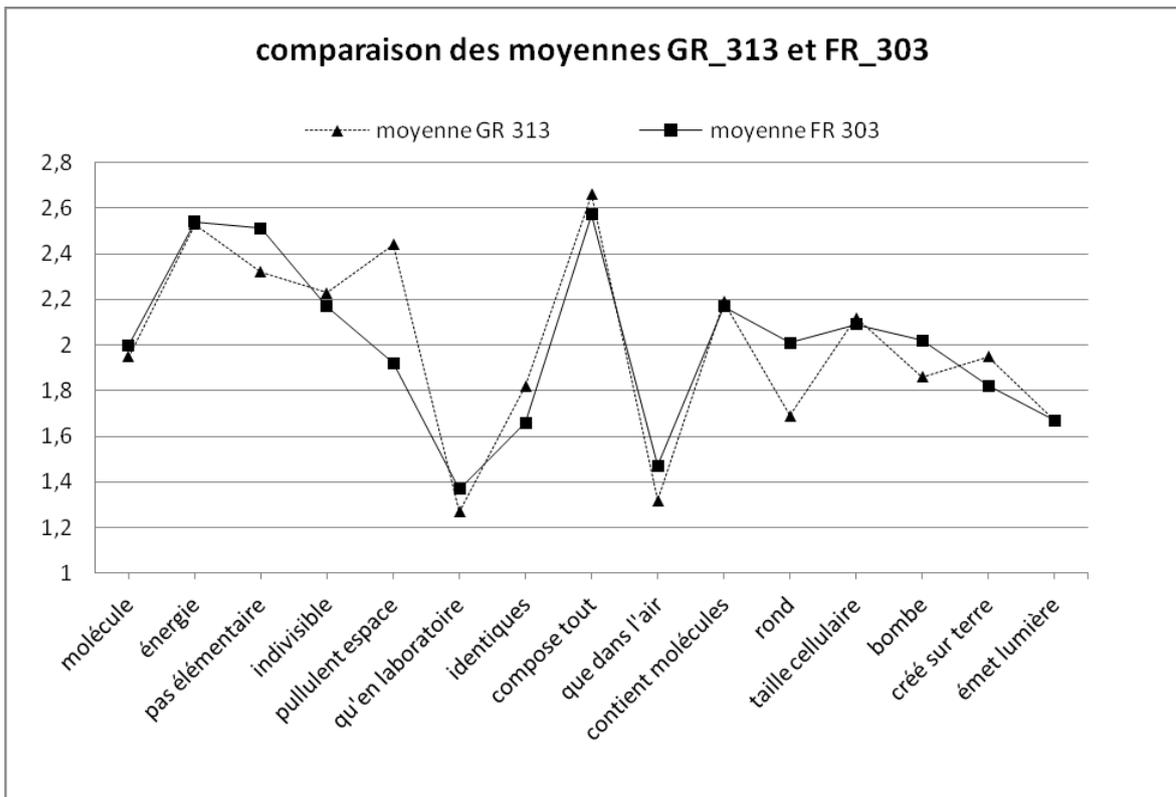
Graphe 13.36 : Évolution de la moyenne par item, de la 4^e à la terminale, chez les français

Pratiquement, trois items ont des tendances ascendantes et attirent notre attention : « l'atome compose tout », devenant, d'un item neutre, le plus caractéristique chez les élèves de terminale ; « l'atome contient de l'énergie » ; « l'atome est composé d'autres constituants » et « bombe atomique » complétant la liste des quatre premiers traits les plus importants, chez les lycéens de terminale. En revanche, nous soulignons les tendances descendantes des items : « atome = molécule » ; « atome formé par des molécules » (qui est le plus significatif auprès les collégiens français) ; « taille cellulaire » ; « atome créé sur Terre » ; « il n'existe qu'en laboratoire » ; « il n'existe que dans l'air ». Ces quatre derniers étaient des items plutôt indifférents, même pour les collégiens.

Les mêmes analyses effectuées avec le logiciel SIMI 2000© conduisent aux statistiques données par le tableau 13.16 et visualisées par le graphe 13.37, qui permet de comparer les moyennes des items.

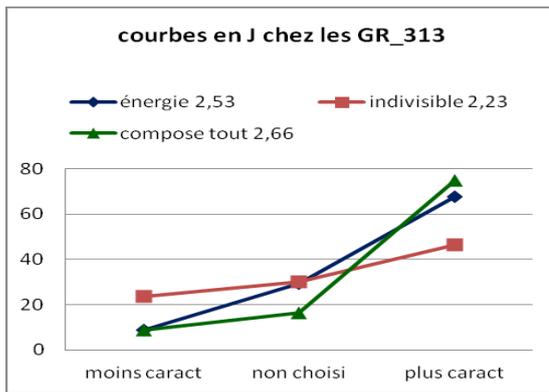
Tableau 13.16 : Représentativité des items de caractérisation, chez les deux ensembles, grec et français

items	plus caract.		non choisi		moins caract.		moyenne	
	GR	FR	GR	FR	GR	FR	GR	FR
molécule	27,2	31,0	40,4	38,3	32,4	30,7	1,95	2,00
énergie	67,7	66,7	29,4	21,1	8,9	12,2	2,53	2,54
pas élémentaire	46,3	61,1	39,0	29,4	14,7	9,6	2,32	2,51
indivisible	46,3	43,2	30,2	30,4	23,5	26,4	2,23	2,17
pullulent espace	55,1	19,5	34,0	52,8	10,9	27,7	2,44	1,92
qu'en laboratoire	4,2	4,6	18,8	27,7	77,0	67,7	1,27	1,37
identiques	16,9	12,3	48,6	41,4	34,5	46,4	1,82	1,66
compose tout	74,8	67,3	16,3	22,4	8,9	10,2	2,66	2,57
que dans l'air	6,1	9,2	19,5	28,7	74,4	62,0	1,32	1,47
contient molécules	41,5	39,3	35,8	28,7	22,7	22,8	2,19	2,17
rond	17,9	37,3	33,5	26,1	48,6	36,6	1,69	2,01
taille cellulaire	34,2	35,0	43,1	38,9	22,7	26,1	2,12	2,09
bombe	28,8	39,6	28,1	23,1	43,1	37,3	1,86	2,02
créé sur terre	23,3	17,5	48,2	47,2	28,4	35,3	1,95	1,82
émet lumière	15,0	16,2	36,7	35,0	48,2	48,8	1,67	1,67

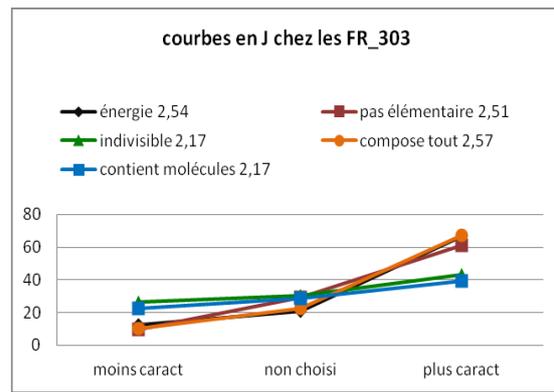


Graphe 13.37 : Aspects comparatifs de la moyenne par item, chez les ensembles généraux grec et français

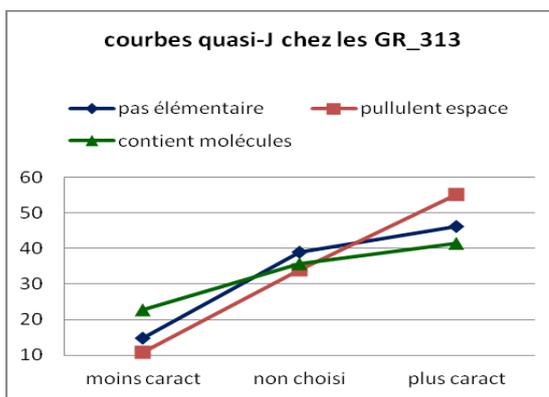
Ce graphe met en évidence la coïncidence des deux ensembles dans neuf items parmi les quinze proposés. S'agissant de quatre items supplémentaires (atome pas élémentaire, tous identiques, l'atome n'existe que dans l'air et bombe atomique) la différence dans les moyennes calculées varie entre 0,15 et 0,19. En définitive, une dichotomie considérable peut être réperée autour des cinquième et onzième items : des atomes pullulent dans l'espace et l'atome est rond. Parce que les élèves provenant des deux pays manifestent un comportement plutôt comparable, nous tentons par la suite d'entremêler leurs réponses en un fichier uniformisé, à partir duquel nous allons relancer les programmes du logiciel. Suivent les courbes de fréquence pour les deux ensembles, grec et français.



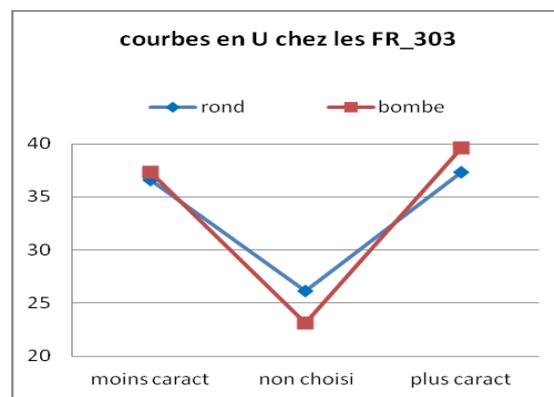
Graphe 13.38 : éléments représentatifs



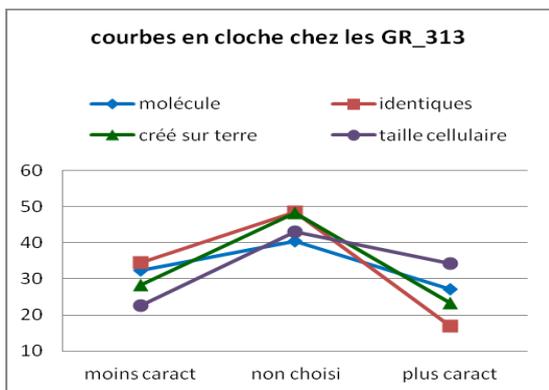
Graphe 13.39 : éléments représentatifs



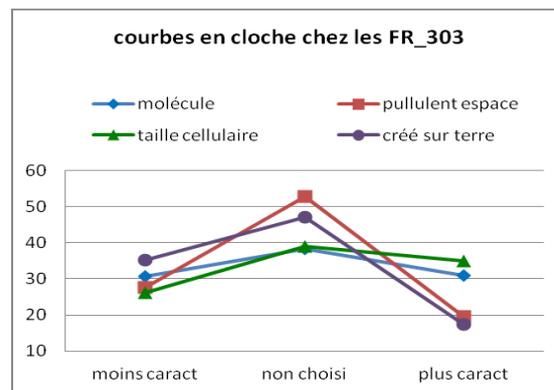
Graphe 13.40 : éléments plutôt représentatifs



Graphe 13.41 : éléments dichotomiques



Graphe 13.42 : éléments périphériques



Graphe 13.43 : éléments périphériques

Encore une fois, les deux groupes manifestent un comportement comparable, voire identique, en ce qui concerne le classement des items proposés. La signification de la représentation qu'ils se font de l'atome combine des éléments issus d'un aspect corpusculaire de la matière, aussi issus d'un modèle de l'atome daltonien (et non pas pourvu de structure interne) et d'autres, renvoyant aux effets énergétiques de l'atome.

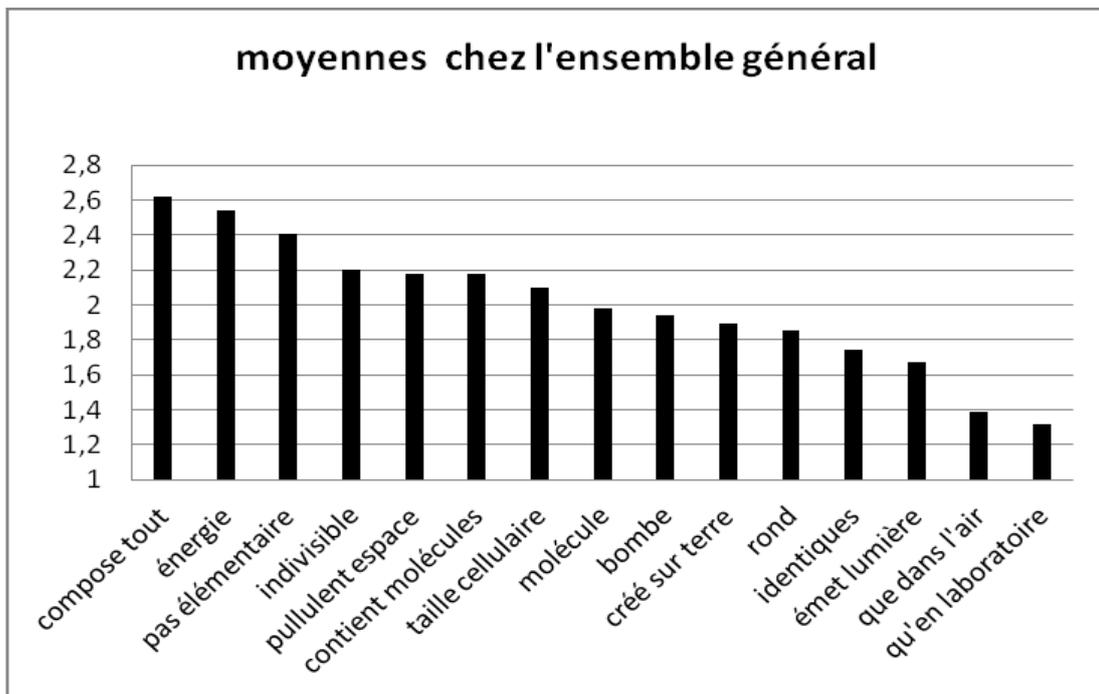
13.2.5 Ensemble général (N = 616)

Les résultats de la démarche statistique pour l'échantillon général sont donnés dans le tableau 13.17 ci-dessous :

Tableau 13.17 : représentativité des items de caractérisation, chez l'ensemble général.

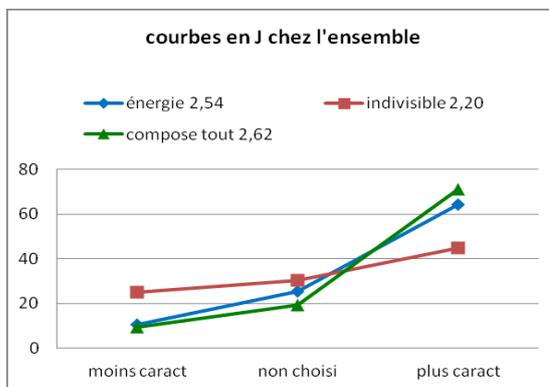
items	plus caract.	non choisi	moins caract.	moyenne
molécule	29,1	39,3	31,5	1,98
énergie	64,1	25,3	10,6	2,54
pas élémentaire	53,6	34,3	12,2	2,41
indivisible	44,8	30,3	24,9	2,20
pullulent espace	37,6	43,3	19,2	2,18
qu'en laboratoire	4,4	23,2	72,4	1,32
identiques	14,6	45,0	40,3	1,74
compose tout	71,1	19,3	9,6	2,62
que dans l'air	7,6	24,0	68,3	1,39
contient molécules	40,4	36,9	22,7	2,18
rond	27,4	29,9	42,7	1,85
taille cellulaire	34,6	41,1	24,4	2,10
bombe	34,1	25,6	40,3	1,94
créé sur terre	20,5	47,7	31,8	1,89
émet lumière	15,6	35,9	48,5	1,67

Le graphe 13.44, ci-après, fournit les moyennes de chaque item par ordre décroissant. Notons que les trois premiers items concrétisent le champ sémantique dominant auprès de l'échantillon global, tandis que les quatre derniers (toujours parmi les items proposés par nous) ne semblent pas être caractéristiques de l'atome. Les items intermédiaires, peu sélectionnés par la majorité des sujets (moyennes aux environs de 2), disposent peut-être d'un certain degré d'importance non pas généralisée, mais pour un nombre de sujets constituant un sous-ensemble de la population.

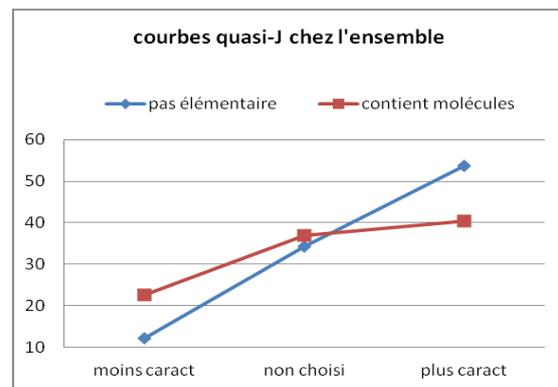


Graphe 13.44 : moyennes par item triées par ordre décroissant, pour l'échantillon général

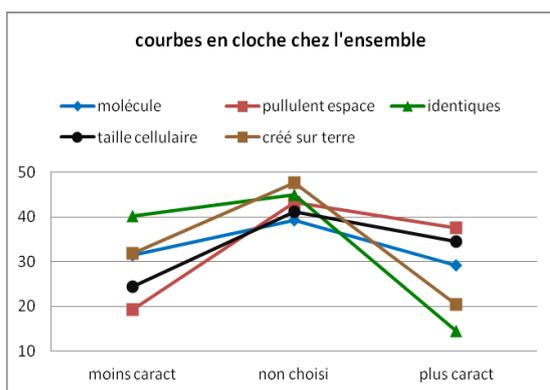
Nous terminons cette section par la donnée des courbes de fréquence qui distinguent les éléments caractéristiques des autres, moins importants vis-à-vis de l'atome, telles qu'elles émergent des réponses des élèves :



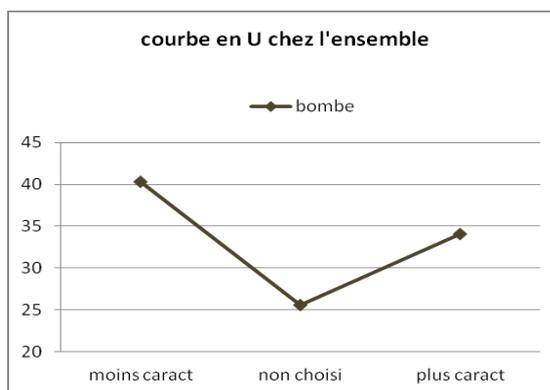
Graphe 13.45 : éléments représentatifs



Graphe 13.46 : éléments plutôt représentatifs



Graph 13.47 : éléments périphériques



Graph 13.48 : élément dichotomique

Nous pouvons conclure de ces graphes que le modèle de l'atome - boule coexiste avec la conception d'un atome qui n'est pas élémentaire, contenant des molécules. Enfin, les élèves se partagent devant la question de savoir si la « bombe » (et, par extension, le nucléaire et ses retombées) peut être considérée comme un élément saillant de l'atome, ou non.

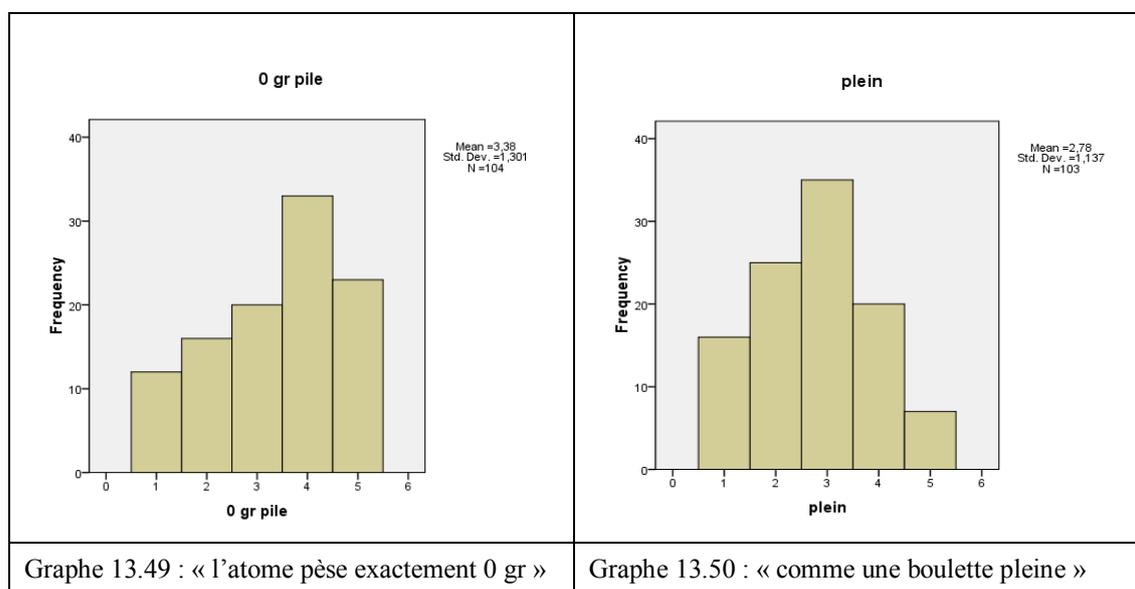
13.3 Question 3

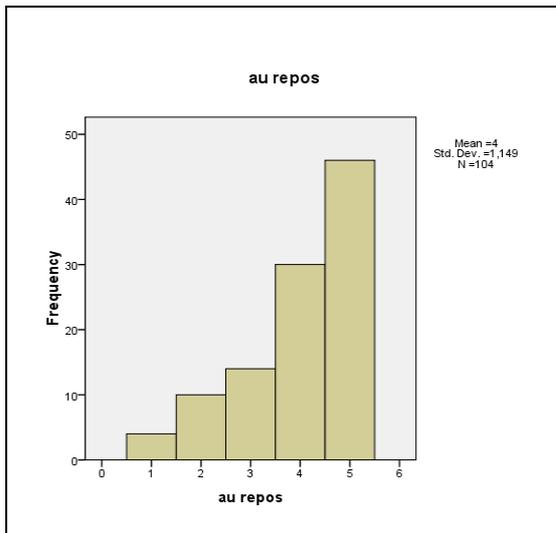
La question à échelle d'Osgood (dite sémantique différentielle) incite les individus à se positionner à propos de certains énoncés, constitués en réalité de deux pôles antinomiques, deux parties contradictoires, afin que le chercheur connaisse les perceptions dominantes (cf. questionnaire annexe 3). Dans notre cas paradigmatique, cinq échelons composent l'échelle bipolaire qui est associée à huit caractéristiques ou informations de sens opposé inhérentes à l'atome. Pour rappel, les évaluations sont codifiées de 1 (l'affirmation : tout-à-fait d'accord avec la partie gauche de l'énoncé) à 5 (l'infirmité : pas du tout d'accord avec la partie gauche ou, alternativement, tout-à-fait d'accord avec la partie droite de l'énoncé). Les jugements intermédiaires apportent de 2 à 4 points, avec la modalité de réponse neutre de type « ne sais pas » valant 3 points. Notons au passage que le langage utilisé dans la rédaction de ces phrases s'apparente plutôt à celui de sens commun qu'au discours issu de la science. Cette contrainte a été imposée par l'intention que nous portions de destiner cette question à tous les individus participant à la recherche (y compris les petits collégiens) : des termes scientifiques, tels que masse, proton, etc., étant donc à éviter. Nous sommes aussi soucieux de faire alterner la place des bonnes réponses (à gauche, à droite). En ce sens, la partie d'énoncé qui est correcte dans les quatre

premiers cas ainsi qu'au sixième se situe à droite des échelons, et pour les autres se localise à gauche. Le traitement des données a été effectué à l'aide du logiciel SPSS 16©. Plus précisément, les analyses de statistique descriptive fournissent des moyennes, des médianes et des écarts-types, par énoncé envisagé. Nous procédons en fonction du niveau scolaire et séparément pour les groupes des français et des grecs, puis nous nous attardons sur leur ensemble concernant chaque niveau. Enfin, nous travaillons sur l'échantillon général.

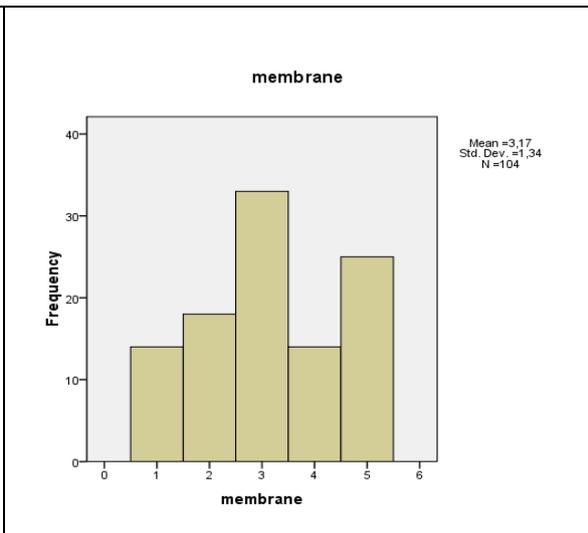
13.3.1 Grecs de quatrième (N = 104)

Le logiciel, à partir des scores des cinq modalités affichés dans les tableaux des fréquences, produit les histogrammes suivants illustrant ces résultats. Aussi, en haut à droite des zones du traçage, sont automatiquement notées les valeurs des moyennes et des écarts-types, ainsi que l'effectif net des répondants à une sous-question donnée. Ces données figurent aussi dans le tableau 13.18, plus bas.

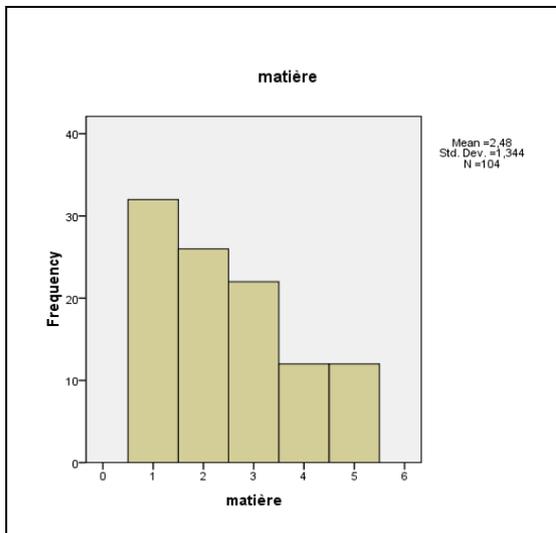




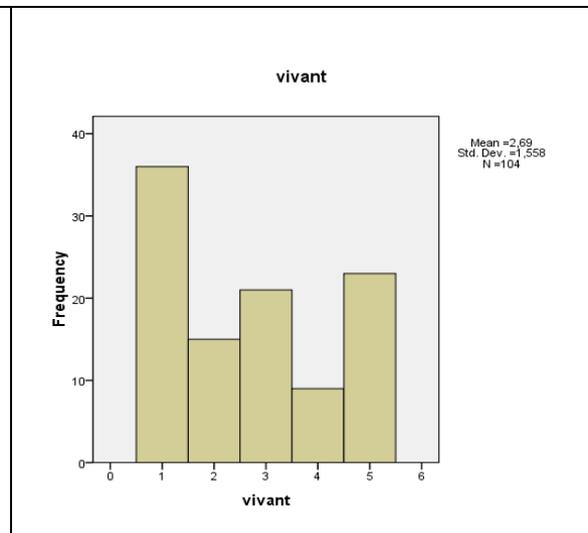
Graph 13.51 : « est au repos »



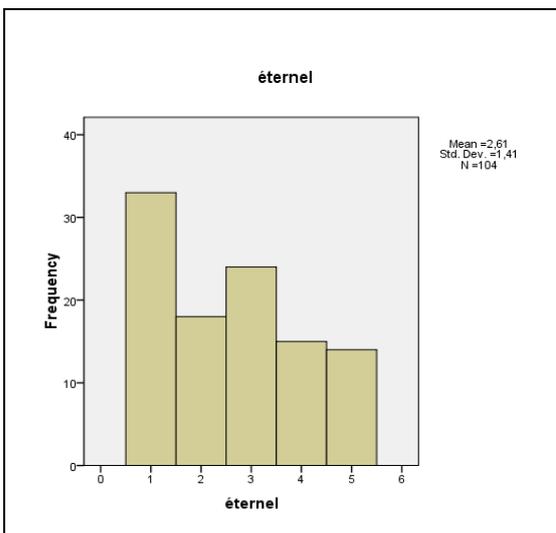
Graph 13.52 : « a une membrane externe »



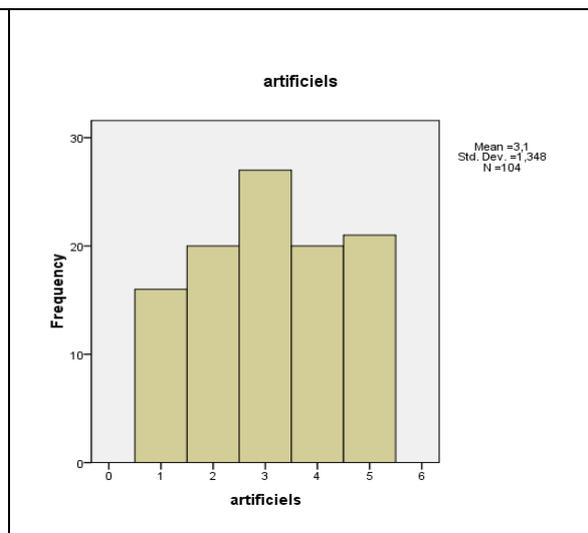
Graph 13.53 : « c'est de la matière »



Graph 13.54 : « c'est du vivant »

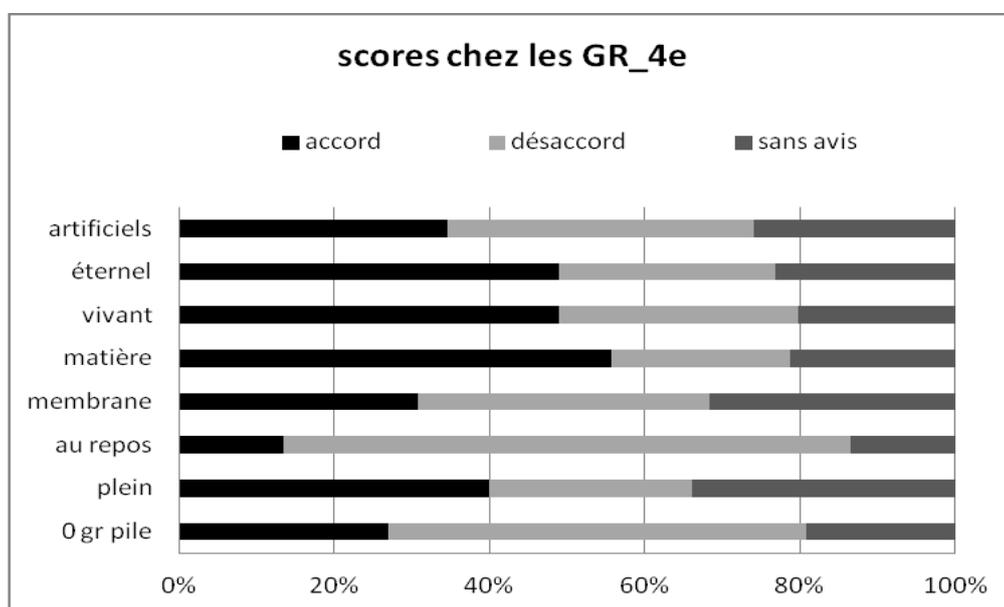


Graph 13.55 : « éternel, impérissable »



Graph 13.56 : « l'homme a fabriqué des atomes »

Tout d'abord, il ressort de ces graphes une dispersion des élèves parmi les différentes modalités de réponse, à l'exception de la troisième et de la cinquième sous-question. Généralement, les résultats autour des items 1, 3, 5 et 7 vont dans le bon sens, alors que la question de savoir si l'atome constitue une entité du monde vivant semble être assez énigmatique, puisqu'en regard aux phrases associées (*i.e.* les 4^{es} à 6), les élèves se partagent. Pour des raisons d'économie dans la lecture des résultats, on peut réduire les cinq modalités de départ aux trois suivantes : la fusion des échelons 1 et 2 conduit en un seul, « accord » ; de même, les échelons 4^{es} à 5 considérés ensemble illustrent un aperçu du « désaccord » (cf. graphe 13.57, ci-dessous), la modalité « sans réponse » demeurant intacte :



Graphe 13.57 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

Sans avoir à repérer des positionnements très différenciés, car les valeurs des moyennes fluctuent autour de 3, le fait que l'atome est de nature matérielle et se trouve en mouvement perpétuel apparaît cependant être relativement incontestable pour les collégiens grecs. En outre, nous observons une trichotomie à l'intérieur de cet échantillon face à certains énoncés, peu compréhensibles et hors programmes à ce niveau scolaire, comme le premier ou bien les deux derniers. Le tableau 13.18 synthétise les paramètres statistiques tels qu'ils sont sortis du logiciel :

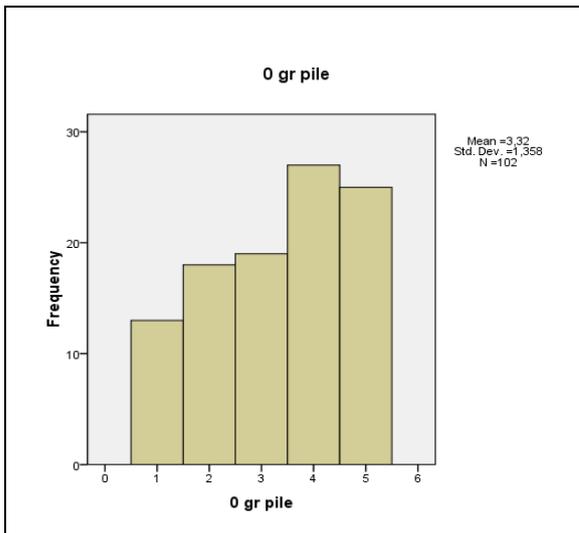
Tableau 13.18 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par énoncé, chez les GR_4^e**Statistics**

		0 gr pile	plein	au repos	membrane	matière	vivant	éternel	artificiels
N	Valid	104	103	104	104	104	104	104	104
	Missing	0	1	0	0	0	0	0	0
Mean		3,38	2,78	4,00	3,17	2,48	2,69	2,61	3,10
Median		4,00	3,00	4,00	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00
Std. Deviation		1,301	1,137	1,149	1,340	1,344	1,558	1,410	1,348
Variance		1,693	1,293	1,320	1,795	1,805	2,429	1,989	1,816

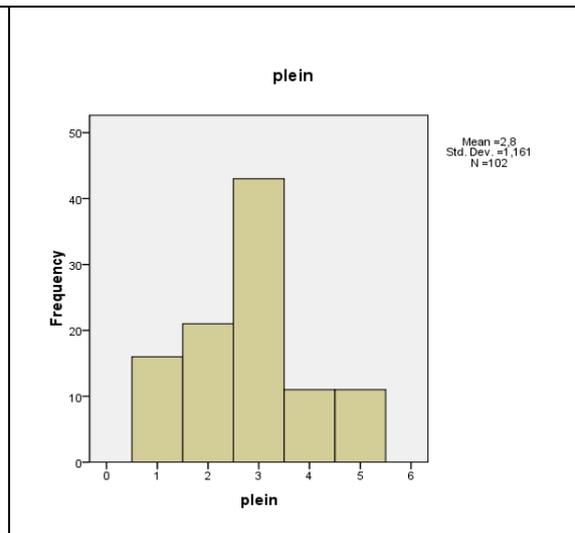
Les écarts-types les plus faibles correspondent aux deuxième et troisième items, à savoir les élèves tendent à construire, de façon cohérente, la conception de l'atome-boule en agitation perpétuelle, mais plutôt au sens des molécules de dioxygène dans l'air par exemple et non pas au sens d'agitation thermique. Enfin, bien que la moitié des élèves pensent à un atome - être vivant, cette conception ne connaît qu'une cohésion fragile au sein de ce groupe, compte tenu de la valeur très forte de l'écart-type de la sixième variable. Il est à noter que 40 % de ces élèves répondent positivement à la dernière sous-question, que l'homme arrive, en définitive, à créer de la vie. Ce paradoxe peut constituer une piste de recherche autour de notre intuition, relative aux résultats issus de la pré-enquête (cf. §12.3, point 10) : est-ce que les élèves pensent que les généticiens qui traitent des biomolécules, devant leur microscope par exemple, créent de la vie ?

13.3.2 Français de quatrième (N = 102) – Comparaisons

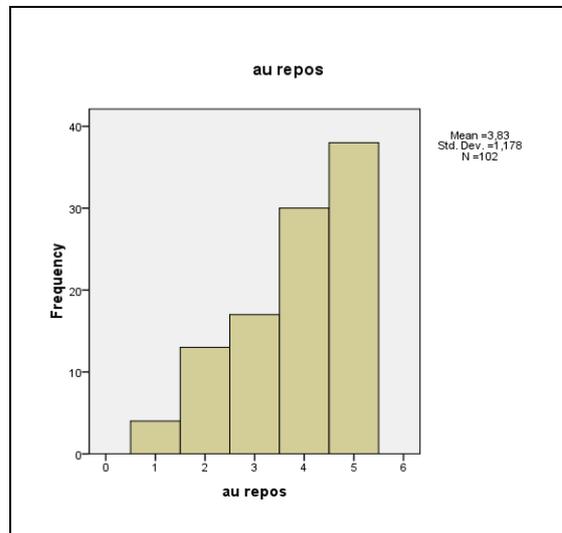
Les graphes illustrant les scores que les collégiens français attribuent aux huit variables sont successivement présentés ci-après :



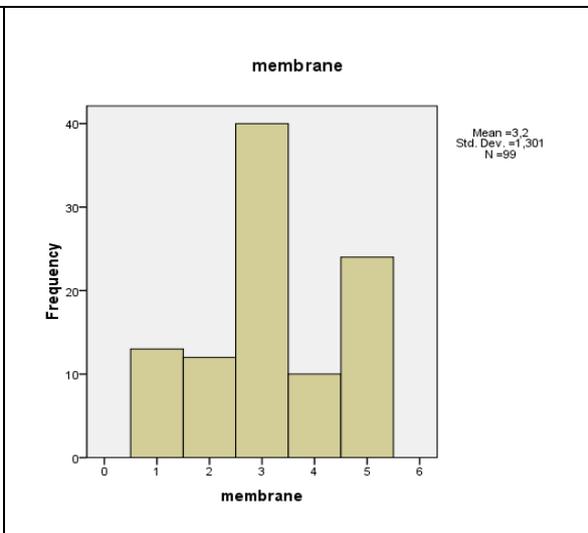
Graphe 13.58 : « l'atome pèse exactement 0 gr »



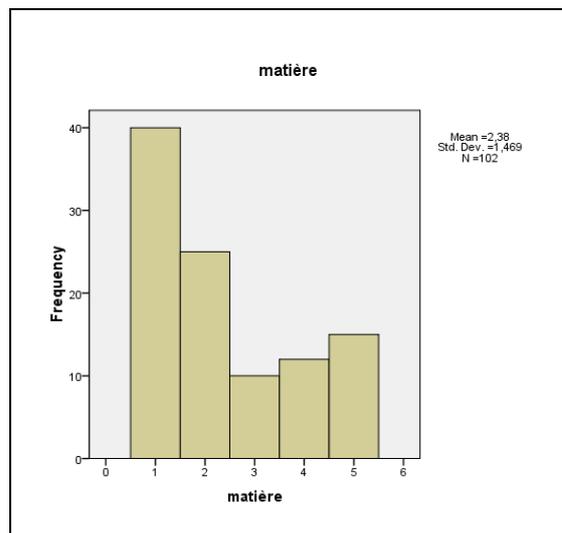
Graphe 13.59 : « comme une boulette pleine »



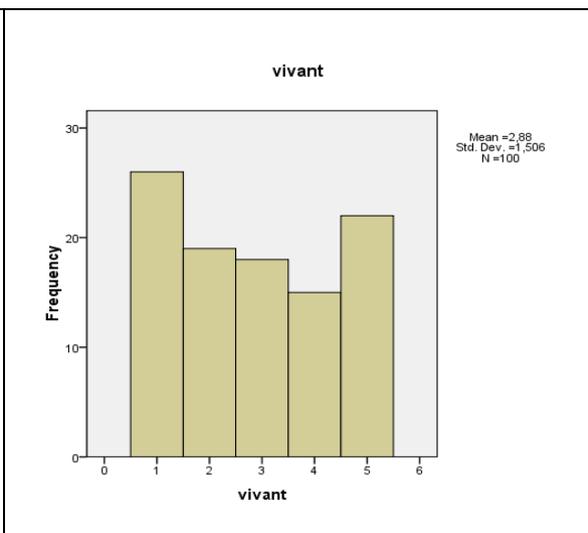
Graphe 13.60 : « est au repos »



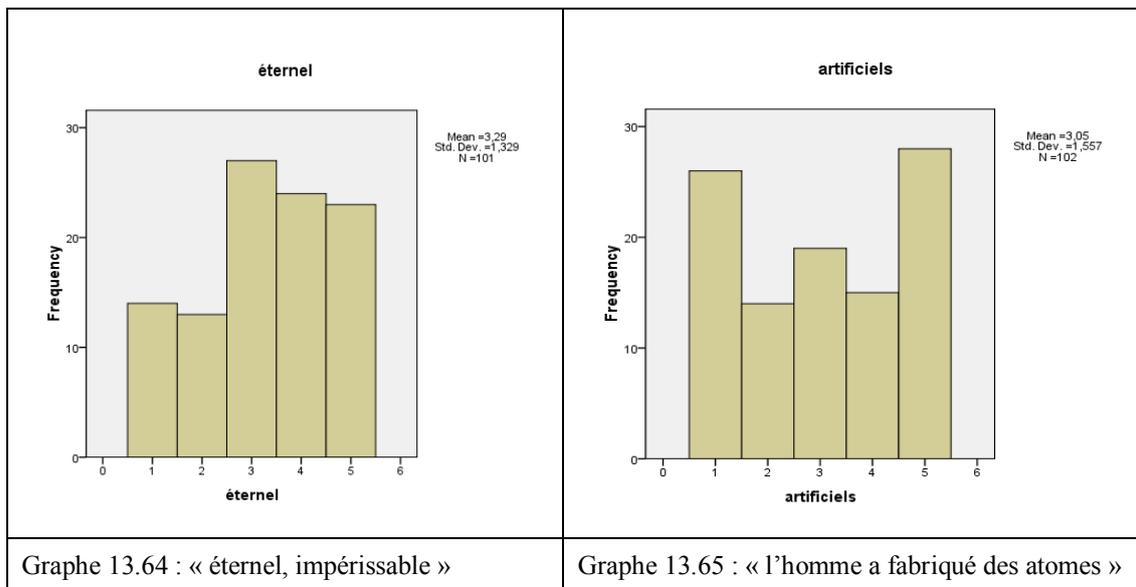
Graphe 13.61 : « a une membrane externe »



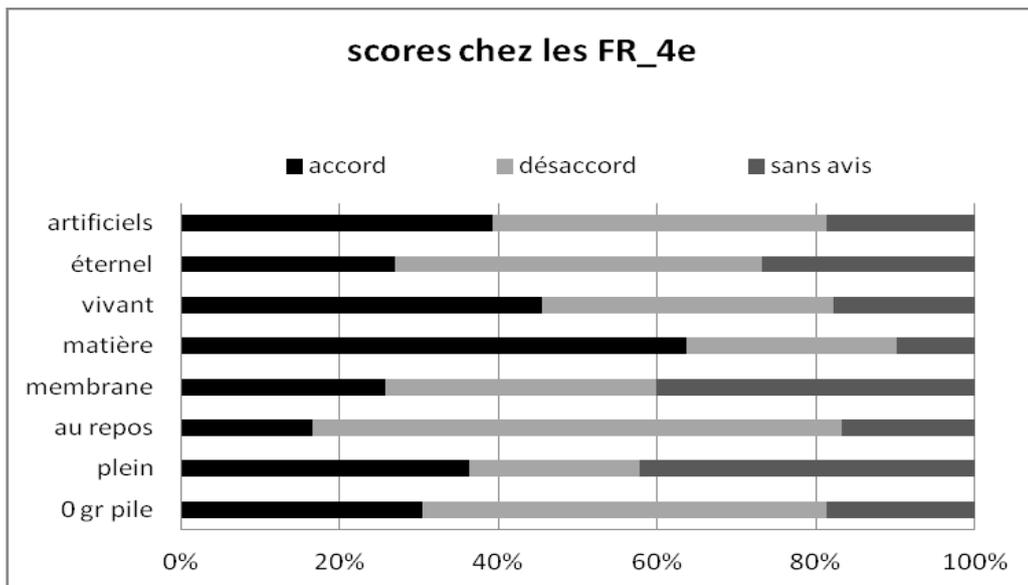
Graphe 13.62 : « c'est de la matière »



Graphe 13.63 : « c'est du vivant »



L'effet de dissémination des réponses dans les cinq modalités persiste même chez les français des classes de quatrième. Néanmoins, il apparaît plus expressément, à propos des items 3 et 5 (comme c'était d'ailleurs le cas grec), qu'un savoir lié à ces deux variables semble être suffisamment ancré, au sein de la transposition dans les deux systèmes d'enseignement. Les enquêtés réussissent à anticiper la bonne réponse aux sous-questions 1, 3 et 5, les autres leur apparaissent soit incompréhensibles (par exemple, les deux dernières), soit dichotomiques (comme la sixième). Le graph 13.66 offre un accès plus rapide aux résultats dégagés, à la base des trois modalités réduites :



Graphe 13.66 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

Si on voulait discerner les comportements les plus catégoriques, à savoir détecter les items dont la moyenne s'écarte au plus de 3 dans l'un des sens ou dans l'autre, on constaterait que les français se représentent (eux aussi) l'atome comme une quantité de matière en mouvement perpétuel. Les indicateurs statistiques calculés par le logiciel sont affichés dans le tableau suivant :

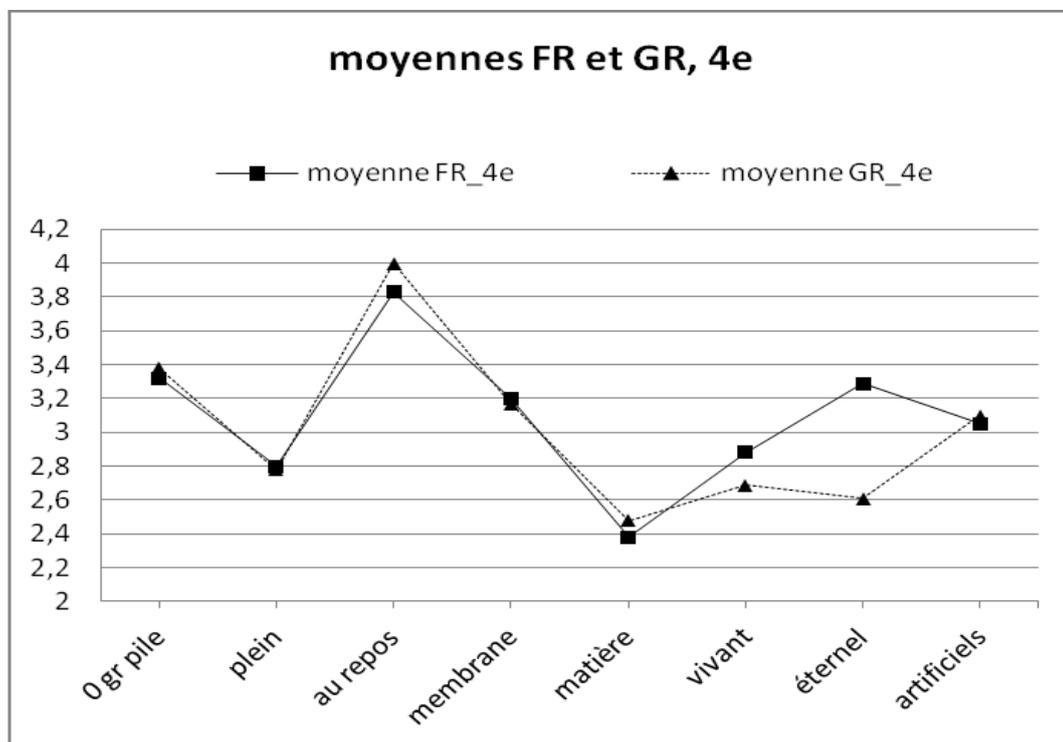
Tableau 13.19 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par énoncé, chez les FR_4^e

		Statistics							
		0 gr pile	plein	au repos	membrane	matière	vivant	éternel	artificiels
N	Valid	102	102	102	99	102	100	101	102
	Missing	0	0	0	3	0	2	1	0
	Mean	3,32	2,80	3,83	3,20	2,38	2,88	3,29	3,05
	Median	4,00	3,00	4,00	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00
	Std. Deviation	1,358	1,161	1,178	1,301	1,469	1,506	1,329	1,557
	Variance	1,845	1,347	1,388	1,693	2,159	2,268	1,767	2,423

Le calcul des écarts-types montre que les sujets entretiennent massivement la conception daltonienne de l'atome (c'est-à-dire, celle établie par la transposition didactique), car la variable inhérente (cf. « plein », tableau 13.19) obtient l'écart-type le plus bas. En revanche, l'avis que l'atome est de l'ordre du vivant ne semble pas être assez consolidé au sein de ce groupe. À peine plus élevé arrive l'écart-type du troisième énoncé, les autres

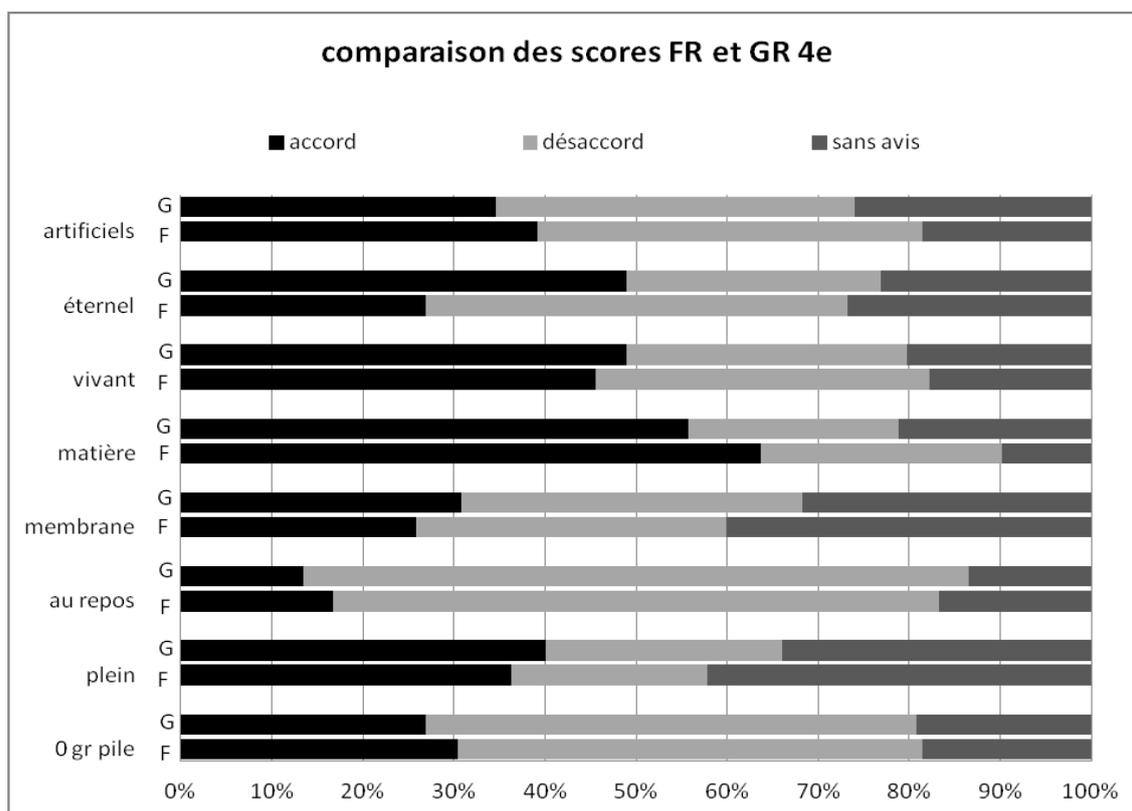
étant assez importants, pour ainsi confirmer le constat principal de dispersion des réponses fournies par les collégiens.

Après avoir étudié les réactions des deux groupes d'élèves envers les huit énoncés, nous procédons à un point de vue comparatif au moyen des deux graphes qui suivent :



Graphe 13.67 : Comparaisons des moyennes françaises et grecques. Les labels utilisés doivent être entendus au sens des légendes au-dessous des histogrammes

En général, plus la moyenne est faible, plus il y a accord avec la partie gauche de l'énoncé. Ce graphique révèle donc la convergence prodigieuse dans les moyennes françaises et grecques vis-à-vis de la plupart des phrases, aux seules exceptions de la sixième et de l'avant-dernière, par rapport à laquelle uniquement les deux groupes s'opposent (les marqueurs se situent en deçà et delà de la droite $y = 3$, dans le repère (y symbolisant les ordonnées, cf. axe vertical). Beaucoup plus intéressant est le graphe suivant d'où émergent des réactions vraiment ressemblantes entre les deux échantillons. Se pose ainsi la question de savoir si, et comment, les spécificités transpositives influent sur les résultats. Une tentative d'aborder cette question est opérée au paragraphe suivant qui considère l'ensemble des deux groupes.



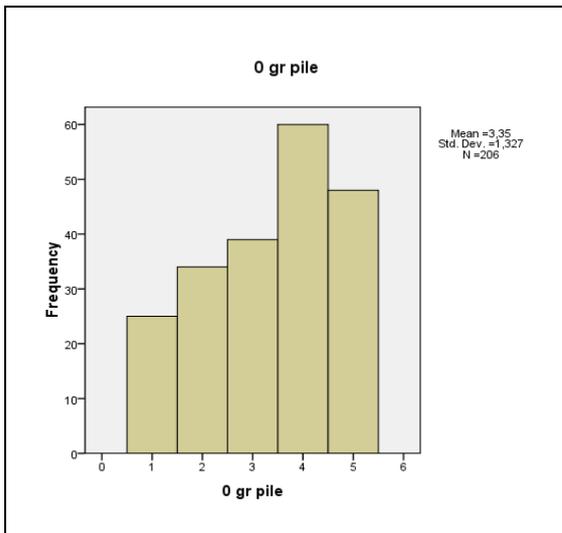
Graphe 13.68 : Point de vue comparatif entre les groupes de la classe de quatrième (F pour français ; G pour grecs)

Comme nous avons pu le constater, la divergence majeure entre les grecs et les français réside dans l'aspect éternel de l'atome, les seconds prêts à croire à l'éventualité qu'ils peuvent se détruire naturellement, l'effet de décroissance radioactive n'étant pas enseigné dans les programmes de ce niveau.

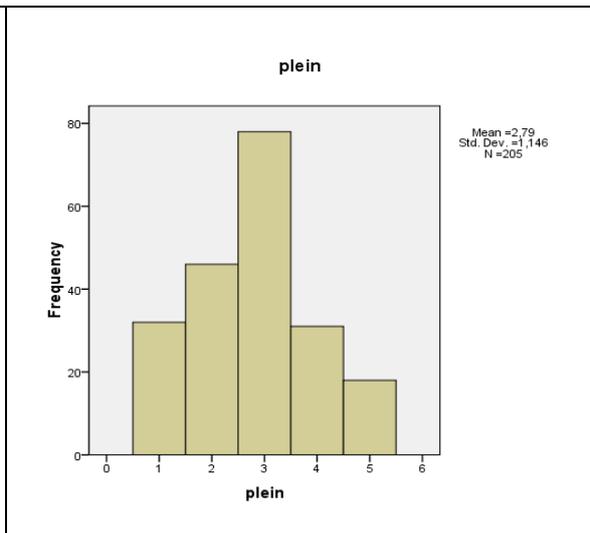
Nous relançons par la suite les mêmes types d'analyse sur SPSS en nous centrant sur l'échantillon global des collégiens.

13.3.3 Ensemble de quatrième (N = 206)

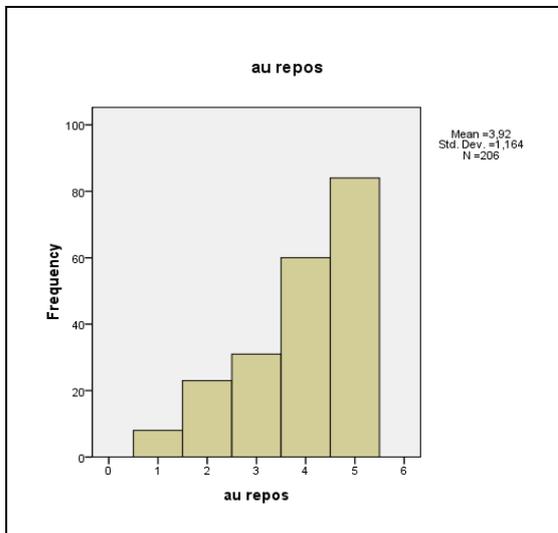
Les histogrammes qui correspondent aux réponses de l'ensemble des élèves en quatrième sont affichés ci-dessous :



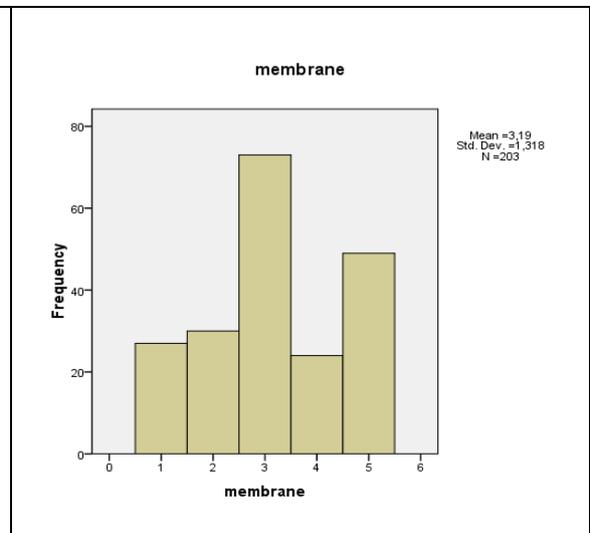
Graphe 13.69 : « l'atome pèse exactement 0 gr »



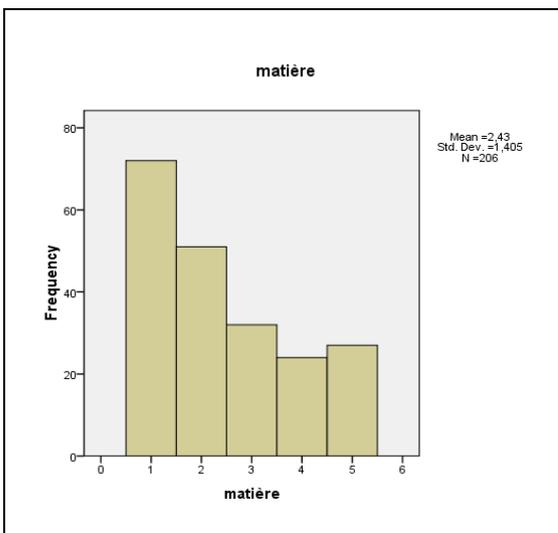
Graphe 13.70 : « comme une boulette pleine »



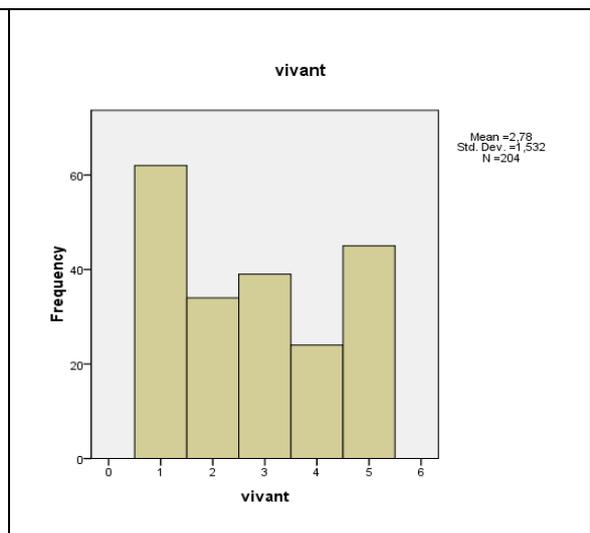
Graphe 13.71 : « est au repos »



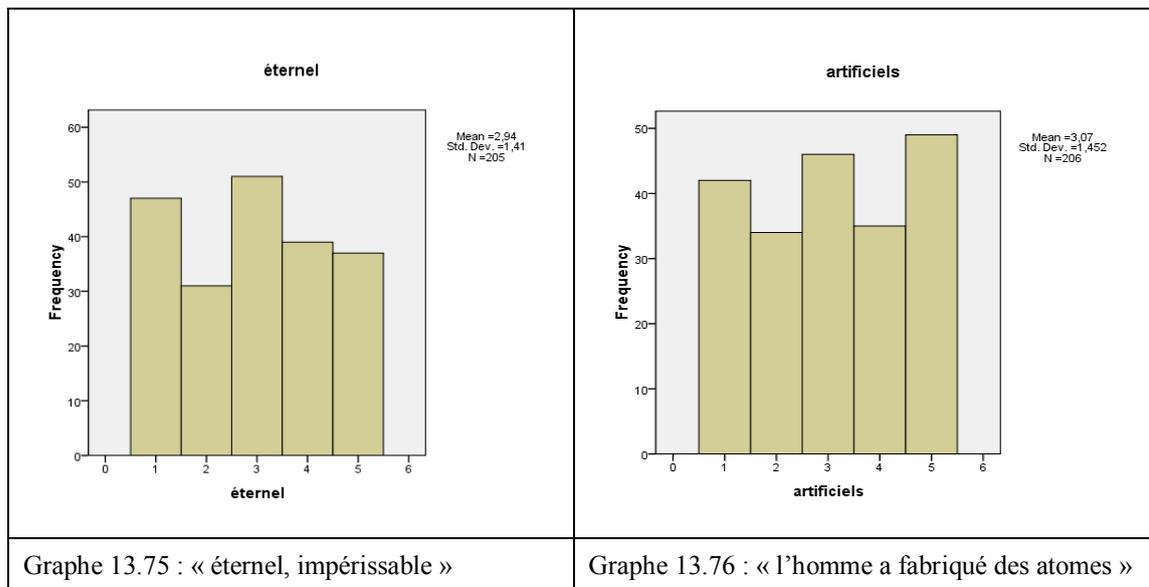
Graphe 13.72 : « a une membrane externe »



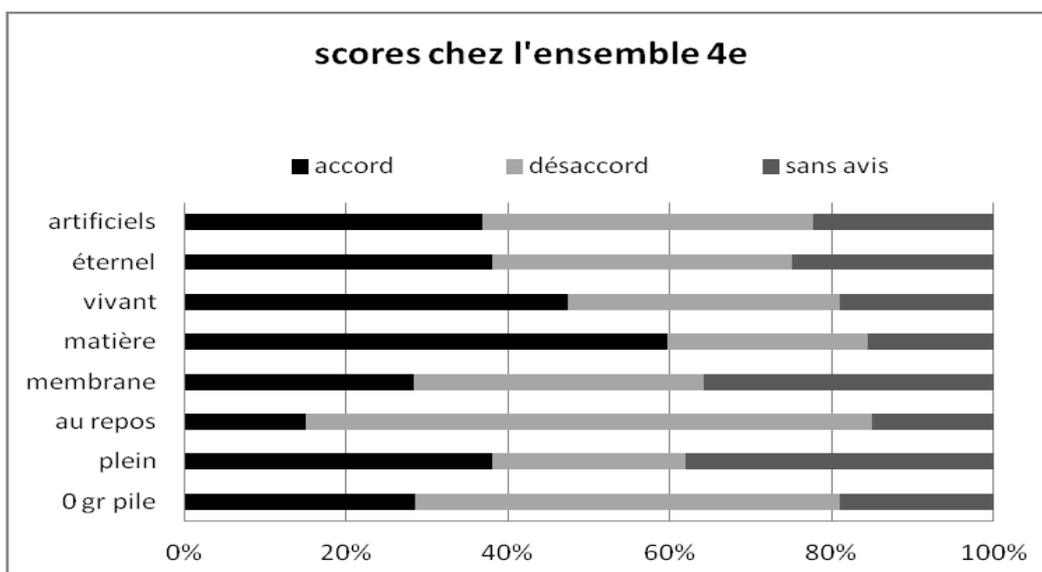
Graphe 13.73 : « c'est de la matière »



Graphe 13.74 : « c'est du vivant »



En règle générale, les réponses notamment aux sous-questions 1, 3 et 5 vont dans le bon sens. Les collégiens hésitent à trancher à propos des variables 2, 4, 7 et 8 dont la modalité neutre, « sans avis », obtient des scores élevés. Ces individus ont, le cas échéant, construit la double conception d'un atome - bille de billard en mouvement incessant et relevant plutôt du règne du vivant. L'image très médiatisée des spermatozoïdes agités vus au microscope pourrait servir d'exemple, pensons-nous, pour illustrer cette conception. Dans une perspective de recherche, il serait intéressant de savoir si les élèves croient que les atomes se déplacent à l'intérieur de la matière solide qu'ils constituent. Une lecture sommaire de ces résultats est offerte par le graphe 13.77, ci-après :



Graph 13.77 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

De manière approximative, six élèves sur dix énoncent que l'atome est fait de matière et cinq sur dix qu'il est vivant. Presque la moitié de ces derniers affirment que l'homme arrive à fabriquer des atomes. En résumé, ces constats mettent en évidence la confusion, chez les apprenants de sciences, entre les structures fondamentales du vivant et celles de l'inerte, les premières à partir de l'échelle microscopique et les secondes à l'échelle nanoscopique, à savoir, hors notre perception. Pour clore, nous fournissons le tableau suivant contenant les autres paramètres statistiques :

Tableau 13.20 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par énoncé, chez l'ensemble de 4^e

Statistics

	0 gr pile	plein	au repos	membrane	matière	vivant	éternel	artificiels
N Valid	206	205	206	203	206	204	205	206
Missing	0	1	0	3	0	2	1	0
Mean	3,35	2,79	3,92	3,19	2,43	2,78	2,94	3,07
Median	4,00	3,00	4,00	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00
Std. Deviation	1,327	1,146	1,164	1,318	1,405	1,532	1,410	1,452
Variance	1,760	1,314	1,354	1,737	1,973	2,347	1,987	2,107

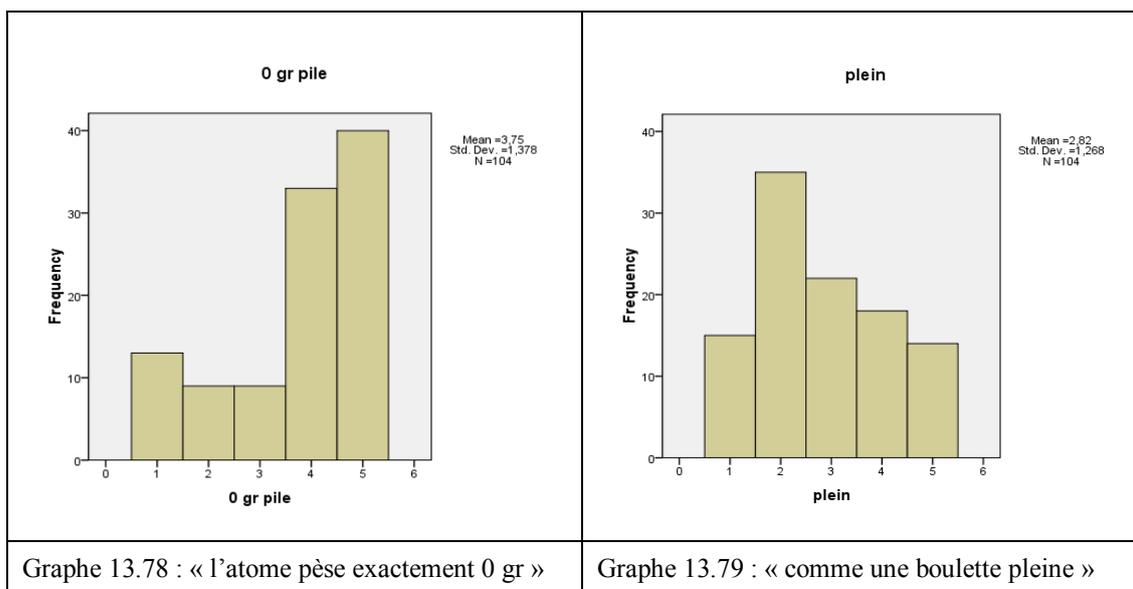
Nous retrouvons l'écart-type minimal dans les deuxième et troisième items, à savoir qu'un nombre important d'élèves se range derrière l'idée d'atome - boulette pleine en état agité. En revanche, autour de la concomitance paradoxale de la représentation d'atome - être

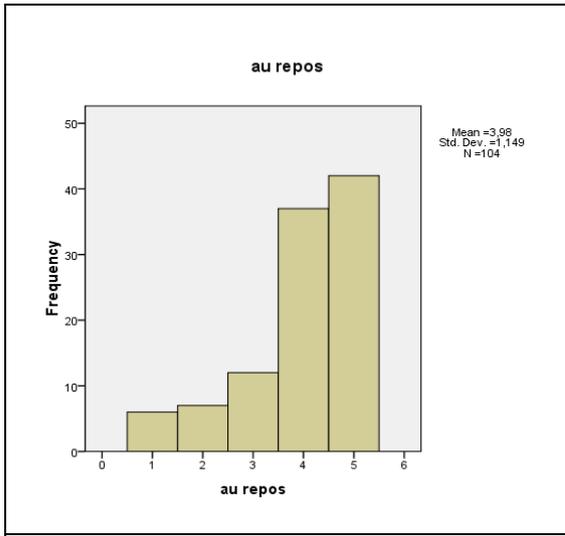
vivant que l'homme peut fabriquer *in vitro* ne s'établit qu'une cohérence douteuse parmi les enquêtés (les items 6 et 8 ont des écarts-types maximaux).

Nous continuons par appliquer les mêmes démarches statistiques auprès de la cohorte d'élèves en seconde, ce qui fait l'objet des sections suivantes.

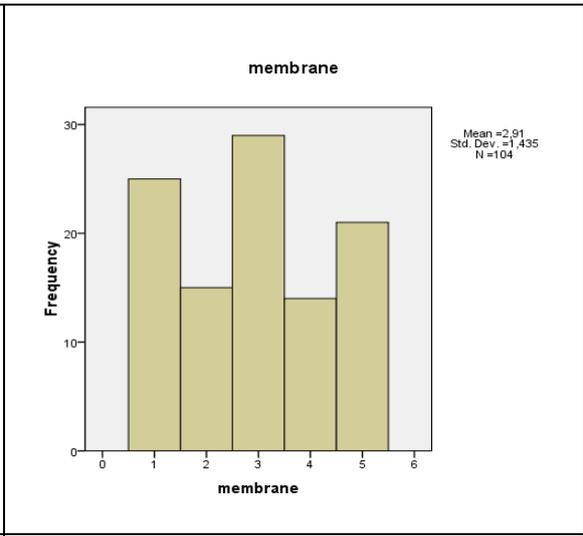
13.3.4 Grecs de seconde (N = 104)

Les tableaux de fréquences une fois établis, le programme traduit les résultats par les graphes suivants, concernant ce groupe d'élèves. Nous rappelons que les indicateurs 1, 2, 3, 4 et 5 de l'axe des abscisses correspondent aux cinq modalités : « tout-à-fait d'accord » (avec la partie gauche de l'énoncé) ; « plutôt d'accord » ; « ne sais pas » ; « plutôt pas d'accord » ; « pas du tout d'accord ».

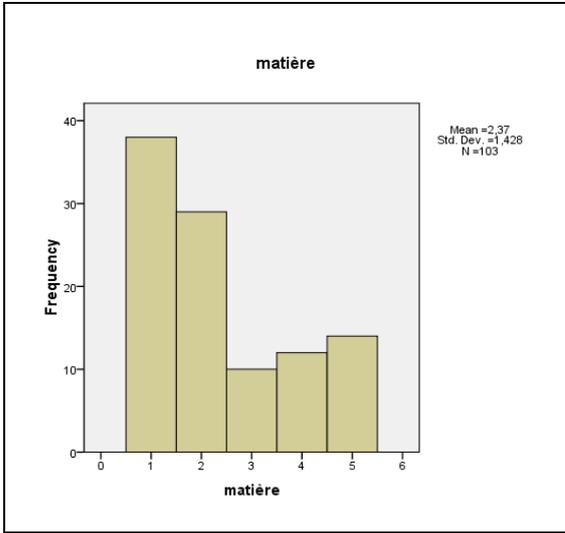




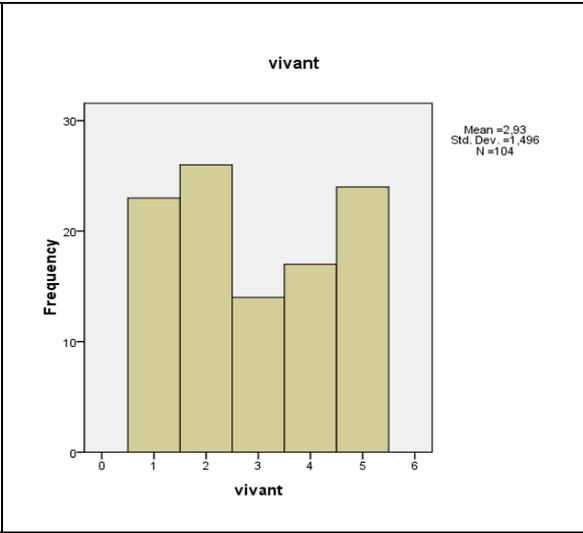
Graphe 13.80 : « est au repos »



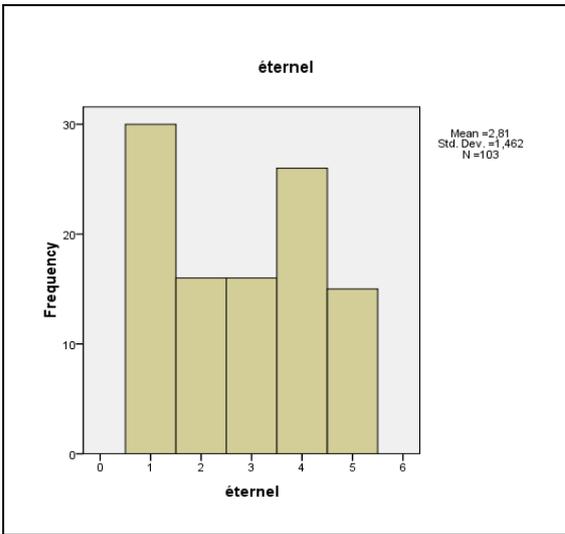
Graphe 13.81 : « a une membrane externe »



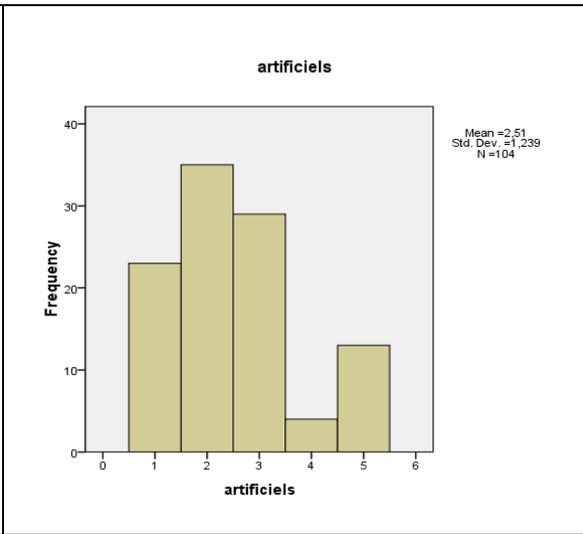
Graphe 13.82 : « est de la matière »



Graphe 13.83 : « c'est du vivant »

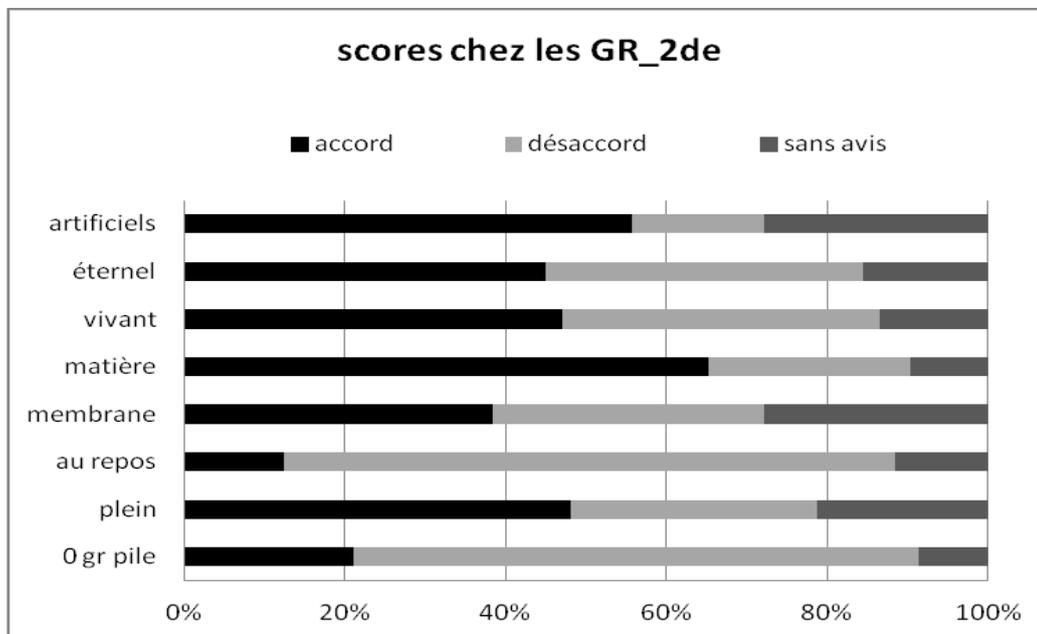


Graphe 13.84 : « éternel, impérissable »



Graphe 13.85 : « l'homme a fabriqué des atomes »

Il est clair que les réponses dans les sous-questions 1, 3, 5 8 vont dans le bon sens. En revanche, les élèves échouent quant à la deuxième, tandis qu'ils se voient partagés envers les phrases 4, 6 et 7. Une visualisation immédiate du positionnement des sujets offre le graphe 13.86, ci-dessous, sous le prisme des modalités réduites :



Graphe 13.86 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

Les positionnements les plus catégoriques portent sur les variables « au repos », « 0 gr pile » et « matière », autrement dit, l'atome contient de la matière, a une certaine masse non nulle et se trouve en mouvement perpétuel. En quatrième rang arrive la certitude, retenue par un peu plus de la moitié de cet échantillon, que la science a réussi à créer des atomes artificiels. Au contraire, un élève sur trois hésite à s'exprimer nettement de manière affirmative ou négative pour cette dernière question, ainsi que pour la quatrième. Pour clore l'analyse quantitative, nous proposons le tableau des indicateurs statistiques élaboré à l'aide de SPSS :

Tableau 13.21 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par énoncé, chez les GR_2de

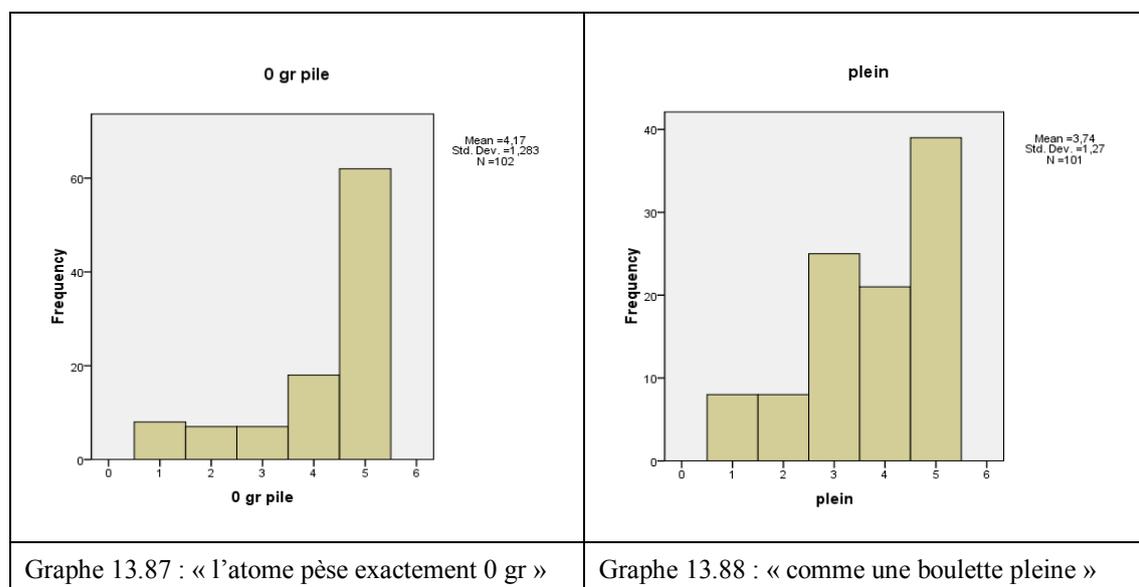
Statistics

	0 gr pile	plein	au repos	membrane	matière	vivant	éternel	artificiels
N Valid	104	104	104	104	103	104	103	104
Missing	0	0	0	0	1	0	1	0
Mean	3,75	2,82	3,98	2,91	2,37	2,93	2,81	2,51
Median	4,00	3,00	4,00	3,00	2,00	3,00	3,00	2,00
Std. Deviation	1,378	1,268	1,149	1,435	1,428	1,496	1,462	1,239
Variance	1,898	1,607	1,320	2,060	2,039	2,238	2,138	1,534

Les écarts-types les plus faibles (indice de consensus important parmi les individus) correspondent aux choix de réponse que l'atome est loin d'être au repos et qu'il existe des atomes artificiels. Aux antipodes, la question de savoir si l'atome est, en dernier ressort, de l'ordre du vivant, obtient l'écart-type le plus élevé, ou la cohérence intragroupe s'avère être très peu solide. Il en va de même pour la variable « atome éternel ».

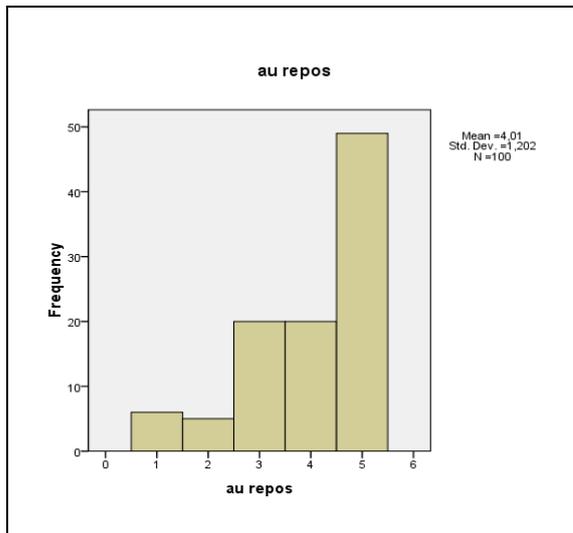
13.3.5 Français de seconde (N = 102) – Comparaisons

Premièrement, nous affichons les résultats sous forme d'histogrammes, basés sur les scores des cinq modalités.

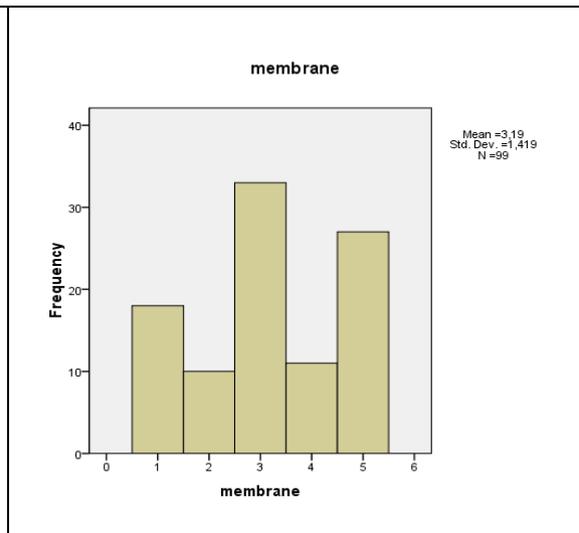


Graph 13.87 : « l'atome pèse exactement 0 gr »

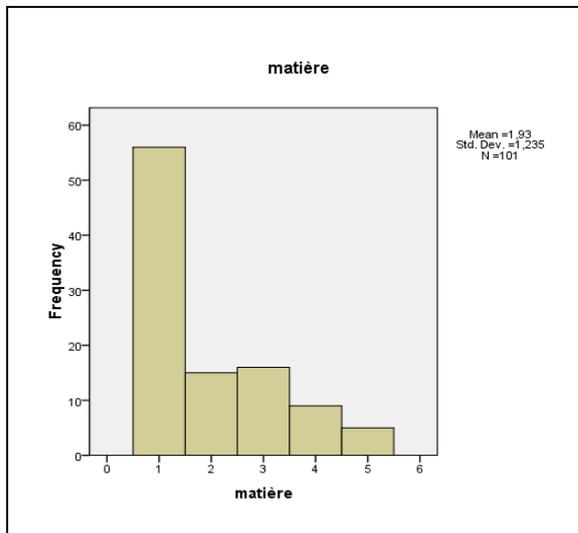
Graph 13.88 : « comme une boulette pleine »



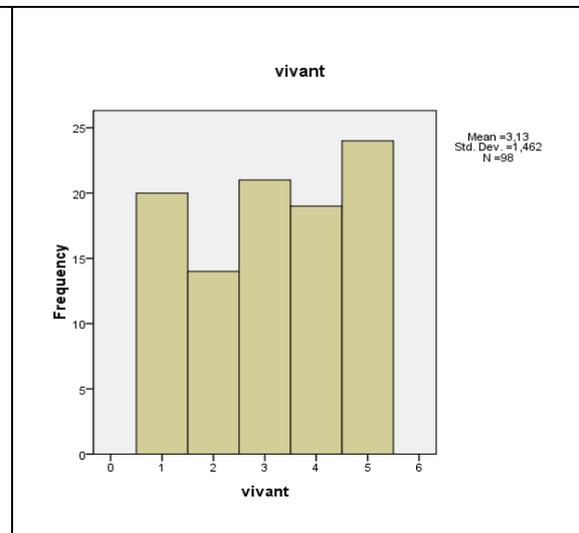
Graph 13.89 : « est au repos »



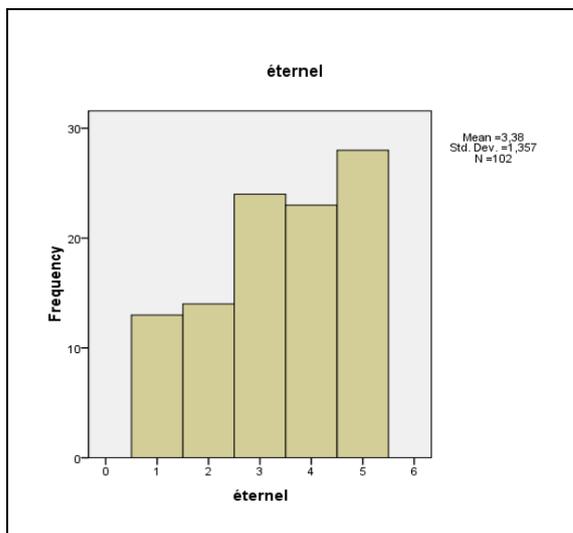
Graph 13.90 : « a une membrane externe »



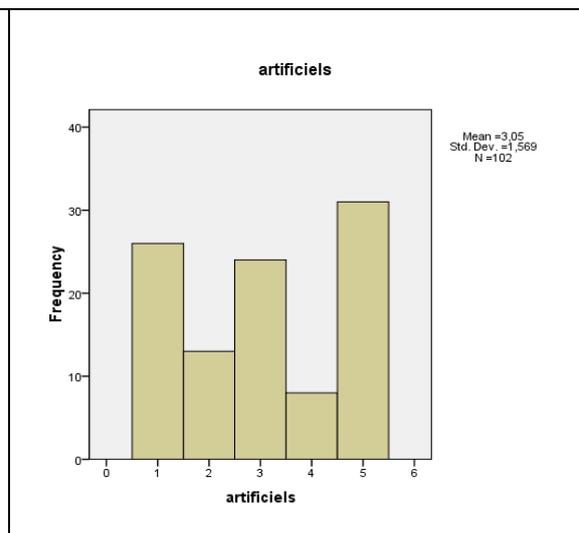
Graph 13.91 : « c'est de la matière »



Graph 13.92 : « c'est du vivant »

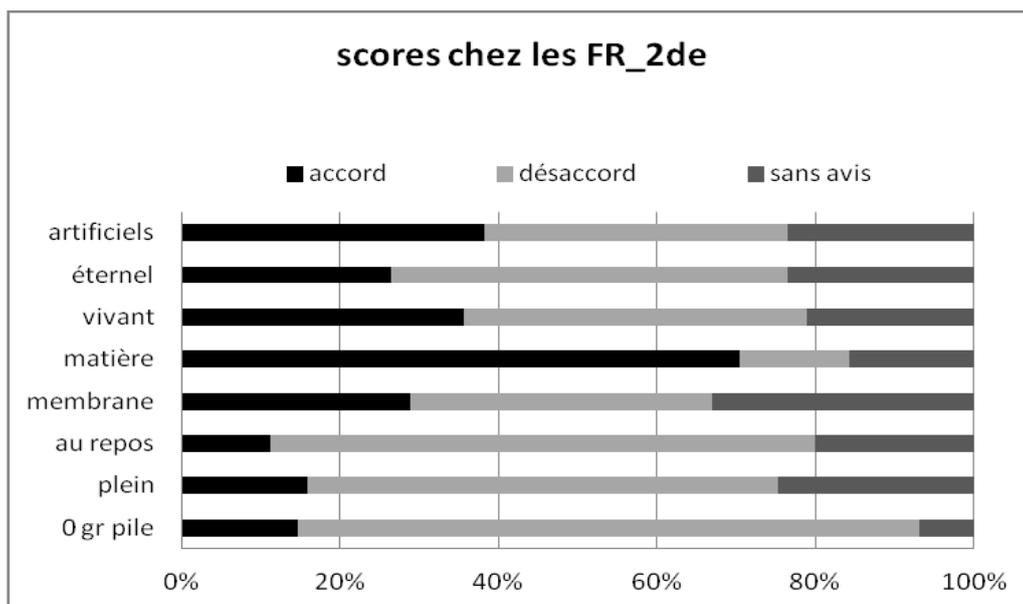


Graph 13.93 : « éternel, impérissable »



Graph 13.94 : « l'homme a fabriqué des atomes »

Ensuite et avant de passer aux effectifs globaux d'accord et de désaccord pour ce groupe d'individus, nous remarquons que les français de seconde anticipent les bonnes réponses s'agissant des variables 1, 2, 3 et 5. Ils échouent quant à l'avant-dernière et sont littéralement partagés vis-à-vis des variables liées à la question du rapport atome / vie. Approximativement, une personne sur trois parvient à cerner les modalités 1 et 2 dans le cas des variables 4^et 6 annonçant la « nature vivante » de l'atome (cf. graphe 13.95, ci-dessous).



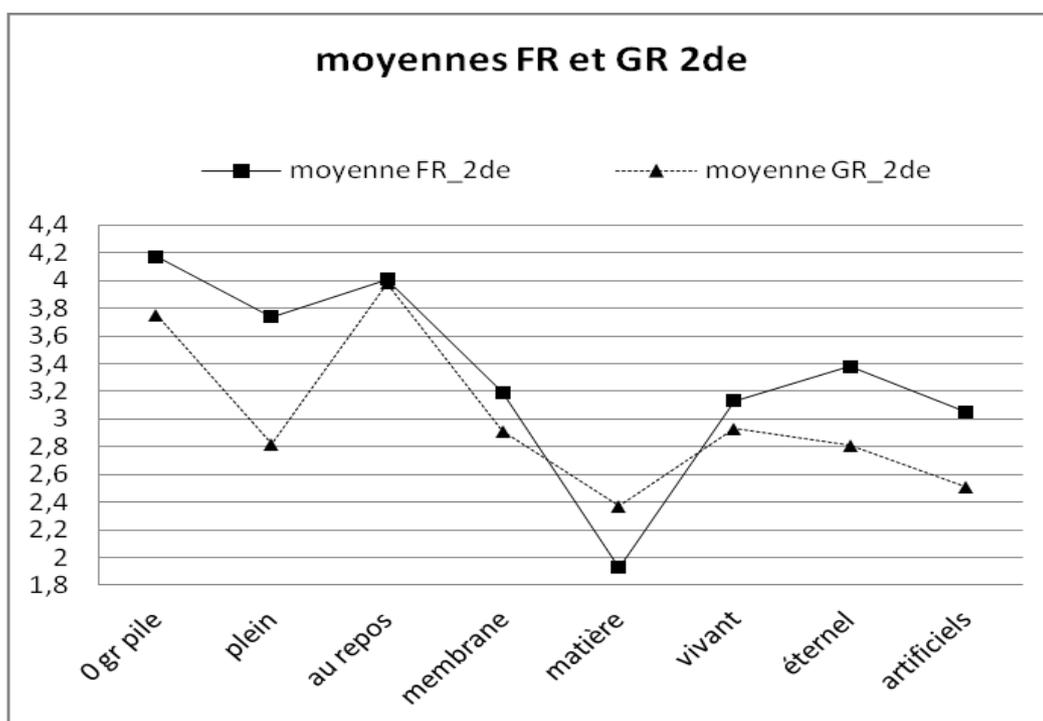
Graphe 13.95 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

Pour poursuivre sur le dernier commentaire, 70 % presque de ceux qui se représentent l'atome avec une membrane externe l'intègrent parmi les êtres vivants. Au-delà, les élèves interrogés prennent une position sans équivoque à propos des items 1, 5, 3 et 2, en fonction de l'ordre décroissant dans la valeur absolue de la différence : moyenne de l'item $x - 3$. Ces mêmes items obtiennent des écarts-types les plus faibles (cf. tableau 13.22, ci-après). En d'autres termes, pour ce groupe, le fait que l'atome est une structure matérielle lacunaire d'une certaine masse et en mouvement perpétuel constitue une conception inébranlable. Enfin, autour des variables « artificiels », « vivant » et « membrane », les sujets se positionnent de façon beaucoup moins cohérente, de sorte que conclure à un véritable consensus entre eux serait douteux.

Tableau 13.22 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par énoncé, chez les FR_2de

		Statistics							
		0 gr pile	plein	au repos	membrane	matière	vivant	éternel	artificiels
N	Valid	102	101	100	99	101	98	102	102
	Missing	0	1	2	3	1	4	0	0
Mean		4,17	3,74	4,01	3,19	1,93	3,13	3,38	3,05
Median		5,00	4,00	4,00	3,00	1,00	3,00	3,50	3,00
Std. Deviation		1,283	1,270	1,202	1,419	1,235	1,462	1,357	1,569
Variance		1,645	1,613	1,444	2,014	1,525	2,137	1,842	2,463

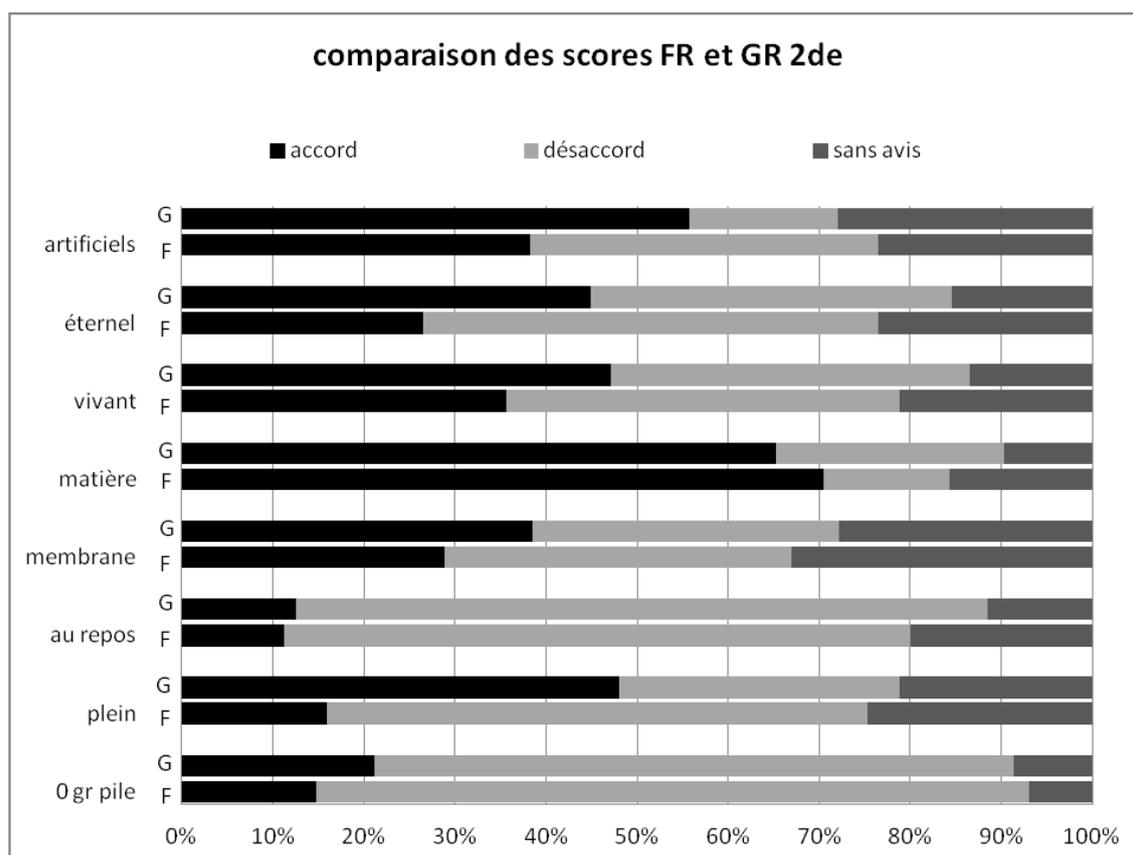
Après avoir exposé les analyses concernant ce groupe de français, passons maintenant aux constatations possibles à tirer en confrontant les deux groupes de seconde, français et grec. Pour cela, nous proposons les graphes suivants en sachant que, plus la moyenne est faible, plus il y a accord avec la partie gauche de l'énoncé.



Graphe 13.96 : Comparaisons des moyennes françaises et grecques. Les labels utilisés doivent être entendus au sens des légendes au-dessous des histogrammes

Il ressort de cette juxtaposition des moyennes un rapprochement quantitatif (mais, pas forcément un accord qualitatif) autour de trois variables : « au repos », « membrane » et « vivant ». Par ailleurs, les moyennes se distancient qualitativement sur cinq autres (les 2, 4, 6, 7 et 8 à la limite), en ce sens que les marqueurs de chacune de ces variables se

situent en deçà et delà de la droite $y = 3$, sur le plan. De fait, les élèves s’opposent vis-à-vis de ces items. De plus, les moyennes ayant des valeurs très proches de 3 témoignent de l’ambiguïté des sujets à l’égard d’une variable, comme c’est le cas notamment de « membrane » et « vivant ». En détaillant davantage, le graphe 13.96, ci-après, montre quelques insuffisances dans la construction de certains éléments de savoir. À titre d’exemples, la structure lacunaire de l’atome semble ne pas être prise en compte par les grecs qui, de plus, considèrent celui-ci comme un être vivant, éternel et parfois fabriqué en laboratoire. Les origines de ces aspects anecdotiques sont, bien entendu, à chercher dans la transposition didactique. De même, la croyance d’un atome vivant, quoique restreinte, demeure chez presque le tiers des français. Pour la moitié d’entre eux, l’atome n’est pas éternel, il peut se détruire naturellement. Dans une perspective de recherche, ce serait donc intéressant de questionner les élèves pour savoir si, par exemple, les atomes nous constituant – créés, selon eux, lors de la formation du fœtus (cf. graphes 12.15 et 12.16) – risquent-ils, suivant cette conception, de s’anéantir ou de se dissocier à tout moment.

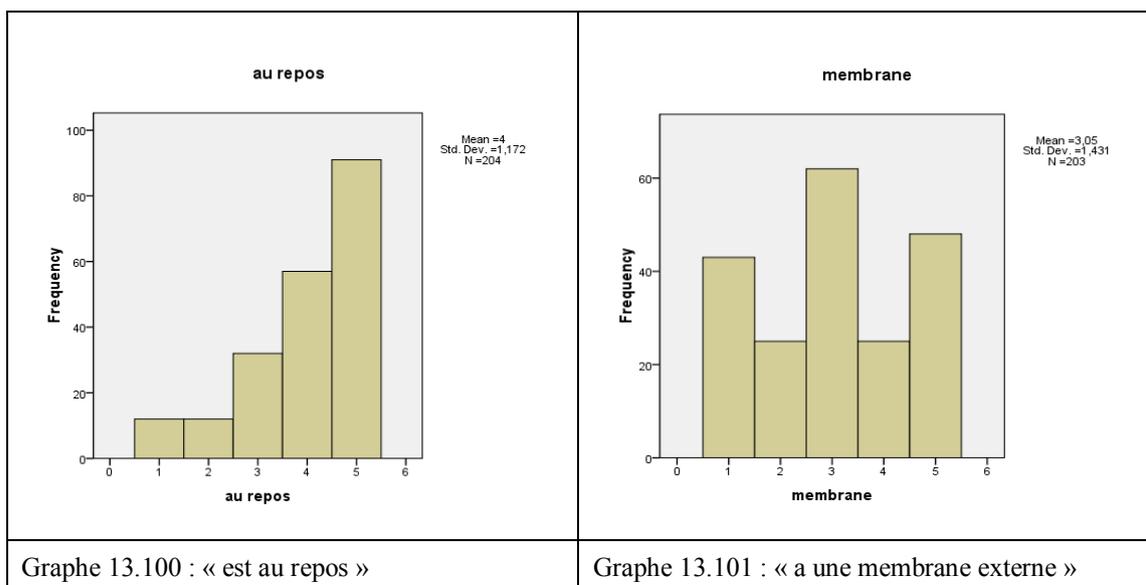
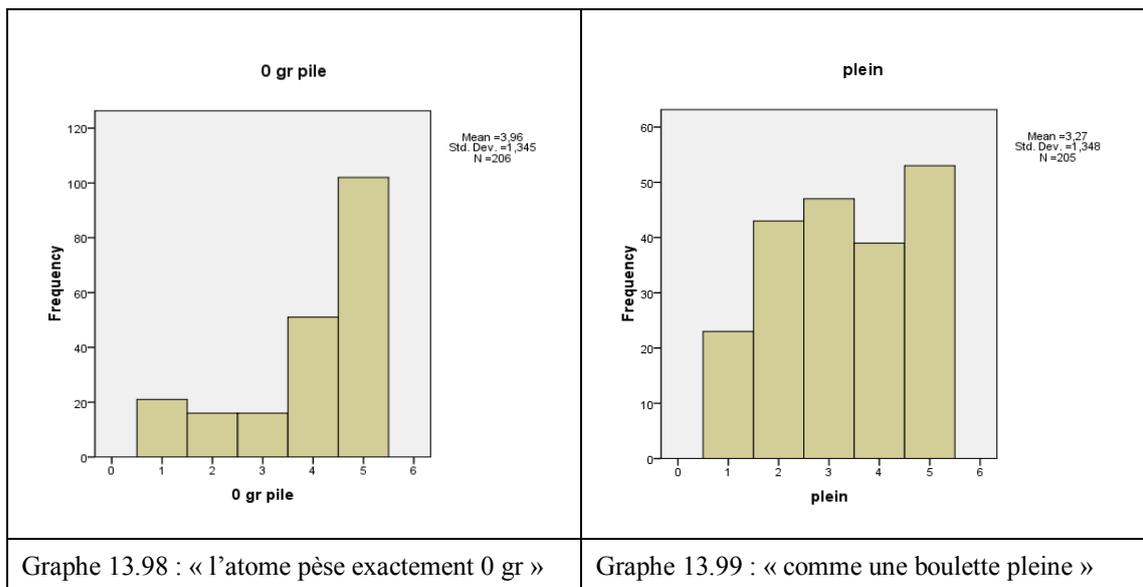


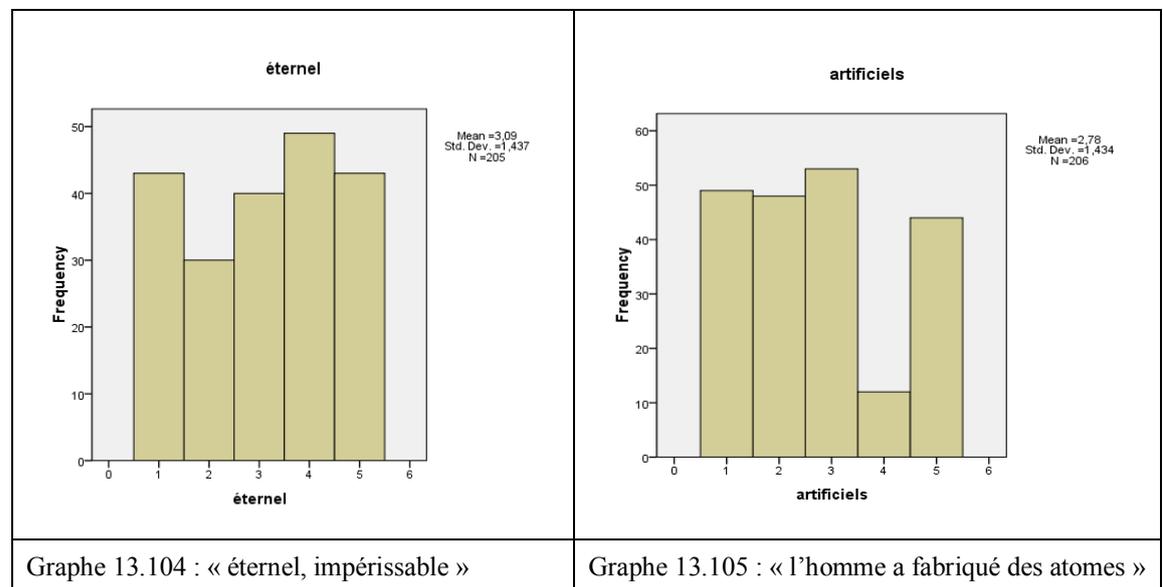
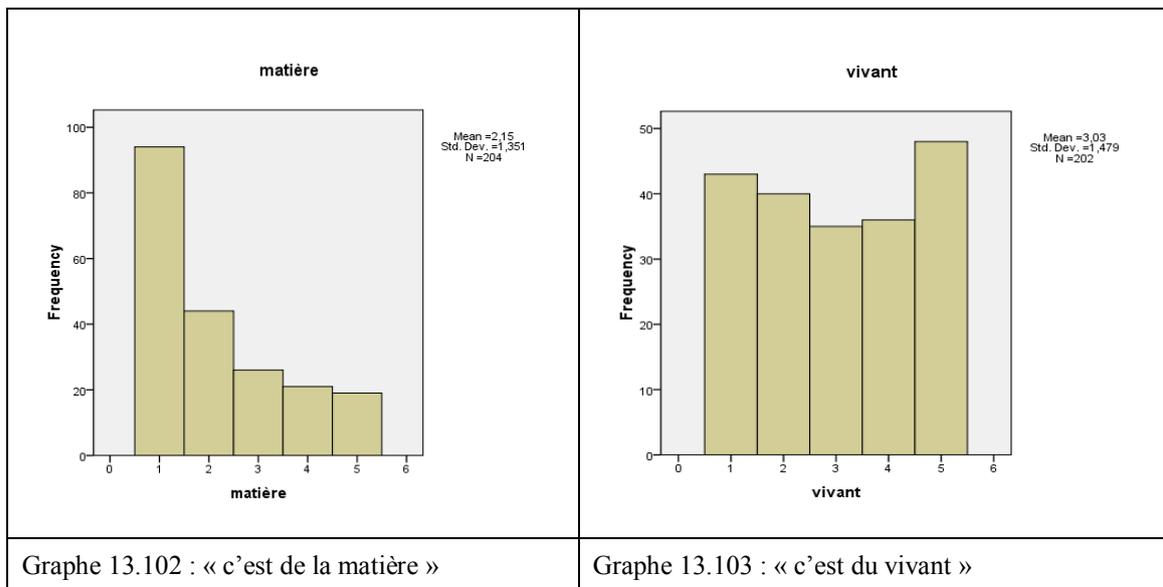
Graphe 13.97 : Point de vue comparatif entre les groupes de la classe de seconde (F pour français ; G pour grecs)

Malgré leurs différences non négligeables, nous examinons ensuite les résultats issus de la fusion des deux groupes d'élèves en seconde.

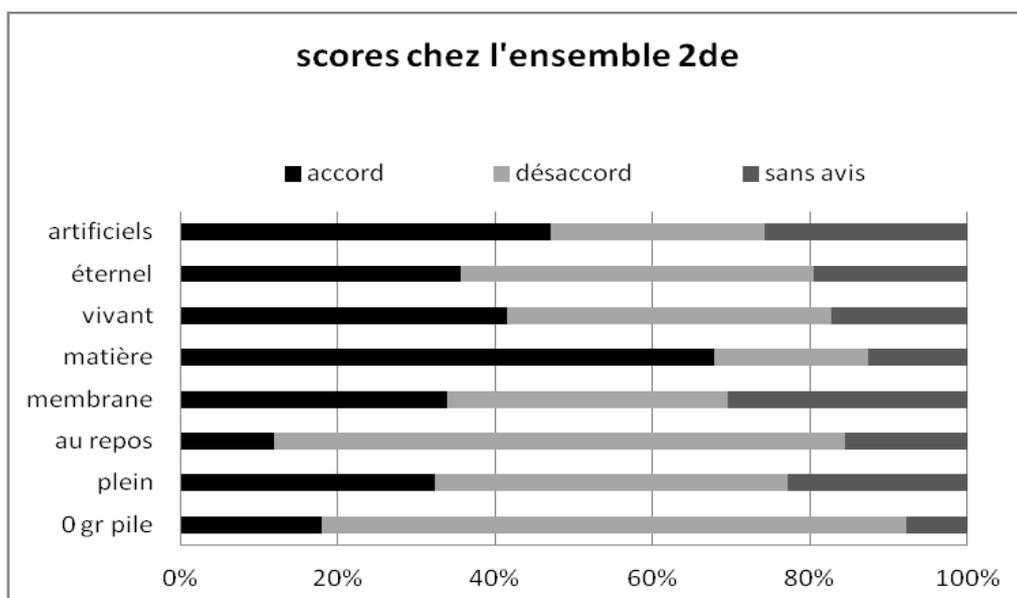
13.3.6 Ensemble de seconde (N = 206)

Dans les graphes suivants nous indiquons les scores par modalité pour chacune des huit variables qui composent la troisième question du questionnaire.





En résumé, il y a réussite relativement aux variables 1, 3, 5 et secondairement, 2, tandis que les participants se partagent plus ou moins au sujet des autres. Des conclusions plus comparatives peuvent être extraites à partir du graphe suivant :



Graph 13.106 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

Il ressort de ce graphique que les élèves se prononcent de manière plus formelle à propos des énoncés 3, 1 et 5, à savoir que l'atome n'est pas au repos, n'a pas de masse nulle et, contient de la matière. Comme on a pu le constater pour le tableau 13.23 ci-après, ces variables donnent des écarts-types les plus faibles, ce qui renseigne sur un degré d'unanimité élevé parmi les enquêtés. En revanche, cet indicateur statistique qui s'avère le plus fort, concernant notamment les variables « vivant » et « éternel », met en évidence une dispersion importante des réponses associées, donc une cohérence ténue parmi les élèves. En tout cas, il ne faut pas perdre de vue que la fusion des deux groupes (français et grecs) opérée ici, cache quelques particularités significatives – telle que l'approche différente par rapport à l'item « vivant », par exemple –, que le test chi 2 va pourtant dévoiler.

Tableau 13.23 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par énoncé, chez l'ensemble de 2de

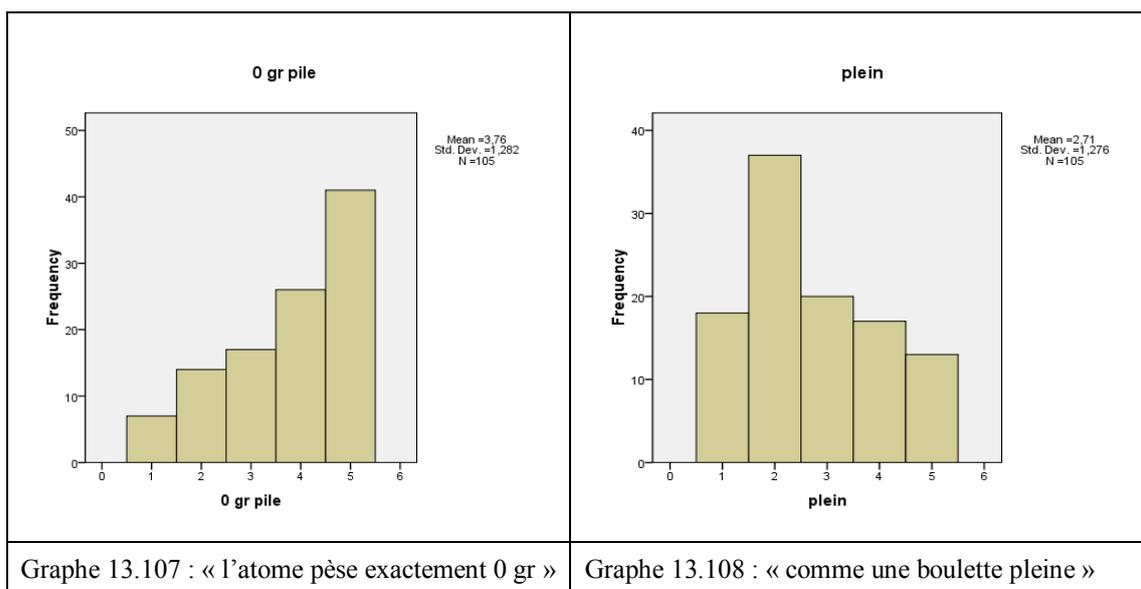
Statistics

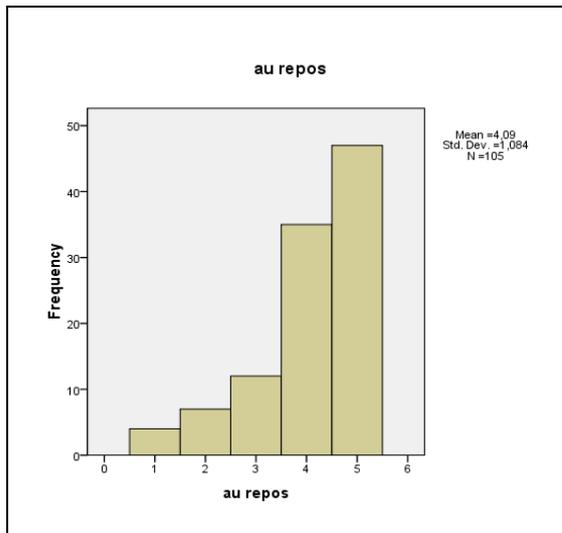
	0 gr pile	plein	au repos	membrane	matière	vivant	éternel	artificiels
N Valid	206	205	204	203	204	202	205	206
Missing	0	1	2	3	2	4	1	0
Mean	3,96	3,27	4,00	3,05	2,15	3,03	3,09	2,78
Median	4,00	3,00	4,00	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00
Std. Deviation	1,345	1,348	1,172	1,431	1,351	1,479	1,437	1,434
Variance	1,808	1,817	1,374	2,047	1,824	2,188	2,065	2,057

Nous poursuivons avec les résultats issus de la cohorte d'élèves en classes de terminale (toutes séries confondues), partie intégrante de l'échantillon général. Nous rappelons que la proportion des effectifs par série suit la technique des quotas. Ainsi, le groupe grec comprend 14 élèves en TS, 49 en TL et 42 en TT, tous suivant un cours de physique atomique et nucléaire, selon les programmes en vigueur pour l'année où nous avons mené la recherche (2010-11). Quant au groupe des français, il est composé de 18 individus en TL, de 29 en TES et de 52 en TS (les seuls qui sont enseignés en physique-chimie).

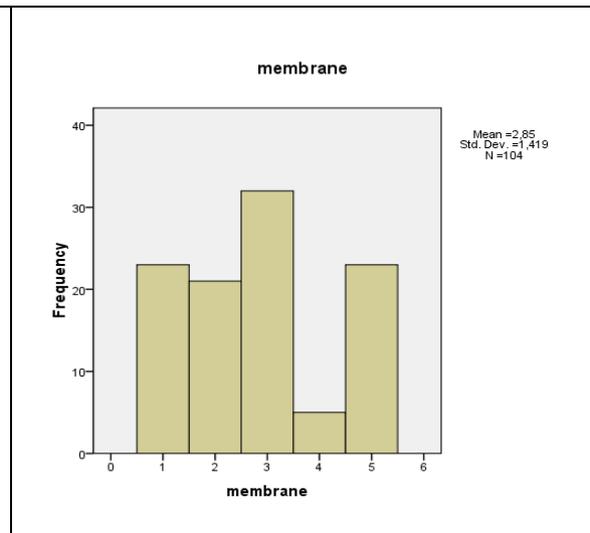
13.3.7 Grecs des terminales (N = 105)

Les scores par modalité que calcule le logiciel sont visualisés dans les histogrammes suivants à droite desquels sont marqués les moyennes, les écarts-types et l'effectif réel des sujets ayant effectivement répondu à telle ou telle sous-question.

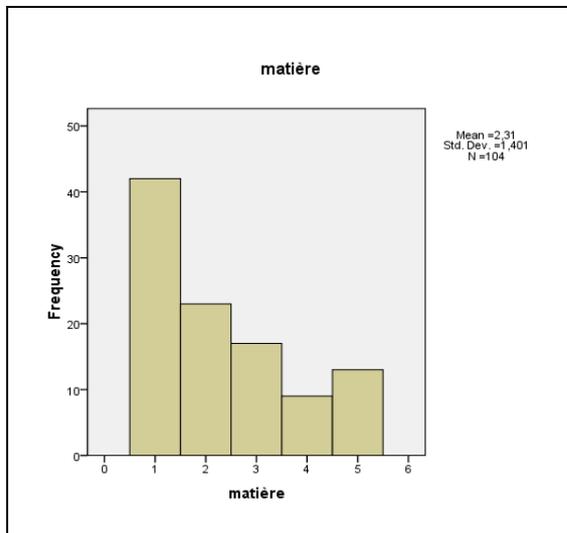




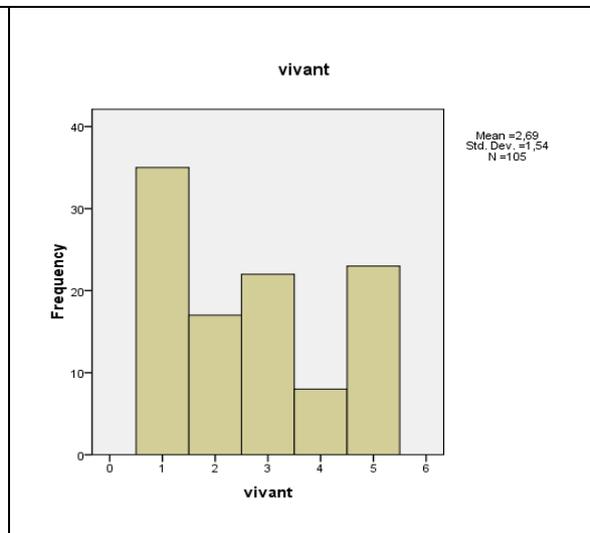
Graph 13.109 : « est au repos »



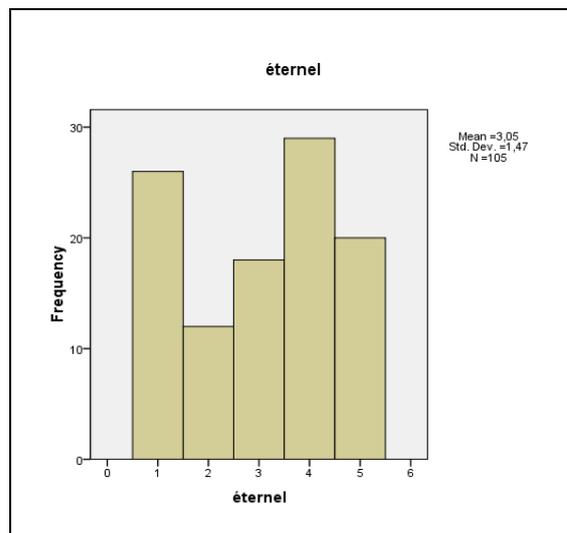
Graph 13.110 : « a une membrane externe »



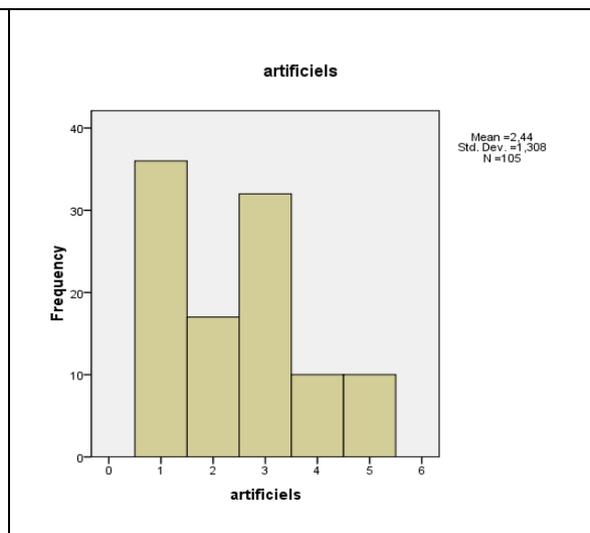
Graph 13.111 : « c'est de la matière »



Graph 13.112 : « c'est du vivant »

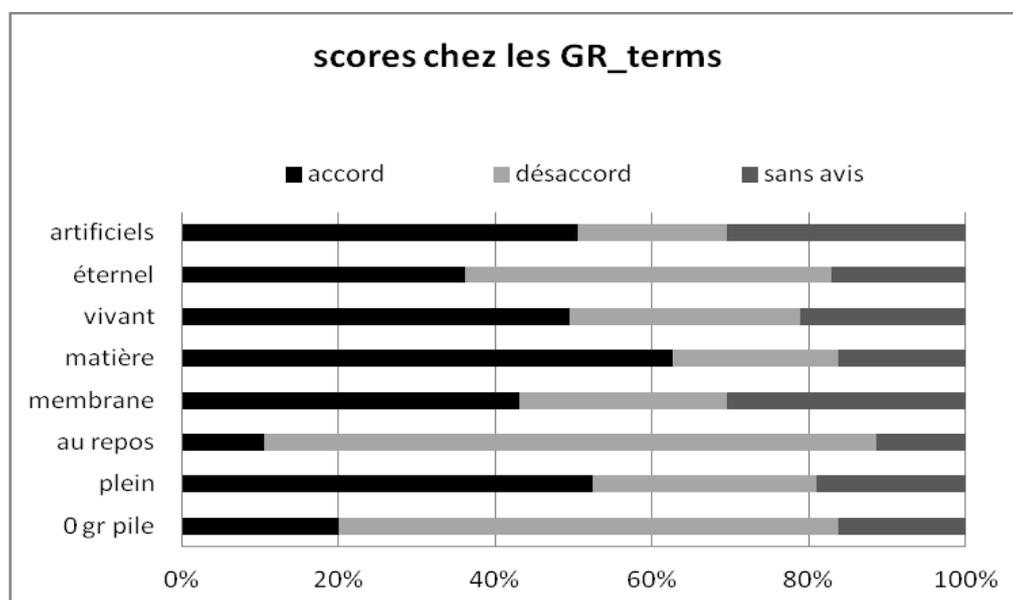


Graph 13.113 : « éternel, impérissable »



Graph 13.114 : « l'homme a fabriqué des atomes »

En effet, il y a réussite dans les sous-questions 1, 3, 5 et 8 et échec aux 2, 4^et 6, l'avant-dernière laissant les répondants plutôt partagés. Pour une lecture plus parlante des résultats, nous proposons le graphe suivant, sous l'optique des modalités réduites :



Graph 13.115 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

D'après ces élèves, la partie droite du troisième énoncé, stipulant que l'atome est toujours en état agité, constitue leur positionnement le plus catégorique suivi du premier, cinquième et huitième item. Malgré cela, dans leur moitié ils croient que le phénomène de la vie caractérise aussi l'atome qui, pour presque 45 % d'entre eux, dispose d'une membrane autour de lui. Les « animistes » proviennent (de façon équivalente) notamment des séries de baccalauréat TL et TT. Nous portons maintenant notre attention sur la valeur de l'écart-type, qui est donnée, avec les autres paramètres statistiques, dans le tableau suivant :

Tableau 13.24 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par énoncé, chez les grecs de terminale

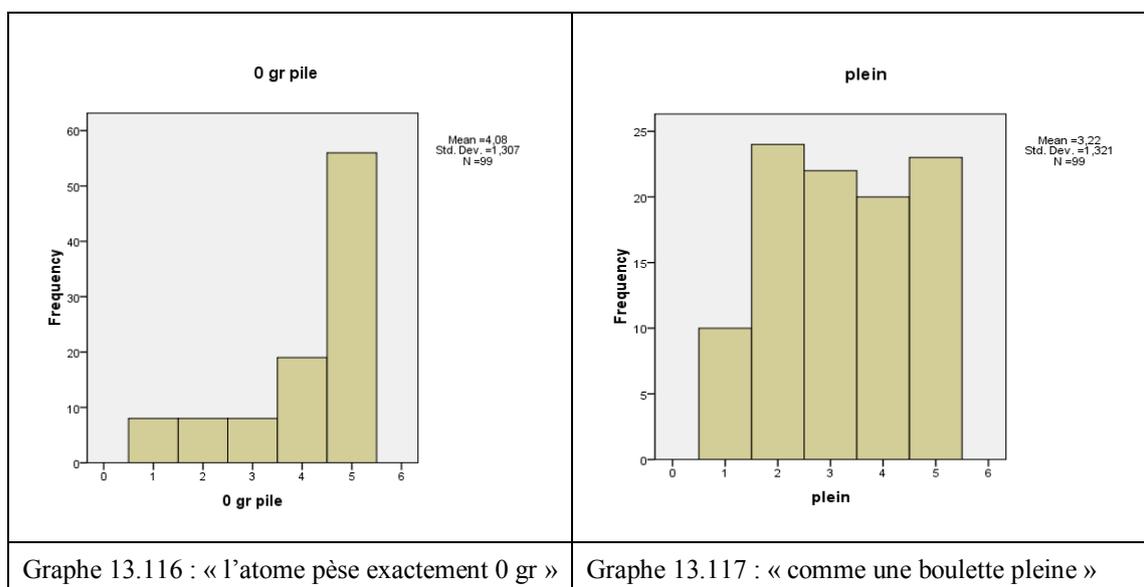
Statistics

	0 gr pile	plein	au repos	membrane	matière	vivant	éternel	artificiels
N Valid	105	105	105	104	104	105	105	105
Missing	0	0	0	1	1	0	0	0
Mean	3,76	2,71	4,09	2,85	2,31	2,69	3,05	2,44
Median	4,00	2,00	4,00	3,00	2,00	3,00	3,00	2,00
Std. Deviation	1,282	1,276	1,084	1,419	1,401	1,540	1,470	1,308
Variance	1,645	1,629	1,175	2,015	1,963	2,371	2,161	1,710

De même, c'est l'écart-type du troisième énoncé, puis du deuxième et du premier (très légèrement inégaux) qui obtiennent les valeurs les plus faibles. En d'autres termes, pour ces sujets les deux énoncés (parties droites) 3 et 1 semblent être incontestables, car cumulant des réponses très consolidés au sein de ce groupe.

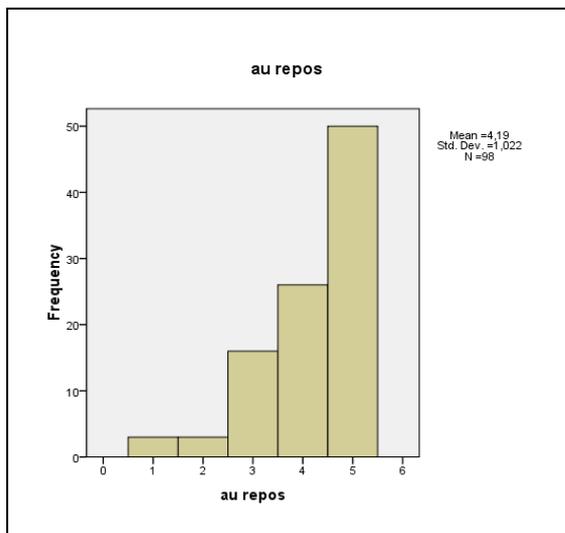
13.3.8 Français des terminales (N = 99) – Comparaisons

Illustrés par les histogrammes ci-dessous, les scores des cinq modalités sont comme suit :

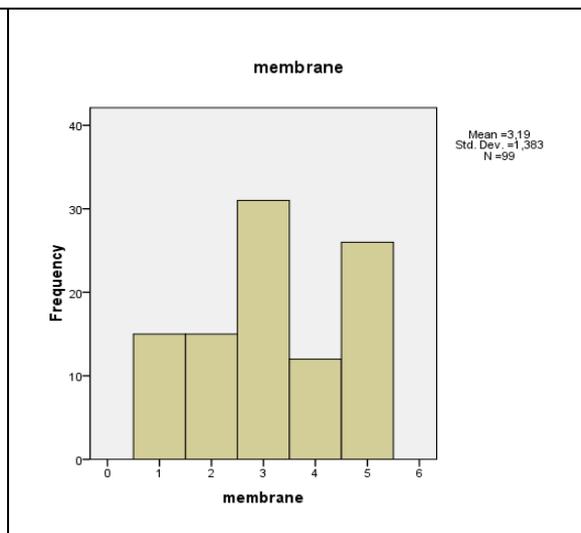


Graph 13.116 : « l'atome pèse exactement 0 gr »

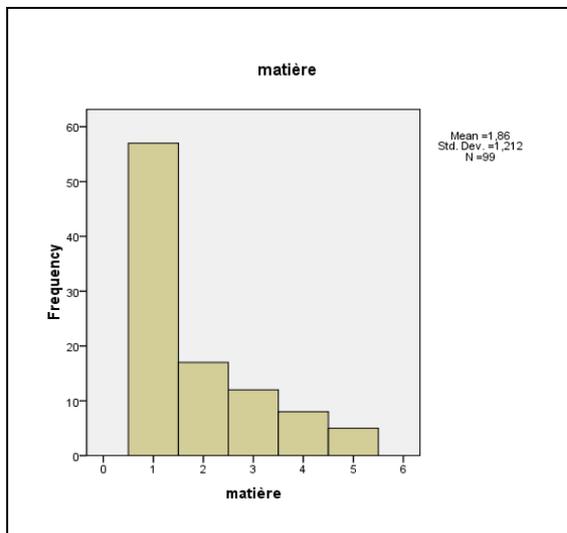
Graph 13.117 : « comme une boulette pleine »



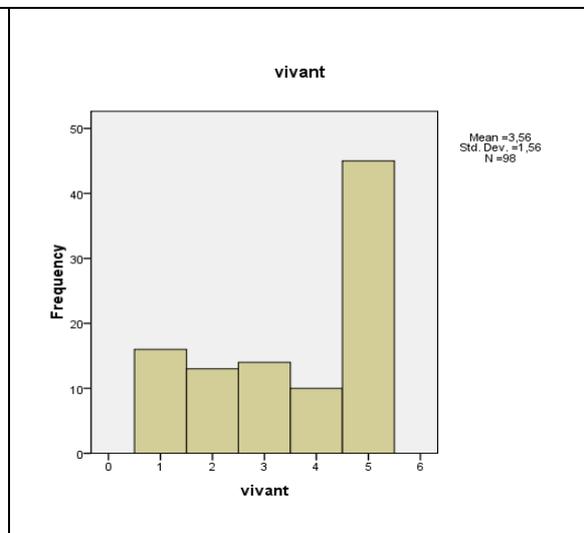
Graphe 13.118 : « est au repos »



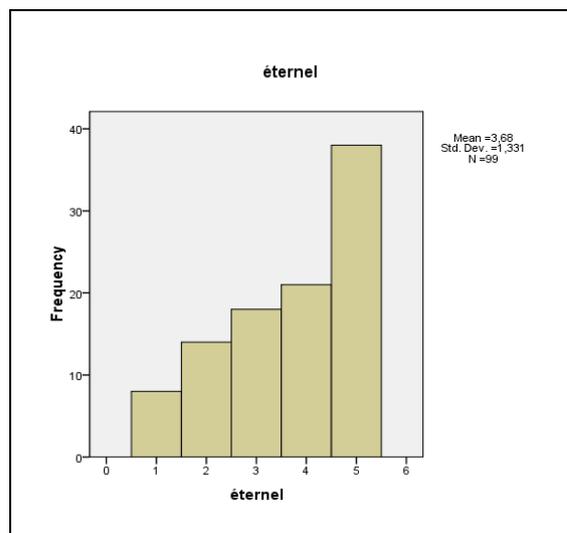
Graphe 13.119 : « a une membrane externe »



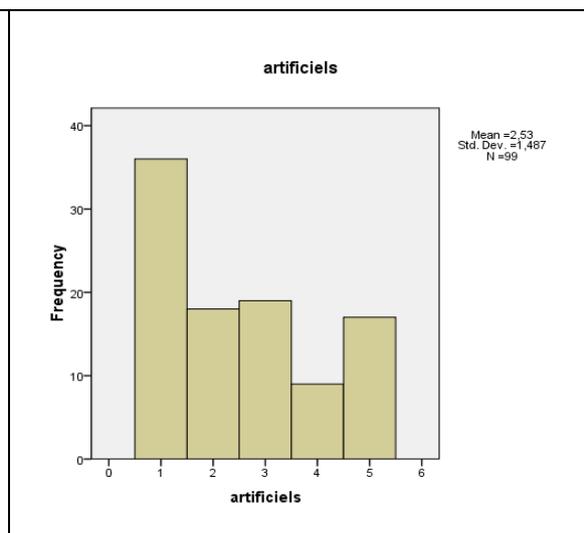
Graphe 13.120 : « c'est de la matière »



Graphe 13.121 : « c'est du vivant »

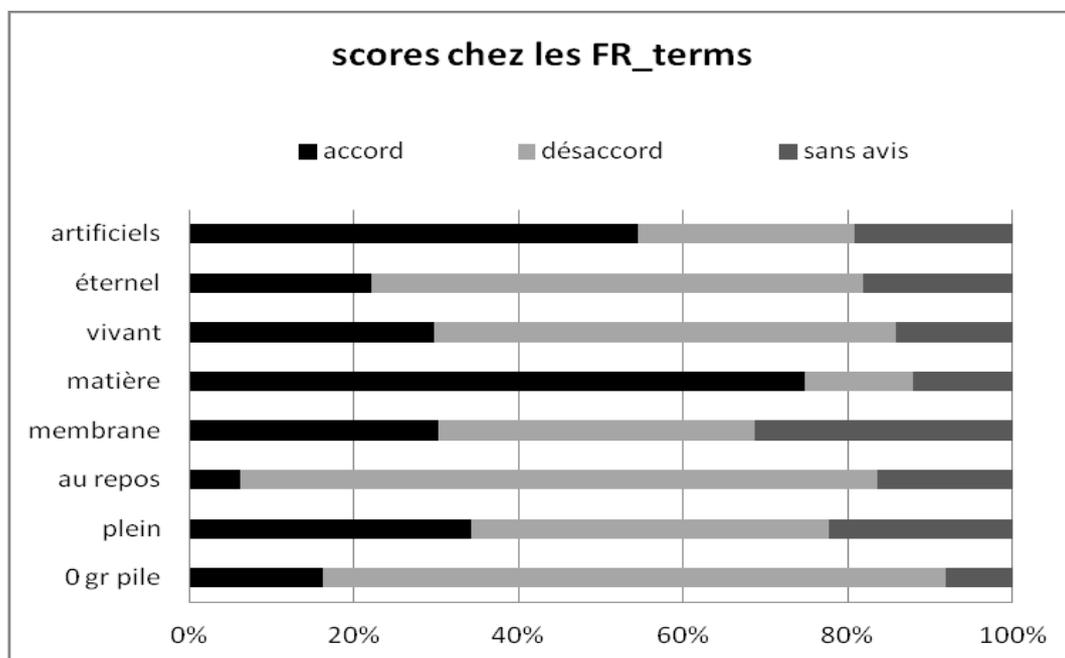


Graphe 13.122 : « éternel, impérissable »



Graphe 13.123 : « l'homme a fabriqué des atomes »

Les élèves réussissent clairement dans leurs réponses principalement aux sous-questions 1, 3 et 6 et, secondairement aux autres, sauf la septième qui persiste (depuis le groupe des classes de 4^e, comme on peut le constater) à les confondre. Le graphe suivant synthétise la répartition des enquêtés entre les modalités réduites, que nous avons auparavant considérées pour saisir un aspect plus usuel :



Graph 13.124 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

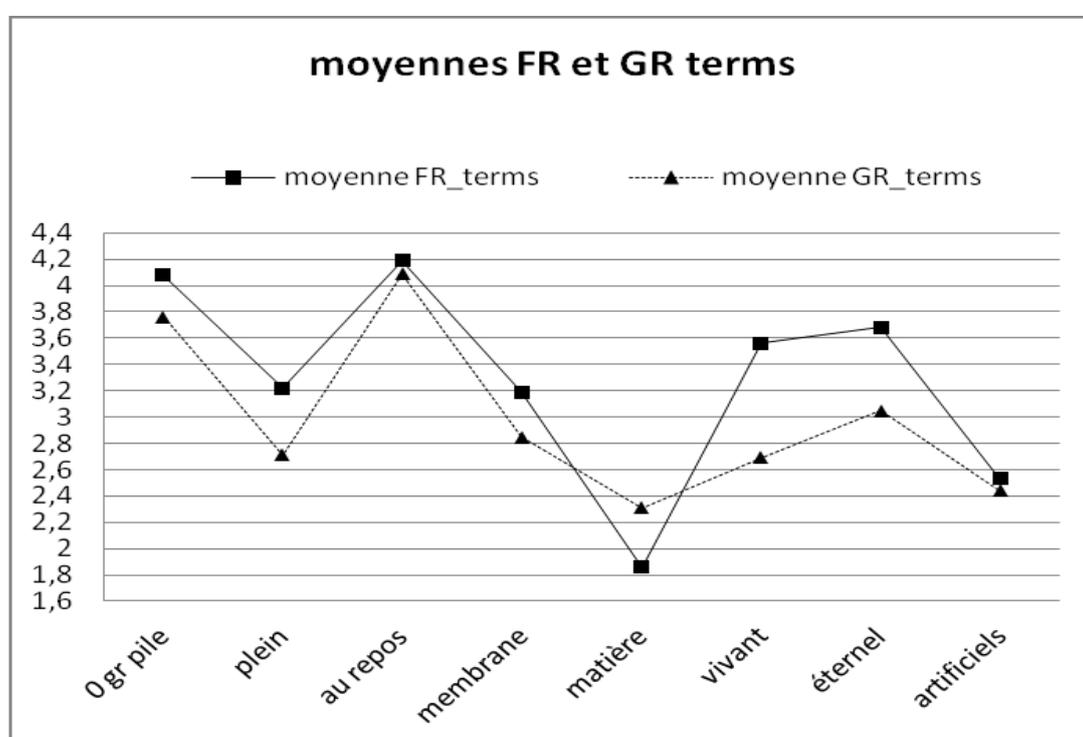
Ce groupe des lycéens en classes de terminales accorde un verdict affirmatif aux énoncés suivants : troisième (partie droite), cinquième et premier (parties gauches). Ces expressions, dans l'ordre selon lequel elles viennent d'être reportées, obtiennent les écarts-types les plus bas (cf. tableau ci-après), autrement dit, l'unanimité entre les répondants y est importante. Au contraire, ils apportent une adhésion restreinte aux faits que l'atome n'appartient pas au règne du vivant et que l'homme est capable de créer des atomes. Enfin, les « animistes » atteignent presque 30 % du groupe (cf. variable « vivant », graphe 13.123) et représentent, de façon proportionnelle à leurs effectifs, les trois différentes séries du baccalauréat. Nous affichons les calculs statistiques dans le tableau ci-dessous produit par le logiciel utilisé :

Tableau 13.25 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par énoncé, chez les français de terminale

Statistics

		0 gr pile	plein	au repos	membrane	matière	vivant	éternel	artificiels
N	Valid	99	99	98	99	99	98	99	99
	Missing	0	0	1	0	0	1	0	0
Mean		4,08	3,22	4,19	3,19	1,86	3,56	3,68	2,53
Median		5,00	3,00	5,00	3,00	1,00	4,00	4,00	2,00
Std. Deviation		1,307	1,321	1,022	1,383	1,212	1,560	1,331	1,487
Variance		1,708	1,746	1,044	1,912	1,470	2,434	1,772	2,211

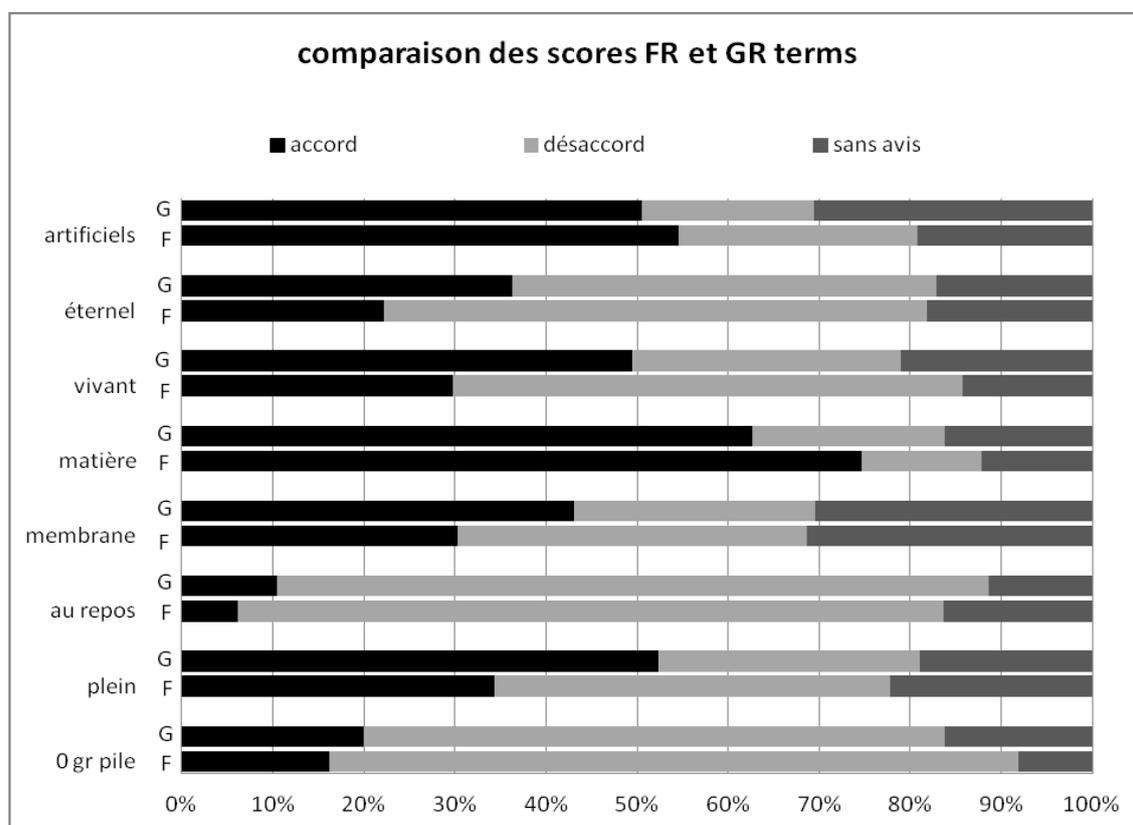
Pour ce qui concerne le point de vue comparatif entre les résultats des deux groupes envisagés, nous considérons les graphes suivants :



Graphe 13.125 : Comparaisons des moyennes françaises et grecques. Les labels utilisés doivent être entendus au sens des légendes au-dessous des histogrammes

Les valeurs des moyennes se rapprochent seulement dans deux cas, les énoncés 3 et 8, tandis qu'elles fluctuent autour de 3, mais en sens opposé en ce qui concerne la quatrième variable. Pour le reste, les paires de moyennes (française et grecque) afférentes aux variables 1, 3, 5, 7 et 8 se situent dans le même demi-plan du repère (soit au-dessus de la droite $y = 3$, soit en-dessous), ce qui indique un accord qualitatif entre les deux groupes, à

l'égard de ces variables. À l'inverse, quand la frontière $y = 3$ sépare les marqueurs français et grec d'un même item, alors nous assistons à un désaccord plus ou moins radical, comme c'est le cas du « vivant ». Édité sous le prisme des trois modalités du graphe 13.125 ci-après, les résultats prouvent que les grecs sont plus nombreux à entretenir la conception daltonienne de l'atome et à le concevoir comme un être vivant ou muni d'une membrane. En revanche, les français adoptent plus massivement le scénario de l'atome périssable, lequel attire l'attention des presque trois quarts des lycéens en TS. Enfin, il est remarquable qu'un peu plus de 30 % des élèves (indépendamment de leur origine) reconnaissent leur ignorance vis-à-vis de la variable « membrane ».



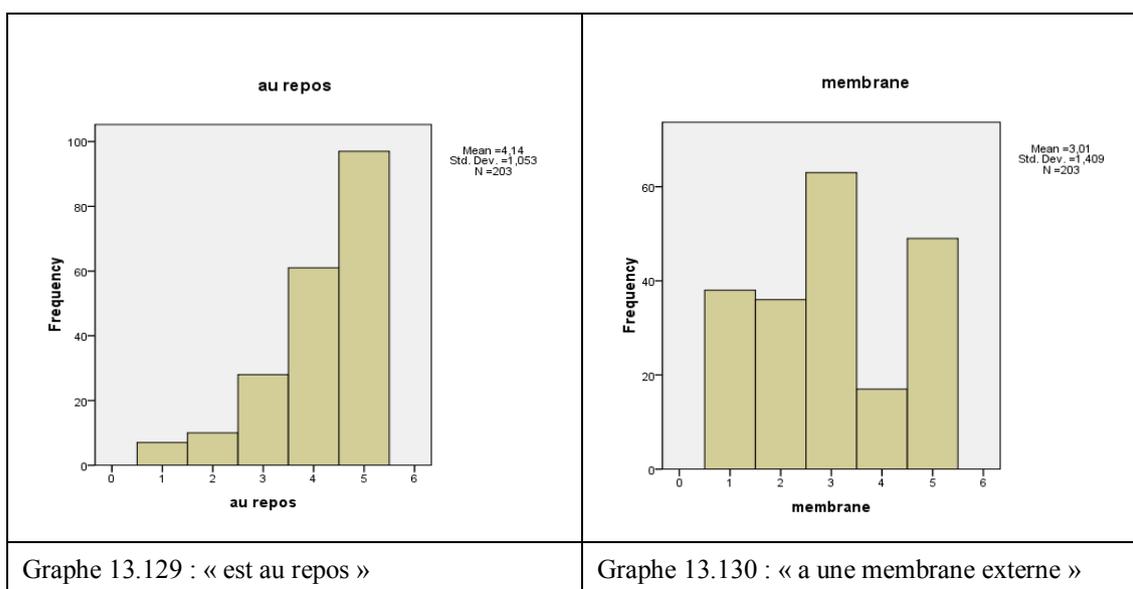
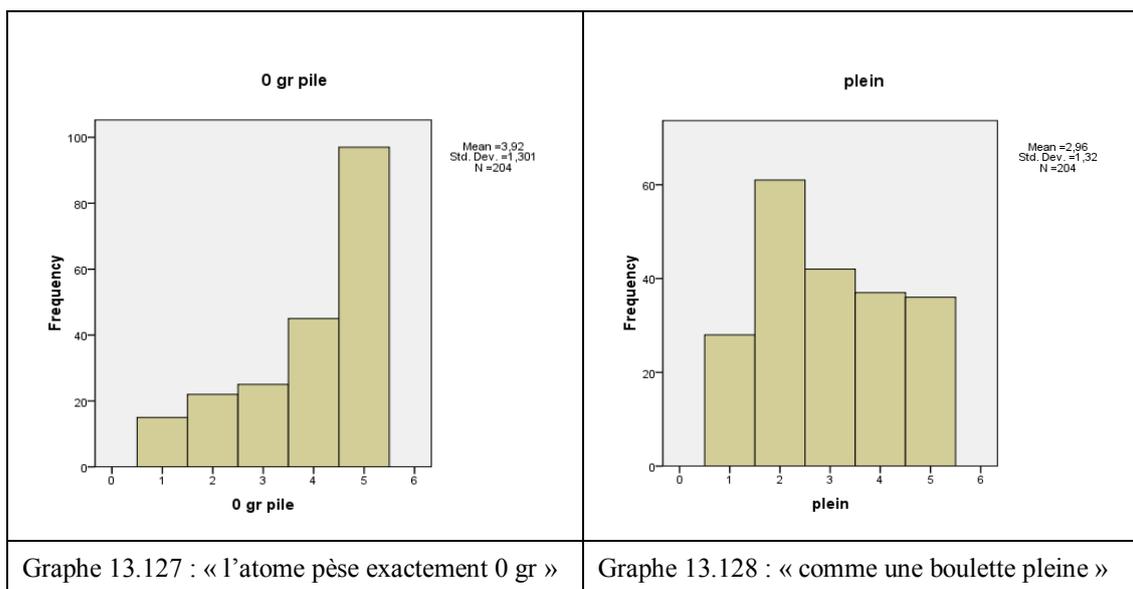
Graphe 13.126 : Point de vue comparatif entre les groupes des terminales
(F pour français ; G pour grecs)

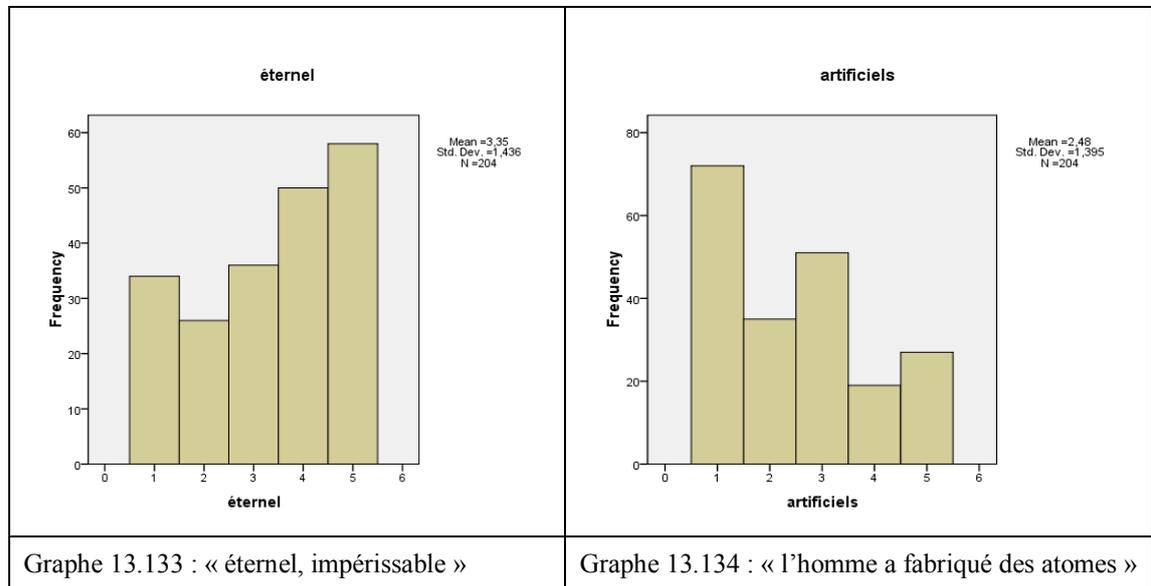
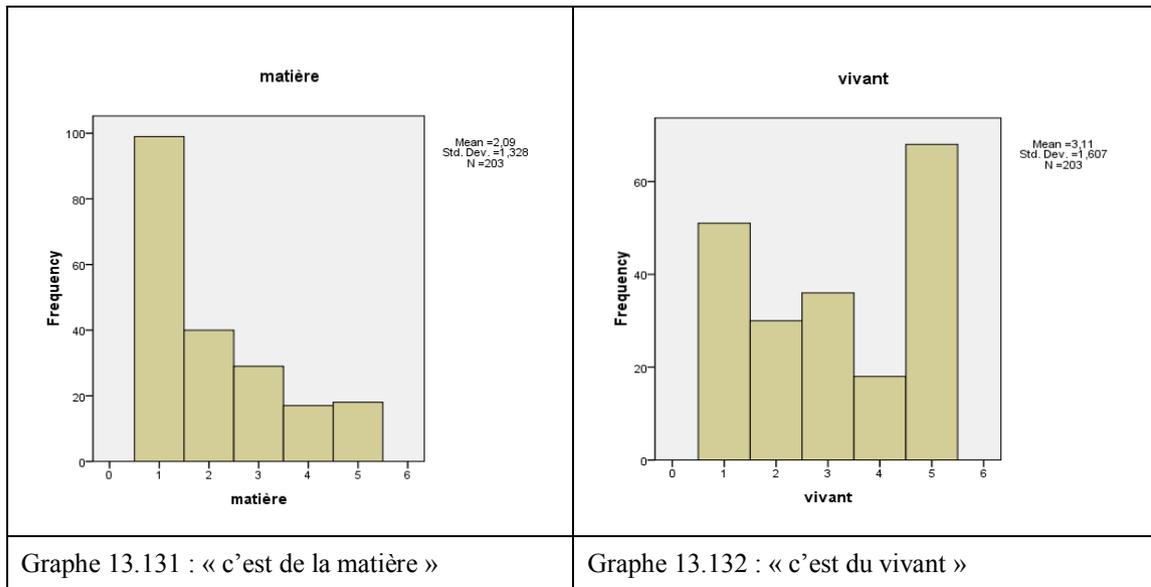
La fusion des deux groupes, entreprise par la suite, conduit à un échantillon d'élèves en terminale assez hétérogène de plusieurs points de vue : de différents milieux scolaires, de différentes séries de baccalauréat, de différents programmes mis en place, même au sein de la même série dans les deux systèmes d'enseignement français et grec (par exemple, la physique et la biologie constituent matière enseignée en terminales

grecques, toutes séries confondues). Cependant, les calculs du test chi 2 sur cet échantillon révéleront s'il y a ou non une influence des variables indépendantes qui y interviennent.

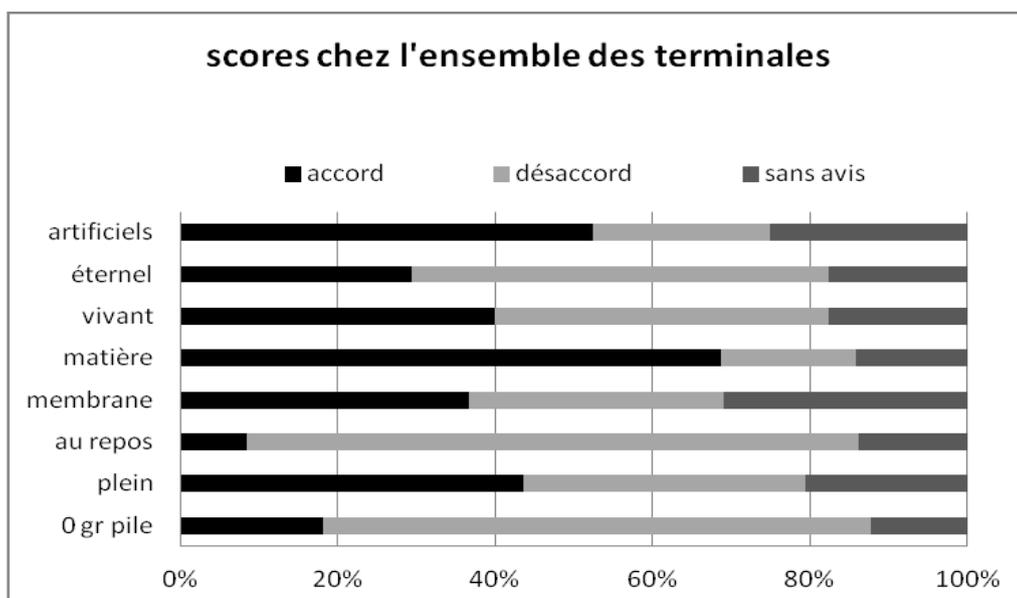
13.3.9 Ensemble de terminales (N = 204)

Nous présentons les graphes illustrant les scores par modalité pour les variables qui nous préoccupent dans cette section.





À propos des variables 1, 3, 5 et 8, les sujets répondent globalement dans le bon sens, alors qu'ils se partagent autour des autres variables. De manière plus opérationnelle, les résultats se concrétisent comme suit :



Graph 13.135 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

L'atome ne se trouve pas au repos, sa masse n'est pas nulle, il appartient au monde matériel et peut être créé par les scientifiques : ce sont les propositions les plus catégoriques qui émergent de ces résultats. Comme l'avant-dernière ligne du tableau 13.26 le montre ci-après, ces variables ont des écarts-types très faibles par rapport aux autres. En revanche, les variables « membrane », « plein » et « vivant » obtiennent des moyennes très proches de 3, mais avec des écarts-types importants ; les réponses constituent plutôt des binômes opposés que des positionnements de type « ne sais pas ».

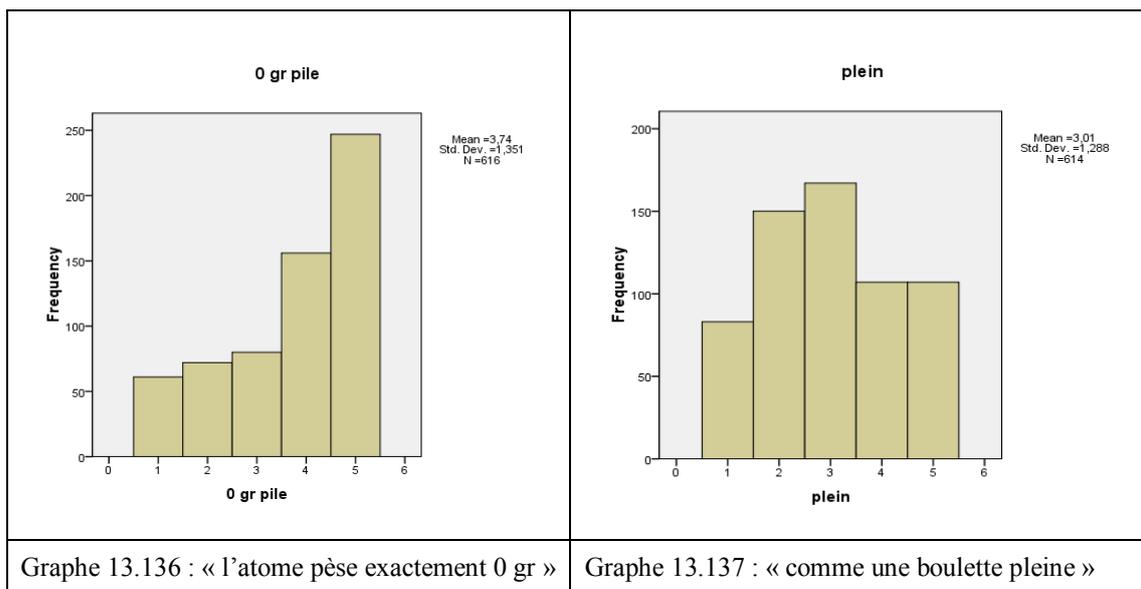
Tableau 13.26 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par énoncé, chez l'ensemble des terminales

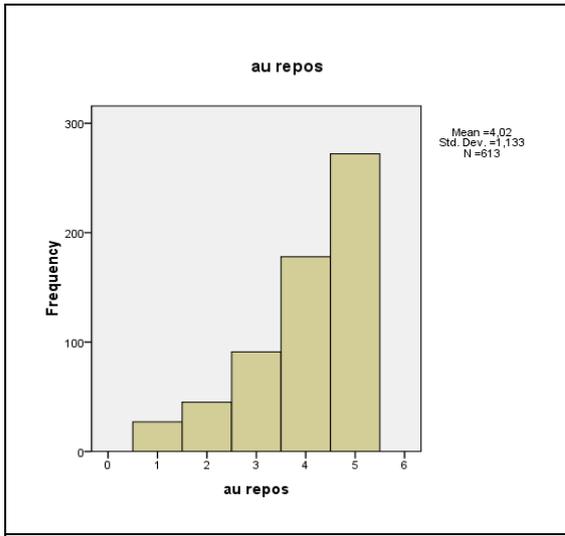
		Statistics							
		0 gr pile	plein	au repos	membrane	matière	vivant	éternel	artificiels
N	Valid	204	204	203	203	203	203	204	204
	Missing	0	0	1	1	1	1	0	0
	Mean	3,92	2,96	4,14	3,01	2,09	3,11	3,35	2,48
	Median	4,00	3,00	4,00	3,00	2,00	3,00	4,00	2,00
	Std. Deviation	1,301	1,320	1,053	1,409	1,328	1,607	1,436	1,395
	Variance	1,693	1,742	1,110	1,985	1,764	2,582	2,062	1,945

Dans le but d'appréhender le comportement global de notre échantillon général eu égard aux variables examinées, nous lançons les mêmes analyses et présentons les résultats dans ce qui suit.

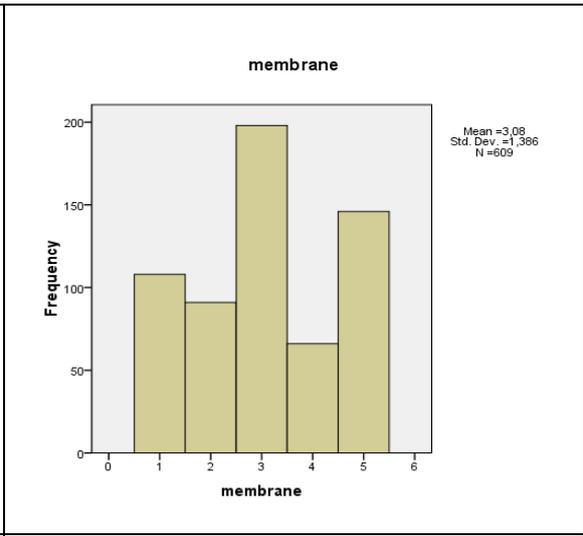
13.3.10 Ensemble général (N = 616)

L'échantillon général est composé, le répétons-nous, d'élèves français et grecs issus de trois niveaux scolaires différents. Nous posons donc la question si et comment les variables explicatives – notamment, origine d'élève (qui renvoie à la transposition didactique et au milieu socioculturel dans les deux pays), niveaux de classe et formation de parents – ont une influence sur les résultats obtenus. Pour cela, nous avons effectué avec SPSS des calculs du test chi 2, que nous présentons ensuite. En premier lieu, nous citons les résultats de statistique descriptive :

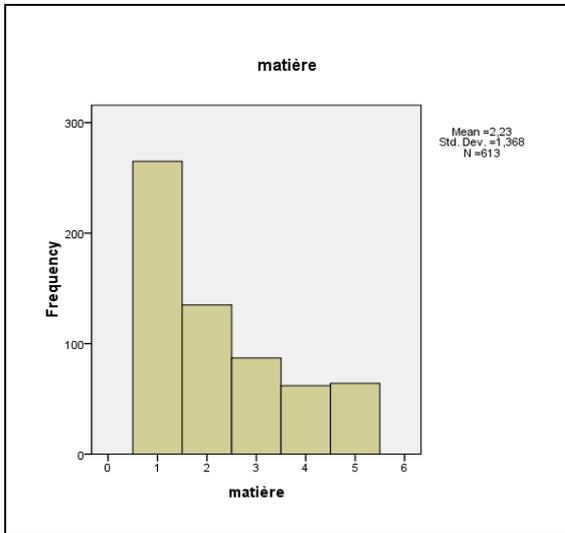




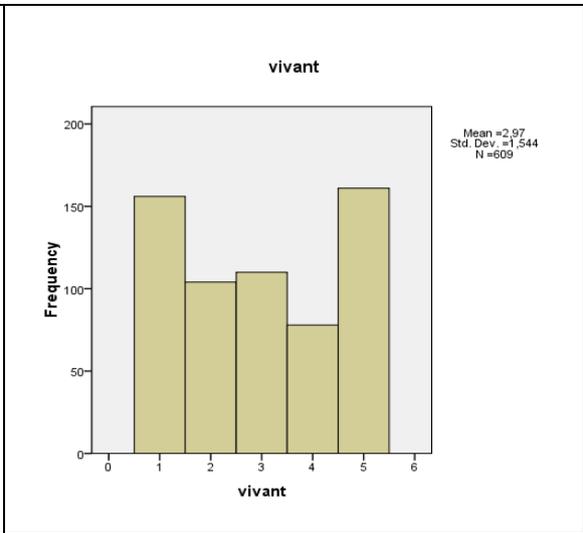
Graph 13.138 : « est au repos »



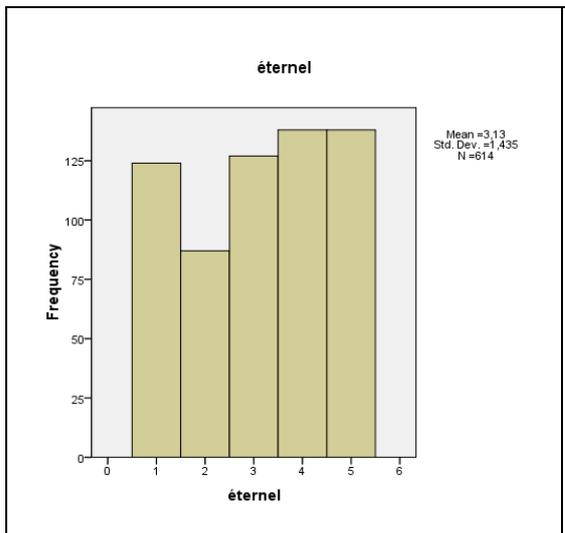
Graph 13.139 : « a une membrane externe »



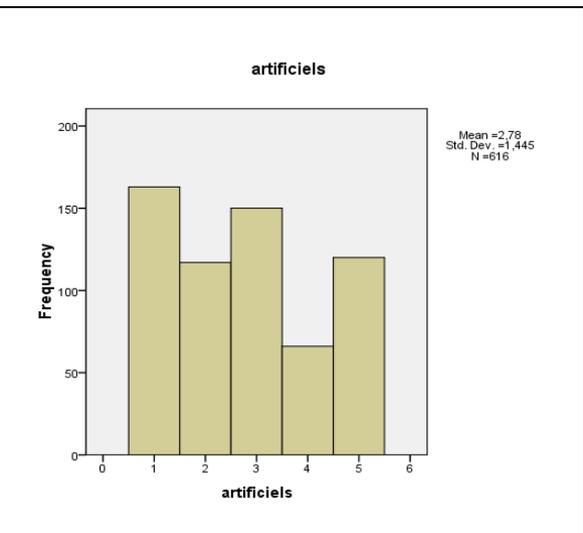
Graph 13.140 : « c'est de la matière »



Graph 13.141 : « c'est du vivant »

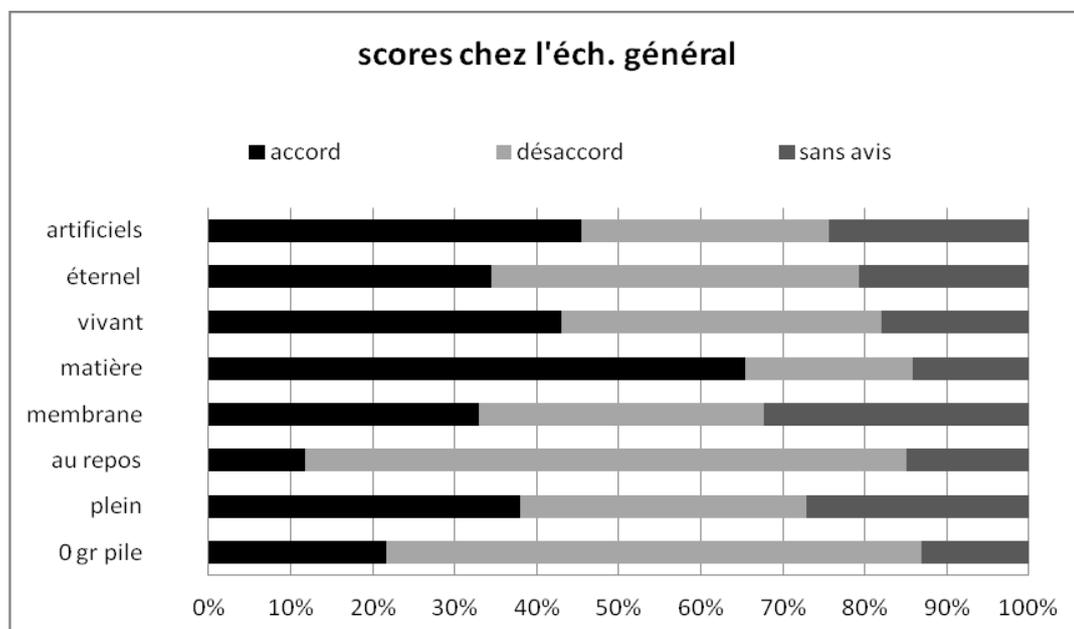


Graph 13.142 : « éternel, impérissable »



Graph 13.143 : « l'homme a fabriqué des atomes »

En un mot, ces graphiques montrent que les sujets anticipent clairement les bonnes réponses concernant les sous-questions 1, 3 et 5 (et, secondairement, à la dernière), mais qu'ils se partagent à propos des autres. Ceux-ci ont d'ailleurs des scores très importants quant à la modalité « ne sais pas ». Le graphe des scores qui obtiennent les modalités réduites se concrétise comme suit :



Graphe 13.144 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

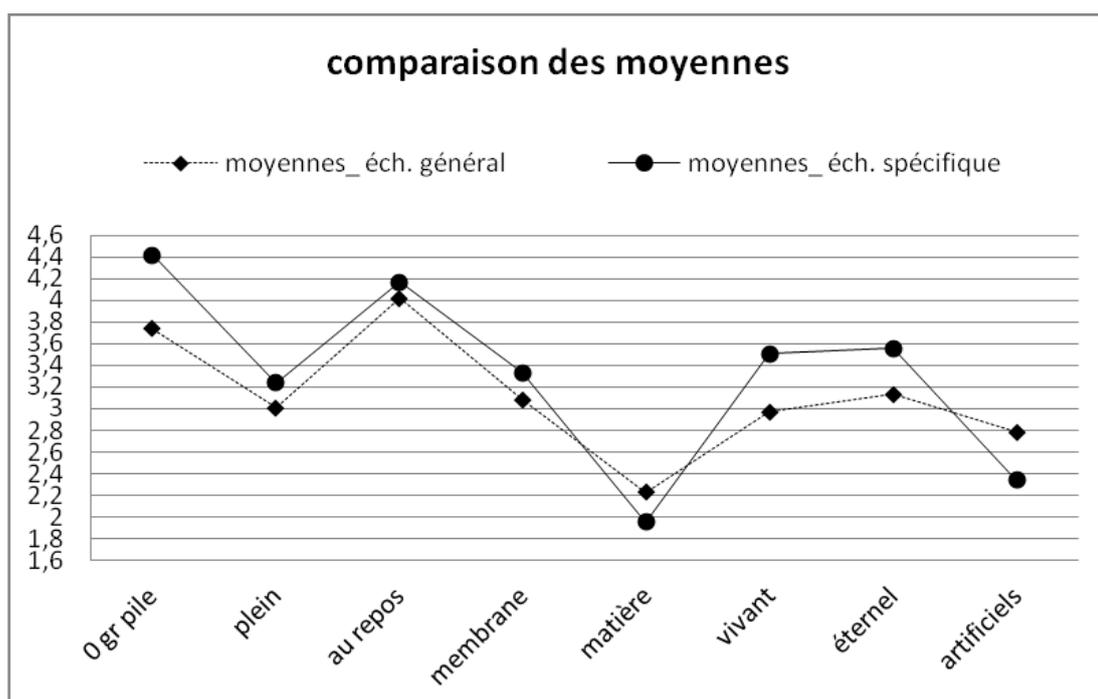
Les faits que l'atome existe en état agité, qu'il est constitué de matière et caractérisé d'une certaine masse semblent être les affirmations les plus catégoriques qui résultent des réponses de l'ensemble général. Ces variables, avec la deuxième, donnent les écarts-types les plus faibles, ce qui indique qu'un consensus important est établi entre les individus. En revanche, il y a dispersion des avis à l'égard des trois dernières sous-questions. Une synthèse des statistiques est offerte par le tableau ci-dessous :

Tableau 13.27 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par énoncé, chez l'échantillon général

Statistics

		0 gr pile	plein	au repos	membrane	matière	vivant	éternel	artificiels
N	Valid	616	614	613	609	613	609	614	616
	Missing	0	2	3	7	3	7	2	0
Mean		3,74	3,01	4,02	3,08	2,23	2,97	3,13	2,78
Median		4,00	3,00	4,00	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00
Std. Deviation		1,351	1,288	1,133	1,386	1,368	1,544	1,435	1,445
Variance		1,825	1,659	1,284	1,922	1,871	2,384	2,060	2,089

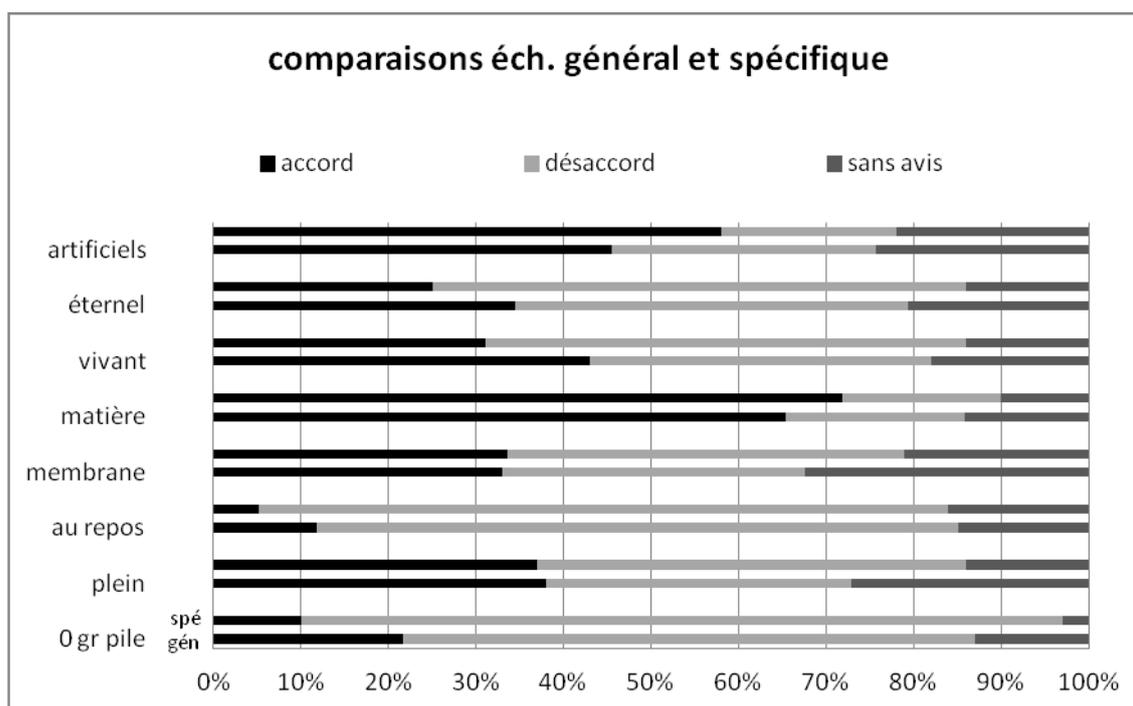
En second lieu, nous avançons une réflexion du point de vue comparatif entre les résultats extraits par les deux échantillons de notre corpus : l'échantillon général et l'échantillon spécifique (composé à partir d'élèves en TS uniquement, cf. §9.3.1), dont les résultats sont présentés au chapitre suivant. À ce propos, le graphe qui suit illustre les écarts entre les moyennes :



Graph 13.145 : Comparaisons des moyennes entre les ensembles général et spécifique

Les labels utilisés dans l'axe des abscisses doivent être entendus au sens des légendes au-dessous des histogrammes (cf. graphes 13.136 - 13.143). Nous remarquons aussi qu'à propos de la variable « vivant » les deux groupes s'opposent, la moyenne « générale »

étant inférieure à 3, à savoir que l'atome est considéré comme un organisme. Dans tous les autres items (à la limite pour le deuxième), les valeurs, vues en paires générale / spécifique, se situent toujours dans le même demi-plan du repère, par rapport à la droite $y = 3$. Autour des énoncés droites 1 et 3, et 5 gauche, nous retrouvons les positionnements les plus formels, soit qu'il s'agisse de l'échantillon général ou spécifique. De surcroît, la question de l'atome plein ou lacunaire, ainsi que celle de sa membrane hypothétique rendent les uns et les autres plus perplexes quant à leur réaction. Ensuite, nous proposons le graphe suivant qui illustre les scores afférents aux deux groupes en les confrontant entre eux :



Graph 13.146 : Point de vue comparatif entre les deux ensembles

Dans chacun des huit séries de barres, celle du bas correspond à l'ensemble général et celle du haut à l'ensemble spécifique, comme hapax indiqué dans l'axe vertical. Les idées d'atome plein, enveloppé d'une membrane et appartenant aux êtres vivants persistent au moins chez le tiers des individus, indépendamment de l'échantillon dont ils sont issus. Parcourant les variables, les sujets « spécifiques » réagissent plus expressément dans leurs réponses, les scores des « sans avis » étant systématiquement restreints. Pour un peu plus de 20 % d'entre eux, les énoncés 8 et 4 apparaissent les plus énigmatiques, alors que leurs camarades de l'ensemble général hésitent davantage face aux énoncés 4, 2, 8 et 7.

Enfin, les calculs du test Chi 2, réalisés avec le logiciel SPSS, montrent qu'il y a une influence de certaines variables indépendantes sur les réponses, de la façon que précise le tableau suivant :

Tableau 13.28 : Influence des modalités des variables indépendantes sur les résultats

variable indépendante VI	variable dépendante VD	Chi 2	ddl	valeur de p
origine	0 gr pile	13,472	4	.009
	plein	30,774	4	.000
	matière	14,192	4	.007
	vivant	11,650	4	.020
	éternel	36,226	4	.000
	artificiels	20,211	4	.000
classe	0 gr pile	43,284	8	.000
	plein	36,969	8	.000
	vivant	17,492	8	.025
	artificiels	31,991	8	.000
sexe	0 gr pile	9,511	4	.050
	vivant	11,406	4	.022
formation familiale	0 gr pile	17,371	8	.026
	matière	16,626	8	.034

Nous nous intéressons, plus particulièrement, à la corrélation entre les scores obtenus par la réponse « l'atome relève du vivant » et d'autres variables :

Tableau 13.29 : Relations entre la variable « vivant » et autres, de la question 3

échantillon	effectif	variable	corrélation de Pearson r	valeur de p	conclusion
GR_4 ^e	104	éternel	-.237	.015	relation inversement proportionnelle d'intensité moyenne : plus les sujets croient que l'atome est vivant plus ils pensent qu'il n'est pas éternel
		artificiels	.232	.018	relation proportionnelle moyenne : plus les sujets croient que l'atome est vivant plus ils pensent que l'homme en peut créer

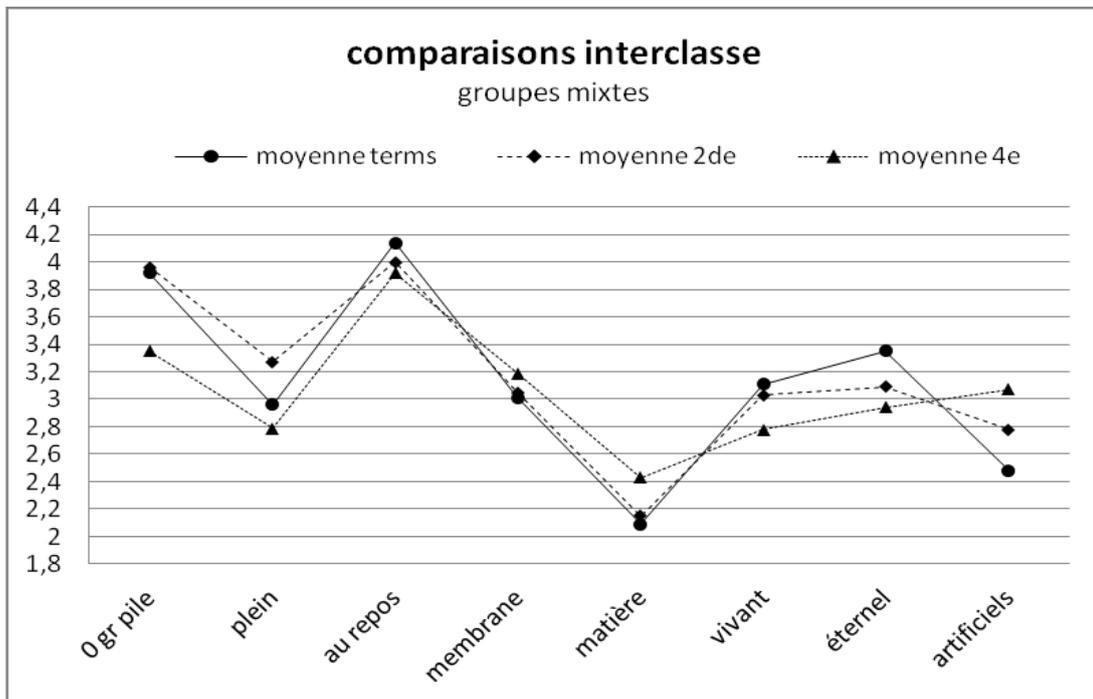
FR_4°	102	membrane	.198	.050	à la limite, relation proportionnelle d'intensité faible : plus les sujets conçoivent l'atome avec une membrane plus ils le considèrent vivant
		matière	.217	.030	relation proportionnelle moyenne : plus les sujets croient que l'atome relève de la matière plus ils le classent parmi les êtres vivants
GR_2de	104	membrane	.296	.002	relation proportionnelle moyenne : plus les sujets conçoivent l'atome avec une membrane plus ils le considèrent vivant
FR_2de	102	membrane	.256	.012	relation proportionnelle moyenne : plus les sujets conçoivent l'atome avec une membrane plus ils le considèrent vivant
GR_terms	105	membrane	.283	.004	relation proportionnelle moyenne : plus les sujets conçoivent l'atome avec une membrane plus ils le considèrent vivant
FR_terms	99	0 gr pile	.258	.010	relation proportionnelle moyenne : plus les sujets croient que l'atome pèse nul plus ils le considèrent vivant
		au repos	-.215	.034	relation inversement proportionnelle d'intensité moyenne : plus les sujets croient que l'atome est au repos moins ils le caractérisent vivant
GR_313	313	membrane	.212	.000	relation proportionnelle moyenne : plus les sujets conçoivent l'atome avec une membrane plus ils le considèrent vivant
		éternel	-.150	.008	relation inversement proportionnelle d'intensité faible : plus les sujets croient que l'atome est vivant plus ils pensent qu'il n'est pas éternel
FR_303	303	0 gr pile	.187	.001	relation proportionnelle faible : plus les sujets croient que l'atome pèse nul plus ils le considèrent vivant
		membrane	.192	.001	relation proportionnelle faible : plus les sujets conçoivent l'atome avec une membrane plus ils le considèrent vivant
éch_général	616	0 gr pile	.155	.000	relation proportionnelle faible : plus les sujets croient que l'atome pèse nul plus ils le considèrent vivant
		membrane	.210	.000	relation proportionnelle moyenne : plus les sujets conçoivent l'atome avec une membrane plus ils le considèrent vivant

Nous concluons une relation proportionnelle systématique entre les deux variables « membrane » et « atome » (ce premier énoncé précède le second, cf. question 3, annexe 3). Bien que son intensité ne soit pas importante, cette relation peut être interprétée par un effet d’ancrage : les élèves, qui ont découvert les Sciences Naturelles dès l’école primaire, donc avant l’enseignement de Physique-Chimie au collège, tentent de se familiariser avec la structure de l’atome en considérant la couche externe comme la membrane d’une cellule ou en établissant cette métaphore. Ainsi, d’un point de vue psychologique, ils font peut-être usage d’un homomorphisme (Leconte, 2012) dont on sait le rôle qu’il remplit lorsqu’on désire connaître : le monde prendrait alors une même forme et l’homme ne s’y sentirait plus perdu ; au contraire, il pourrait « contempler l’harmonie d’un monde ou tout se répond. » (*ibid.*, p 68).

Après avoir jusqu’à présent exposé tous les résultats, nous passons maintenant aux regards comparatifs entre les trois ensembles (4^e, 2^{de} et term.), puis nous nous centrons sur l’évolution intragroupe (4^e, 2^{de}, terminales toutes séries confondues et, terminales scientifiques), autant pour les français que pour les grecs.

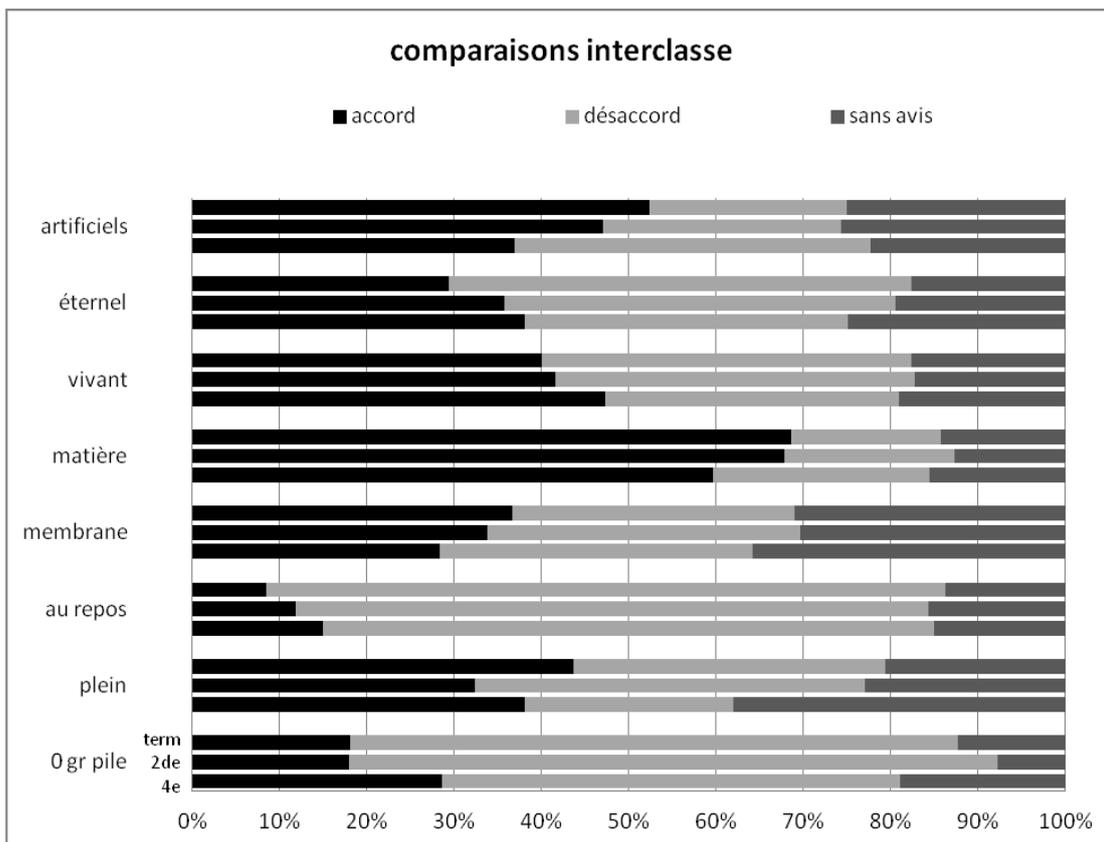
13.3.11 Comparaisons entre les trois niveaux de classe

À partir des résultats inhérents aux trois ensembles, ou trois groupes mixtes provenant de la fusion des effectifs français et grec (afférents aux classes de 4^e, de 2^{de} et de terminales, toutes séries confondues), nous avons élaboré les deux graphes suivants :



Graph 13.147 : Comparaisons entre les moyennes qu'obtiennent les items des trois ensembles

Le type de représentation graphique choisi permet de repérer les variables dont les trois moyennes (*i.e.* un marqueur par niveau de classe) se situent soit systématiquement en haut ou en bas de la droite $y = 3$, soit en deçà et au-delà, observation qui peut témoigner d'un changement qualitatif (outre l'écart mesurable, bien entendu). Plus concrètement, dans les cas des énoncés 6 et 8, les réponses évoluent, dès la 4^e, vers le bon sens et, inversement, reculent vers un sens inapproprié s'agissant de l'avant-dernier énoncé. Enfin, seul le groupe des classes de 2^{de} réussit dans la deuxième sous-question, les élèves en terminales rejoignant à la limite les petits collégiens, porteurs de la conception daltonienne. Au-delà, nous concluons à une évolution linéaire (c'est-à-dire, dans le sens : 4^e → 2^{de} → term.) correcte à propos des items 1, 3, 5, 6 et 8 et fautive pour les 4^e et 7, comme l'illustre d'ailleurs le graphique ci-dessous :



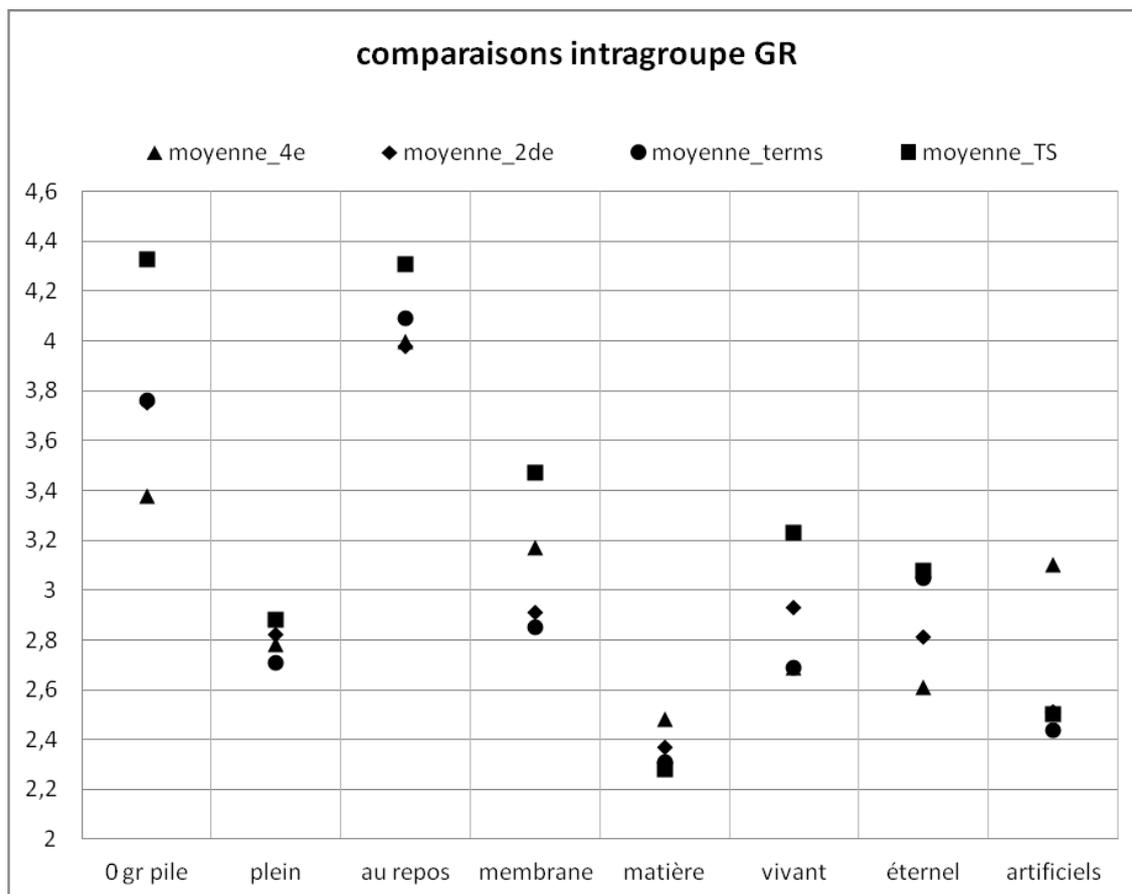
Graphe 13.148 : Comparaison des résultats entre les ensembles de 4^e, de 2^{de} et de terminales. Dans chacun des huit blocs de barres, celle du bas correspond à l'ensemble de 4^e, celle du milieu à l'ensemble de 2^{de} et celle du haut à l'ensemble de term.

Ensuite, nous allons juxtaposer les résultats grecs, puis français, en fonction du niveau de classe y compris les résultats relatifs aux terminales scientifiques composant l'échantillon spécifique (cf. § 4.2.3).

13.3.12 Comparaisons intragroupe grecques

Pour confronter les résultats entre les quatre groupes d'élèves grecs, soit trois groupes incorporés dans l'échantillon général (classes de 4^e, de 2^{de} et de terminales mixtes) et un groupe d'élèves en terminale scientifique, faisant partie de l'échantillon spécifique, nous proposons les graphes ci-dessous. Comme d'habitude, le premier fournit les quatre moyennes par variable, à la seule différence qu'on a éliminé les arêtes rejoignant les marqueurs, pour des raisons de lisibilité. Par ailleurs, il ne s'agit aucunement d'une

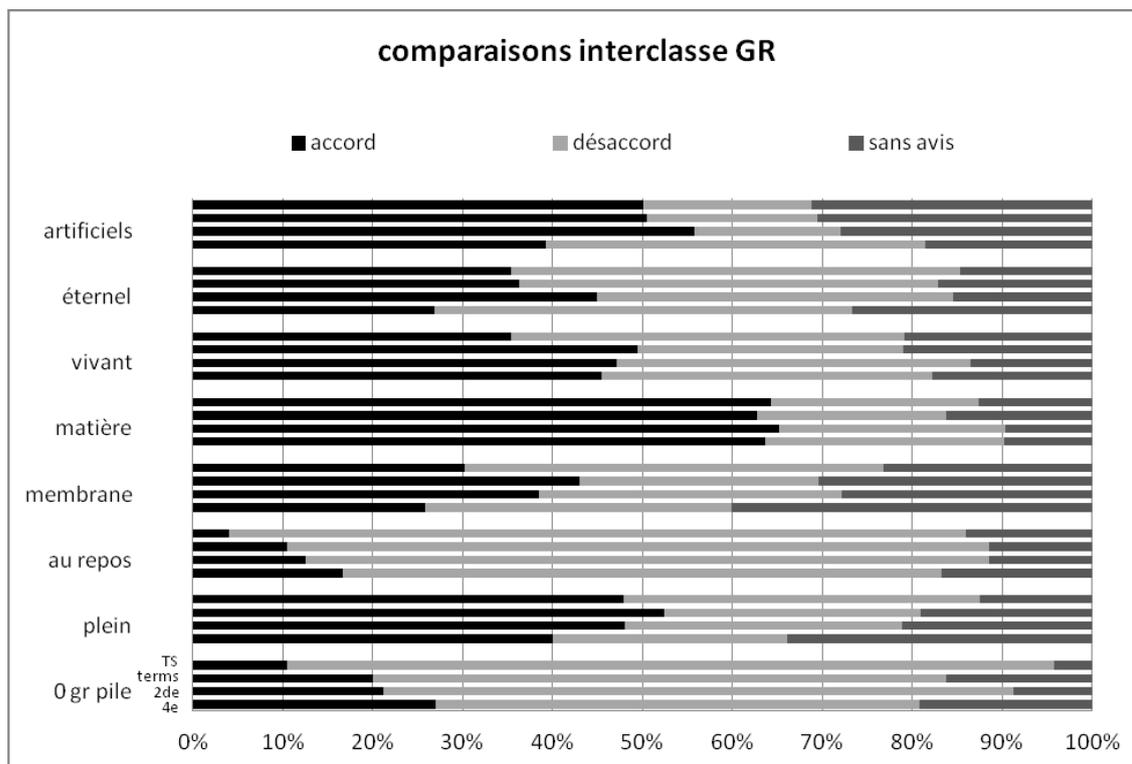
évolution des valeurs suivant une fonction, chacun des huit blocs de marqueurs verticaux ne doit être qu'examiné en son sein.



Graph 13.149 : Comparaisons entre les moyennes qu'obtiennent les variables auprès des groupes grecs

La dispersion des marques liées aux variables 4, 6, 7 et 8 en deçà et au-delà de la droite $y = 3$ laisse inférer une évolution essentielle des conceptions vers le bon sens dans les cas des items 4, 6 et 8. Cependant, la tendance d'évolution concernant l'item 7 se trouve en contradiction avec le modèle scientifique. En d'autres termes, une conception erronée retenue chez les collégiens évolue vers le modèle canonique, chez les « scientifiques », suivant l'enchaînement : 4^e → 2^{de} → term. → TS. Par ailleurs, les réponses présentent une homogénéité forte concernant les variables « plein », « matière » et « au repos » ; elles viennent se renforcer, dès le groupe de 4^e, pour les première et troisième variables. En bref, la croyance que l'atome semble être périssable, ainsi que celle qui voudrait qu'il soit censé être un organisme vivant (hors TS), constituent les deux aspects critiquables qui émergent

de ce graphe. Une visualisation plus comparative entre les scores des opinions positives et négatives est offerte, de façon évolutive, par le graphe suivant :

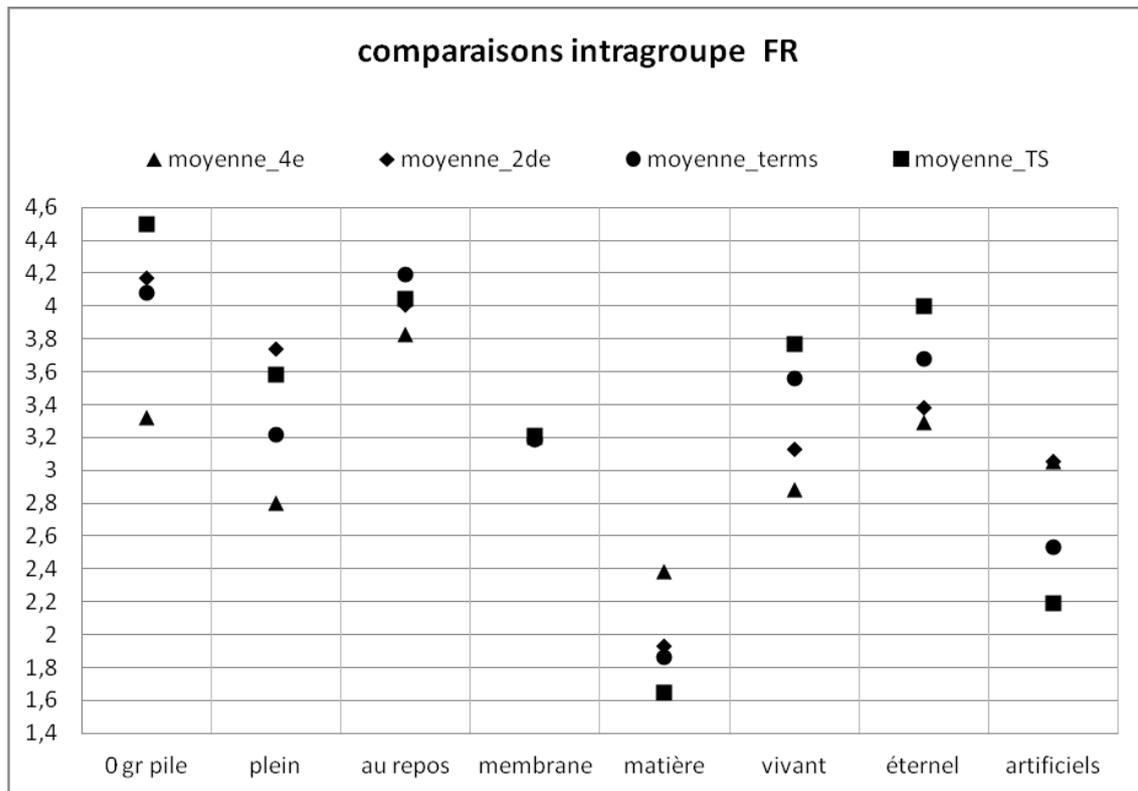


Graphe 13.150 : Comparaison des résultats entre les ensembles grecs de 4^e, de 2^{de}, de terminales et de TS. Dans chacun des huit blocs, les barres, du bas vers le haut, correspondent aux groupes de 4^e, 2^{de}, terms et TS, respectivement

Nous remarquons ici que les élèves sont de moins en moins nombreux à croire à une masse de l'atome nulle et à un état statique caractérisant l'atome. Les variables « membrane » et « vivant » gagnent du terrain chez les lycéens mais, leur score d'accord recule relativement en TS. Au demeurant, presque la moitié, même ceux en TS, considèrent l'atome plein, daltonien et non lacunaire. Autour des autres variables, les quelques variations, notamment observées chez les lycéens, sont modérées.

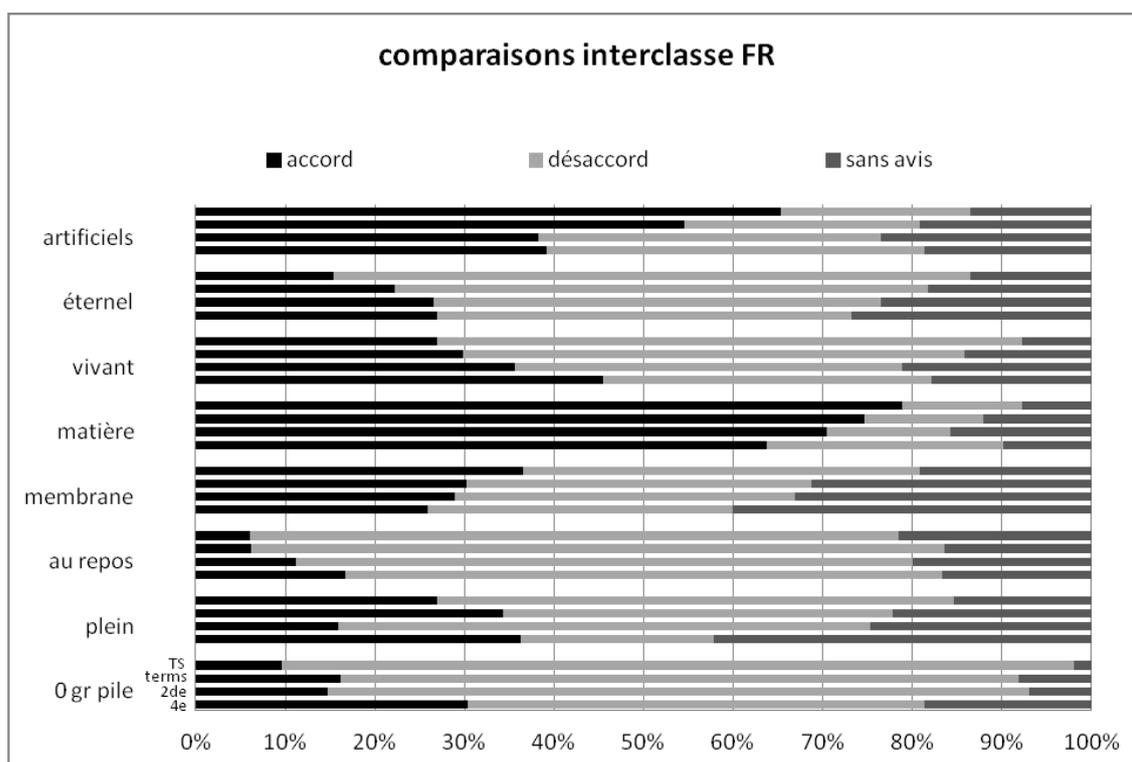
13.3.13 Comparaisons intragroupe françaises

De manière analogue, les comparaisons simultanées des moyennes associées aux variables questionnées s'effectuent par l'intermédiaire du graphe suivant :



Graph 13.151 : Comparaisons entre les moyennes qu’obtiennent les variables auprès des groupes français

Au premier abord, les réponses les plus connexes entre les quatre groupes sont rencontrées quand il s’agit des variables « au repos » et « membrane ». À l’égard des items 2, 6 et 8, les élèves se partagent entre les plus jeunes (qui se trompent) et les lycéens des terminales qui construisent la bonne conception. Parmi les autres énoncés, les premier et sixième évoluent dans un sens juste, à l’encontre du septième qui démontre que la conception de l’atome instable persiste, voire se consolide vers les niveaux scolaires supérieurs. L’illustration de l’évolution des scores d’accord et de désaccord à propos des parties gauches des énoncés est l’objectif du graphe qui suit :

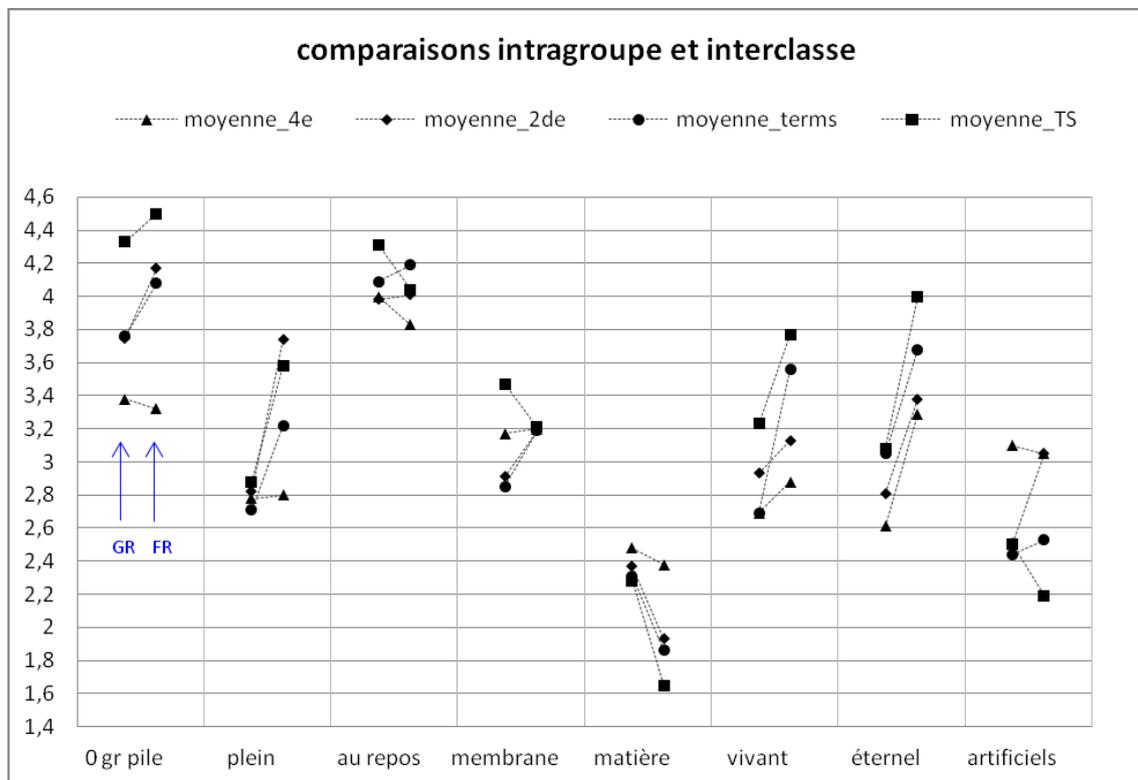


Graph 13.152 : Comparaison des résultats entre les ensembles français de 4^e, de 2^{de}, de terminales et de TS. Dans chacun des huit blocs, les barres, du bas vers le haut, correspondent aux groupes de 4^e, 2^{de}, terms et TS, respectivement

Comme leurs camarades grecs, les français construisent un modèle de l'atome contenant de la matière, d'où sa masse non nulle et en état agité. Les plus avancés dans leur scolarité pensent à la fois à une membrane l'enveloppant, mais, que l'atome ne fait pas partie du monde vivant ni qu'il constitue une entité éternelle. Par rapport aux lycéens de seconde, ceux en terminales (même en TS) doublent leurs effectifs quant à une conception d'atome rempli de matière, se rapprochant de 30 %.

Pour clore cette section, nous proposons un aperçu visant à récapituler l'évolution dans les valeurs des moyennes inhérentes aux quatre groupes considérés (*i.e.* 4^e, 2^{de}, terms et TS). Il convient de le lire comme suit : dans chacune des huit zones de quadrillage vertical apparaissent huit marqueurs dont quatre grecs et autant de français, à côté des premiers, verticalement alignés les uns et les autres de la manière indiquée par les deux flèches. De la sorte, l'alignement grec apparaît à gauche, l'alignement français juste à droite, dans chaque zone. Chaque paire de marqueurs grec et français homologues (*i.e.* d'un même niveau de classe) est reliée par une arête, comme un haltère. Bien évidemment, plus l'arête prend une orientation verticale plus il y a écart entre les moyennes grecque et

française et inversement. À titre indicatif, les haltères liés aux classes de 4^e demeurent les plus horizontales, relativement aux autres, dans cinq variables (cf. graphe 13.153 ci-dessous, items 1, 2, 4, 5 et 8).



Graphe 13.153 : Aspect récapitulatif des comparaisons des moyennes des ensembles grecs et français de 4^e, de 2^{de}, de terminales et de TS

La distribution des marqueurs est plus serrée – autrement dit, l'évolution dans les conceptions est restreinte – à propos des variables « au repos » et « membrane ». La transposition n'est pas performante, la dernière distribution donnant un arrangement de marqueurs grecs équivoque, car située en deçà et au-delà de 3. En revanche, une distribution assez étendue se développe autour des variables 1, 2 (cas français), 5 (cas français), 6, 7 et 8.

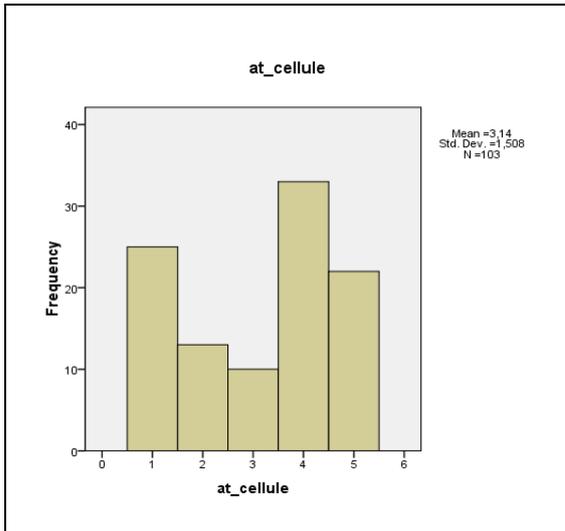
13.4 Question 4

Pour cette question, nous proposons un nombre d'énoncés soumis aux individus à partir desquels il est demandé de se positionner ; cela afin d'exprimer l'intensité de leur

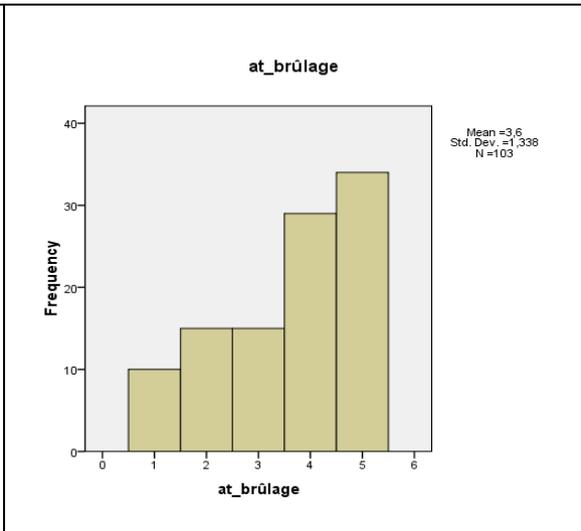
approbation ou objection. L'échelle de Likert, à laquelle nous avons recours, offre un des outils les plus fiables à la disposition du chercheur, pour ainsi dégager différents degrés d'opinion. Dans ce qui suit, nous présentons premièrement les résultats issus de la cohorte d'élèves des classes de quatrième (grecs, français et ensemble), qui ont renseigné la version du questionnaire « 4^e de collège ». À titre de guide, nous soulignons que toutes les propositions, face auxquelles ces sujets ont été invités à se positionner, sont fausses. Cependant et d'après un deuxième regard critique, nous pourrions tester, rétrospectivement, certaines variables (notamment la 2^{ème} et la 5^{ème}) en les reformulant comme suit (quant à la 2^{ème}, par exemple) : « Lors du brûlage du papier, les atomes qui le constituent ne se détruisent pas, mais ils subsistent, immuables. »

13.4.1 Grecs de quatrième (N = 104)

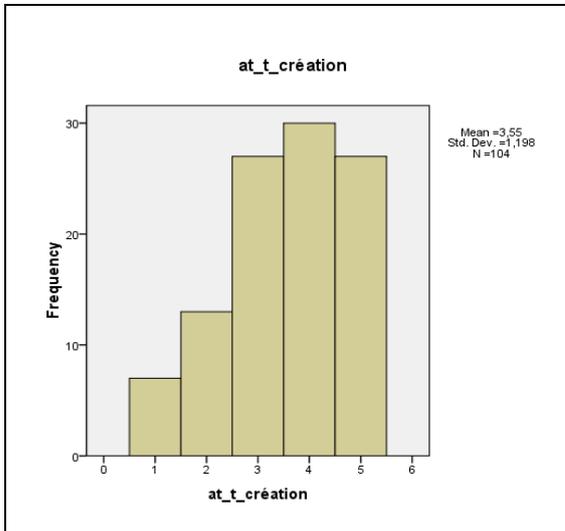
D'après le protocole de ce type de questionnaire d'opinion, les modalités proposées, codifiées de 1 à 5, se trouvent arrangées dans un sens qui évolue du désaccord vers l'accord. Plus concrètement : 1 : « totalement pas d'accord » ; 2 : « en partie pas d'accord » ; 3 : « ni d'accord ni pas d'accord » ; 4 : « en partie d'accord » ; 5 : « totalement d'accord ». Notons que les histogrammes sont légendés par un résumé de la phrase ou variable testées, et que les indicateurs statistiques associés sont aussi donnés dans le tableau dénommé «Statistics», cité ci-après. Ces éléments pratiques étant mentionnés, nous passons aussitôt à la présentation graphique des réponses, à la base des cinq modalités évoquées :



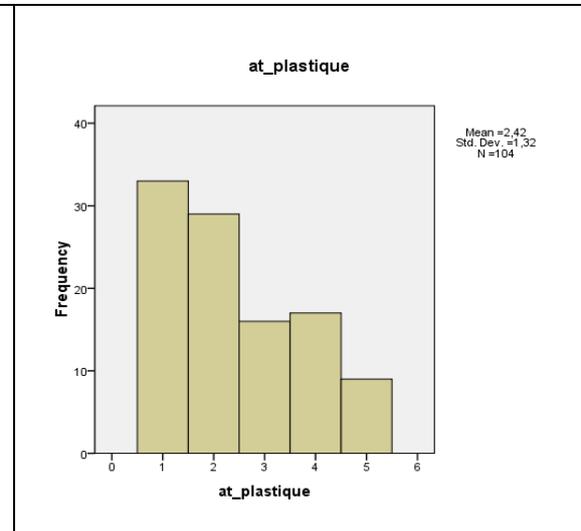
Grphe 13.154 : inerte / atomes, vivant / cellules



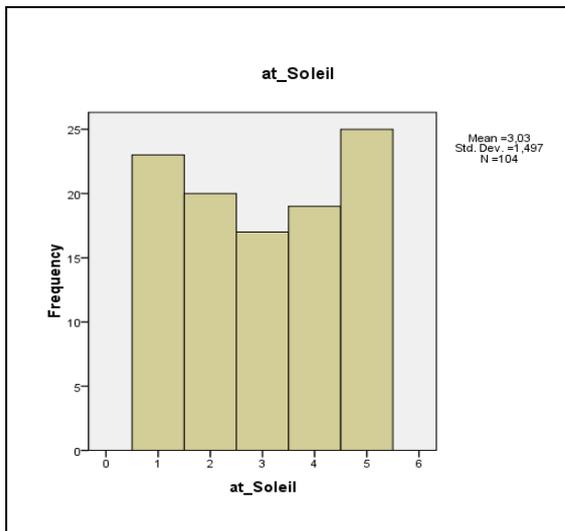
Grphe 13.155 : brûlage, destruction d'atomes



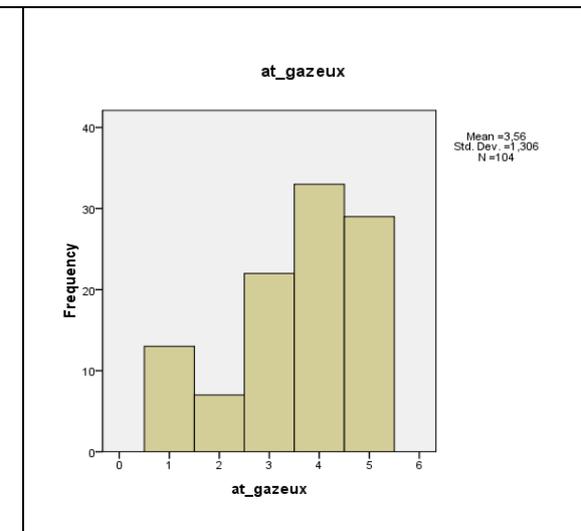
Grphe 13.156 : temps de création d'atomes, fœtus



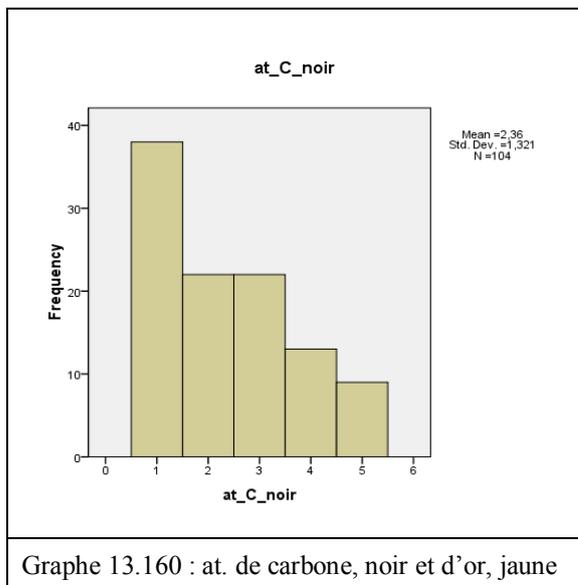
Grphe 13.157 : atomes de verre, de plastique...



Grphe 13.158 : pas d'atomes au Soleil

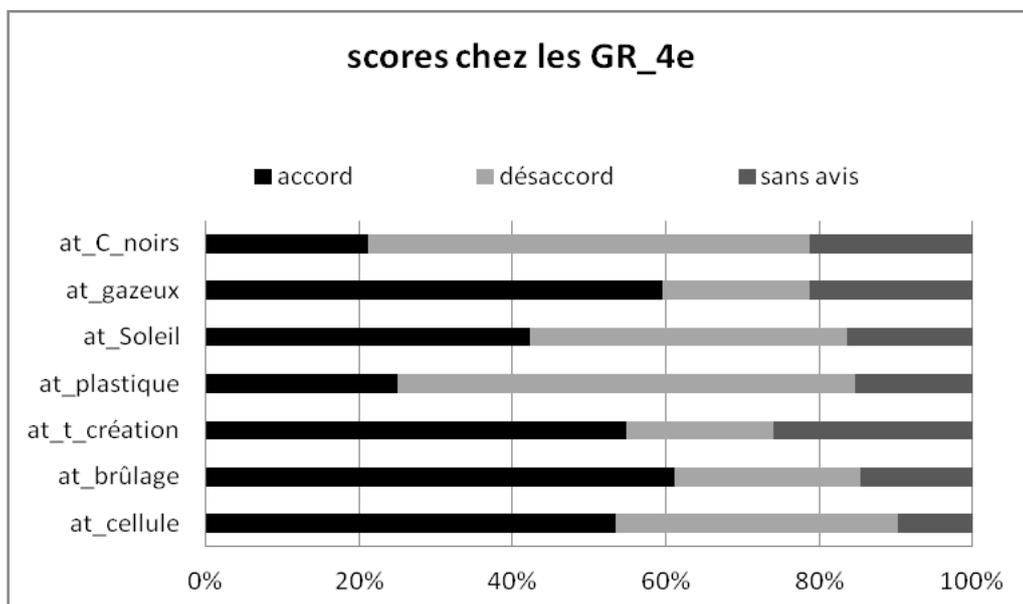


Grphe 13.159 : atomes d'O gazeux, de Fe solides



Graph 13.160 : at. de carbone, noir et d'or, jaune

Très sommairement, les élèves approuvent les propositions (erronées) 1, 2, 3 et 6, donc ils y échouent et s'opposent aux 4^{ème} et 7^{ème}. Vis-à-vis de la 5^{ème}, ils se voient partagés. Afin de lire ces résultats de manière plus rapide, nous nous référons au graphe suivant :



Graph 13.161 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

En ce niveau de classe où les élèves sont initiés aux connaissances de base concernant la structure de la matière, il ne faut pas perdre de vue que certaines variables examinées (par

exemple, la 1^{ère}, la 3^{ème}, la 5^{ème}) renvoient à des savoirs hors programmes. De fait, les répondants s'appuient sur leurs conceptions relevant de l'ordre du sens commun. Ce comportement peut être privilégié même pour les autres variables, vu que les savoirs enseignés en classe des sciences – tels que, la transformation chimique (liée à la 2^{ème} variable) ou les différentes représentations des atomes (cf. 7^{ème} variable) – ne sont probablement, qu'en partie acquis. La moyenne des scores et autres indicateurs statistiques par variable sont fournis dans le tableau ci-dessous :

Tableau 13.30 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par variable, chez les GR_4^e

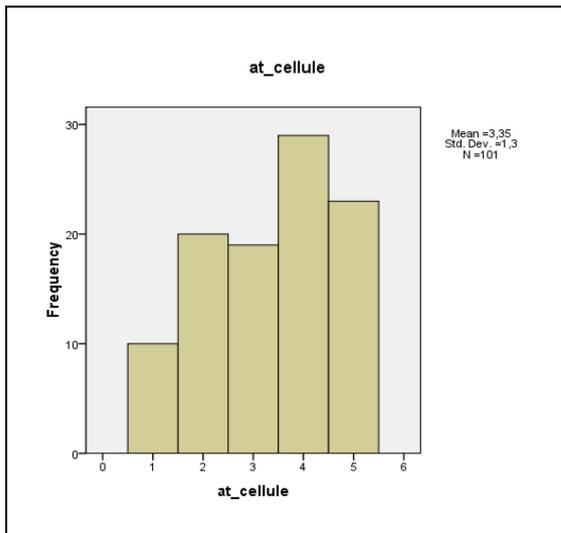
Statistics

	at_cellule	at_brûlage	at_t_création	at_plastique	at_Soleil	at_gageux	at_C_noirs
N Valid	103	103	104	104	104	104	104
Missing	1	1	0	0	0	0	0
Mean	3,14	3,60	3,55	2,42	3,03	3,56	2,36
Median	4,00	4,00	4,00	2,00	3,00	4,00	2,00
Std. Deviation	1,508	1,338	1,198	1,320	1,497	1,306	1,321
Variance	2,275	1,791	1,435	1,742	2,242	1,705	1,746

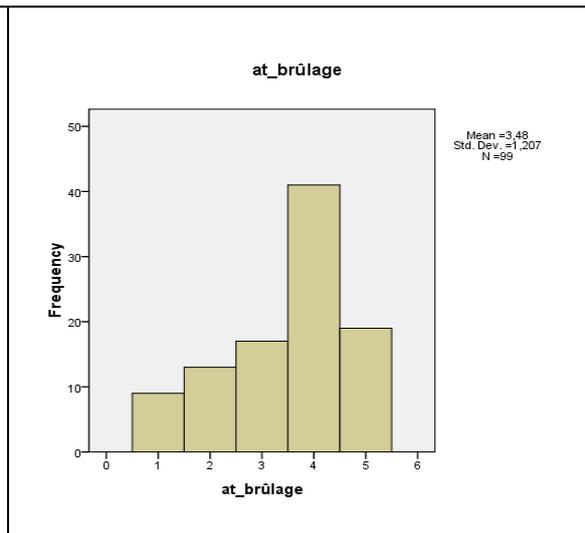
La dernière variable, suivie des deuxième et quatrième arrivent en premiers rangs dans la fourchette mesurant la différence absolue des moyennes de la valeur 3. Autrement dit, les enquêtés identifient les couleurs illustrant les atomes des différents éléments dans les manuels à une représentation, et non pas à une propriété intrinsèque des atomes eux-mêmes. De surcroît, le sens commun importe la croyance en la destruction des atomes lors du brûlage du matériel qu'ils constituent. Enfin, si les formules « atome d'hydrogène », « atome d'oxygène », etc. sont convenables ou presque chez les petits collégiens, par ailleurs ils semblent se méfier de l'existence d'atomes de verre ou de plastique, etc. Cependant, cette méfiance du groupe d'individus reste limitée, étant donné que les écarts-types les plus faibles correspondent non pas à la 4^{ème}, mais aux 3^{ème} et 6^{ème} variables.

13.4.2 Français de quatrième (N = 102) – Comparaisons

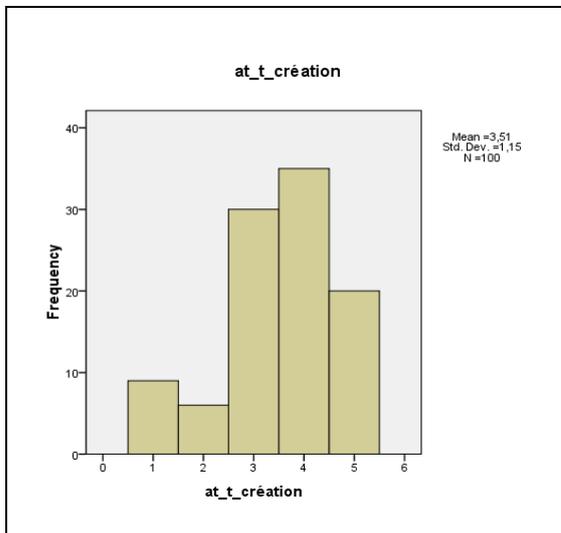
SPSS a édité les histogrammes suivants illustrant les fréquences qu'obtient chaque modalité :



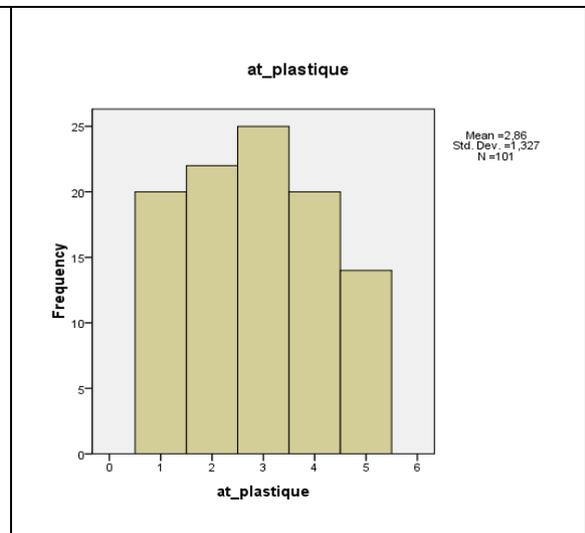
Graphe 13.162 : inerte/atomes, vivant/cellules



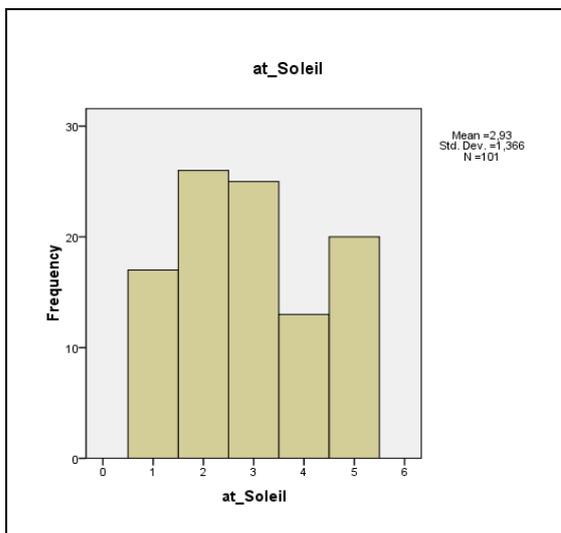
Graphe 13.163 : brûlage, destruction d'atomes



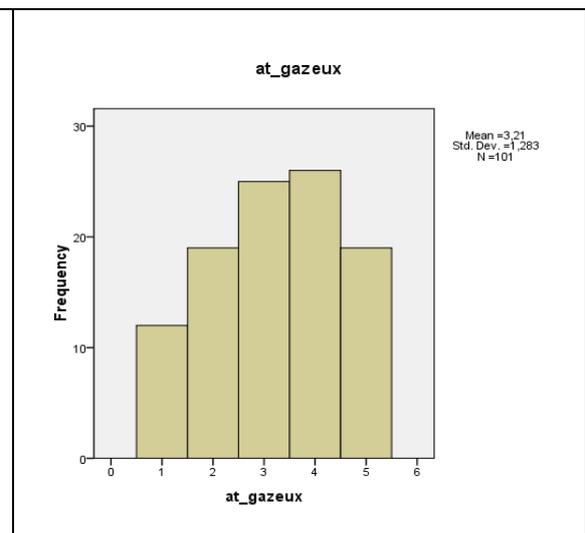
Graphe 13.164 : temps de création d'atomes, fœtus



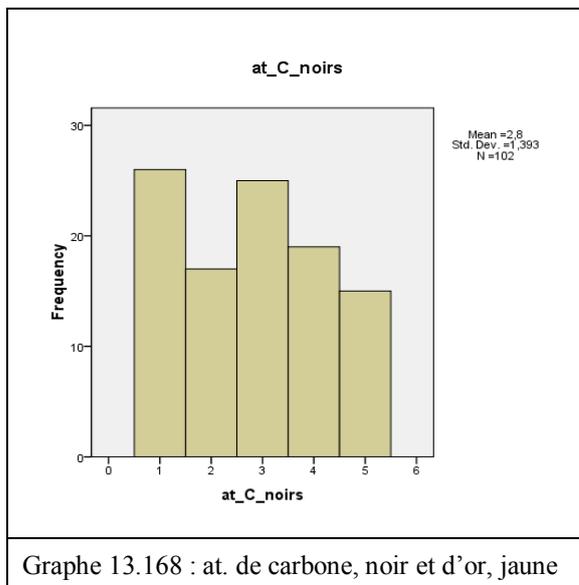
Graphe 13.165 : atomes de verre, de plastique...



Graphe 13.166 : pas d'atomes au Soleil

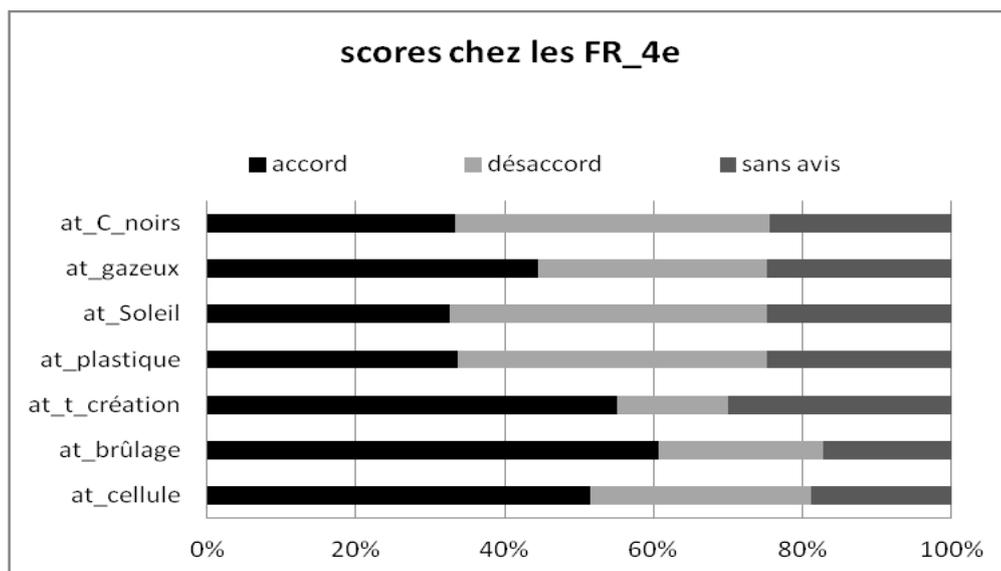


Graphe 13.167 : atomes d'O gazeux, de Fe solides



Graph 13.168 : at. de carbone, noir et d'or, jaune

De manière similaire à leurs homologues grecs, les collégiens français se sont trompés à propos des propositions 1, 2, 3 et 6, tandis qu'ils ont correctement répondu pour les autres. Le graph ci-dessous offre une lecture simplifiée de ces résultats :



Graph 13.169 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

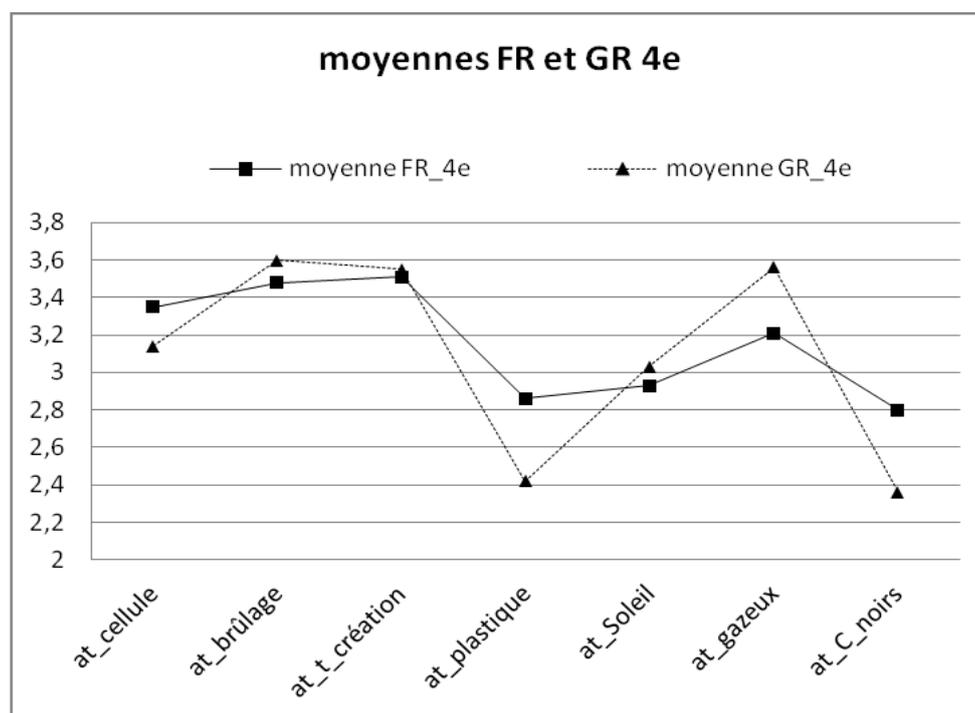
Six élèves sur dix paraissent persuadés que le brûlage détruit les atomes et, un peu plus de cinq sur dix, que les atomes de notre corps se forment durant la gestation, avec cependant un bon quart à exprimer des doutes. Nous nous centrons sur les valeurs des moyennes et des écarts-types, données au tableau suivant :

Tableau 13.31 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par variable, chez les FR_4^e

		Statistics						
		at_cellule	at_brûlage	at_t_création	at_plastique	at_Soleil	at_gazeux	at_C_noirs
N	Valid	101	99	100	101	101	101	102
	Missing	1	3	2	1	1	1	0
Mean		3,35	3,48	3,51	2,86	2,93	3,21	2,80
Median		4,00	4,00	4,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Std. Deviation		1,300	1,207	1,150	1,327	1,366	1,283	1,393
Variance		1,689	1,456	1,323	1,761	1,865	1,646	1,941

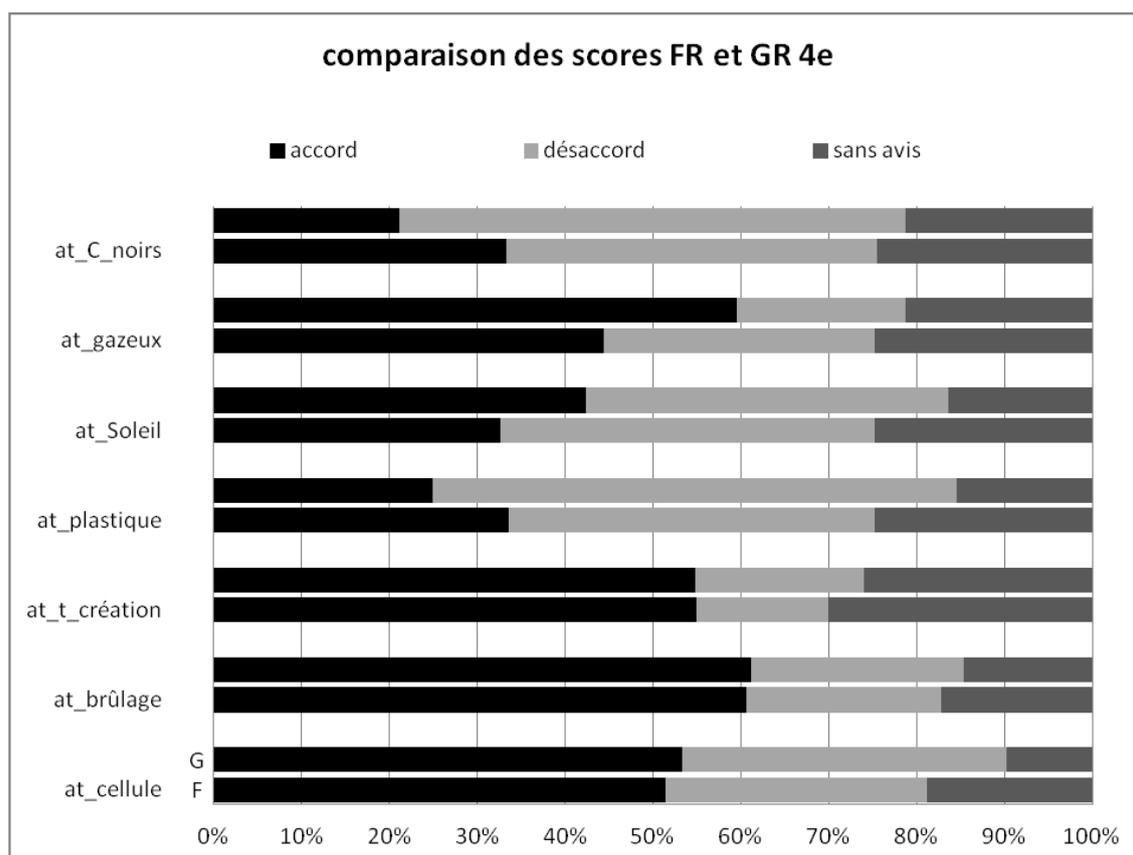
À l'exception des variables 3, 2 et 1, les autres obtiennent des moyennes peu écartées de 3, c'est-à-dire que l'incertitude semble caractériser les réactions des élèves face aux affirmations proposées. C'est exactement autour des mêmes variables, précédemment relatées, que nous retrouvons les écarts-types les plus faibles. Par contre, une vaste dispersion de réponses est observée dans le cas des variables 7 et 5.

Nous tentons de confronter les résultats grecs et français par les deux graphes suivants :



Graph 13.170 : Comparaisons des moyennes des groupes français et grecs des classes de 4^e

Nous constatons que les marqueurs français et grec considérés en paires par variable se situent dans le même demi-plan de frontière $y = 3$ (certains au-dessus, d'autres en-dessous), hormis la cinquième variable où il advient, à la limite, une dissension : les grecs, dans leur légère majorité, entretiennent la conception de la non existence d'atomes dans le Soleil. En outre, les différences majeures dans les moyennes se localisent autour des variables principalement 4^et 7 et, secondairement, 6 et 1. Pour les petits grecs, l'atome lui-même peut être gazeux ou solide, en fonction de l'état de la matière qu'il constitue, conception qui se manifeste de manière excessive, contrairement au cas français. En règle générale, ces derniers se rapprochent plutôt de la zone neutre, du sans avis (cf. droite $y = 3$), concernant les variables mentionnées, sauf la première. En effet, ils sont plus nombreux que les grecs à reconnaître, d'une part les atomes comme les constituants de la matière inerte et, d'autre part, les cellules comme les constituants de la matière organique. Les variations dans les scores d'acceptation et de dissension auprès des deux échantillons sont illustrées dans le graphe suivant :

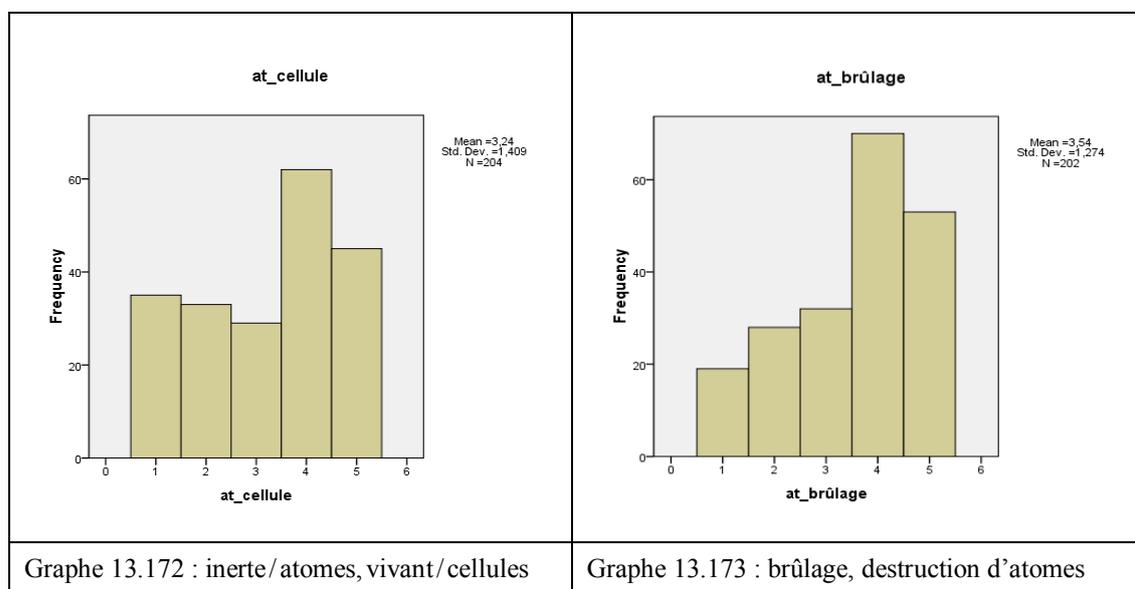


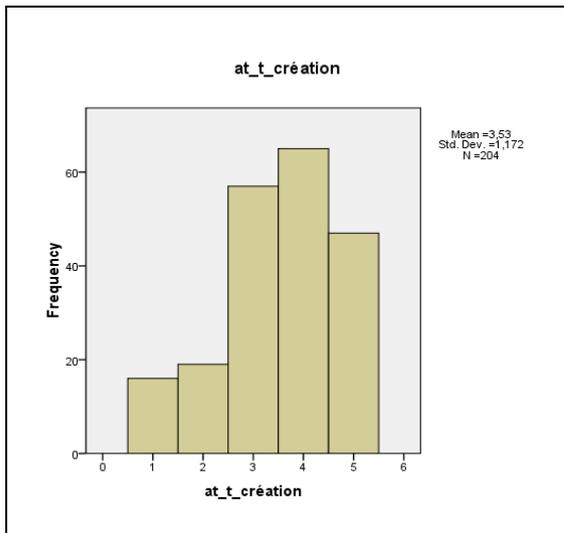
Graphe 13.171 : Point de vue comparatif entre les groupes de 4^e. Dans chacun des sept blocs de barres, celle du bas correspond au groupe français et celle du haut au groupe grec

Comme ce dernier graphique l'a décelé, les quelques divergences entre les deux groupes concernent notamment les variables 4, 6 et 7. Il semble que la transposition didactique porte à induire chez les élèves français l'idée d'atomes dotés de la couleur que possède la matière, à l'échelle macroscopique. Il en va de même, cette fois pour les grecs, à propos de l'état de matière et les atomes qui sont censés être caractérisés en solides, liquides et gazeux.

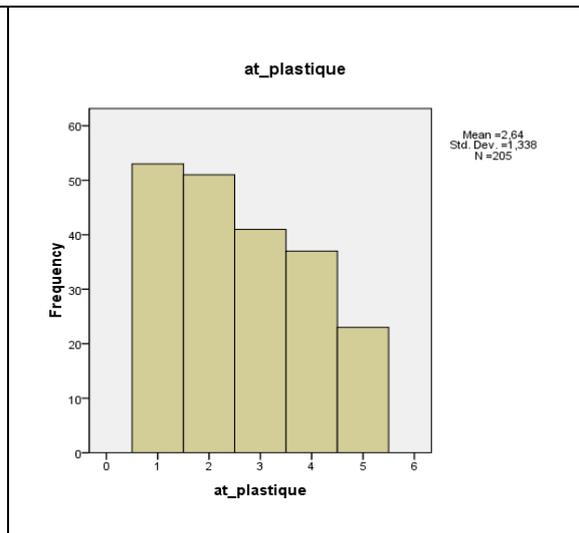
13.4.3 Ensemble de quatrième (N = 206)

La fusion des groupes de 4^e français et grec conduit aux résultats qu'illustrent les histogrammes ci-dessous :

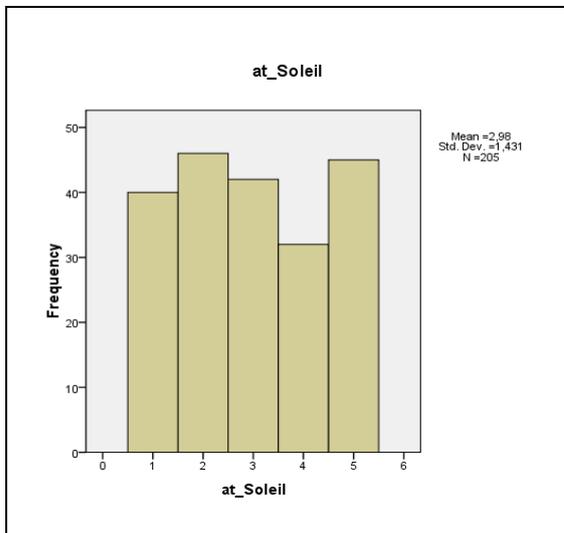




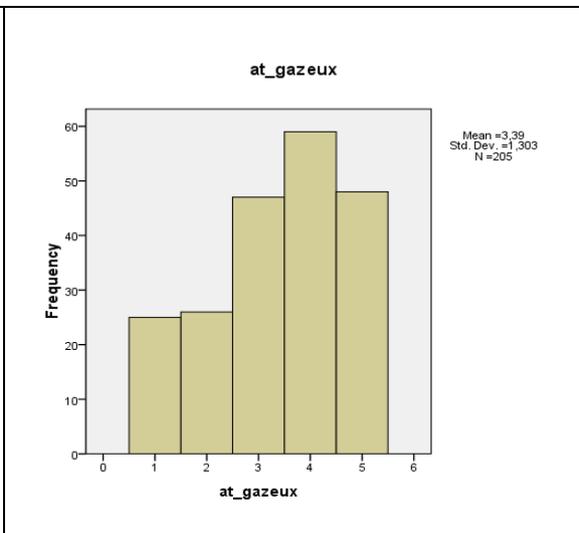
Graphe 13.174 : temps de création d'atomes, foetus



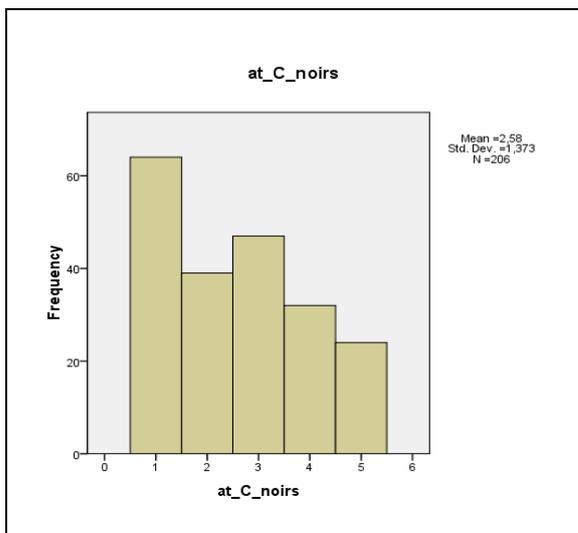
Graphe 13.175 : atomes de verre, de plastique...



Graphe 13.176 : pas d'atomes au Soleil

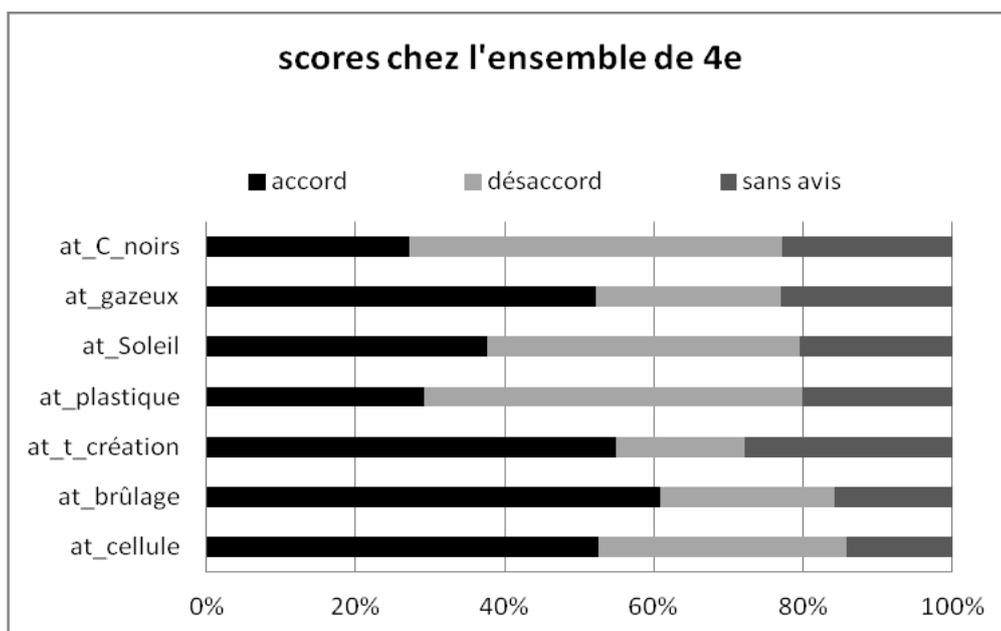


Graphe 13.177 : atomes d'O gazeux, de Fe solides



Graphe 13.178 : at. de carbone, noir et d'or, jaune

Les réponses recueillies auprès des collégiens présentent une dispersion forte parmi les cinq modalités. De plus, les scores de la modalité « sans avis » sont importants, à ce niveau de classe, à l'exception des deux premières propositions. Pour une tentative d'interprétation, nous présumons que ces propositions ont été énoncées de manière la plus vraisemblable par les individus. Les mêmes résultats peuvent être illustrés sous l'angle des trois modalités comme suit :



Graph 13.179 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

En nous référant également au tableau des paramètres statistiques ci-dessous, les positionnements des sujets les plus catégoriques sont accordés, de manière favorable aux phrases 2 et 3 et, de manière opposée, à la dernière. De plus, ces comportements à l'avantage des variables 2 et 3 le sont de façon très consensuelle parmi les enquêtés. En revanche, les deux croyances dégagées, à savoir que l'atome bâtit les objets, alors que la cellule le fait pour le vivant et que le Soleil ne peut héberger des atomes, restent très faiblement consolidées.

Tableau 13.32 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par variable, chez l'ensemble de 4^e

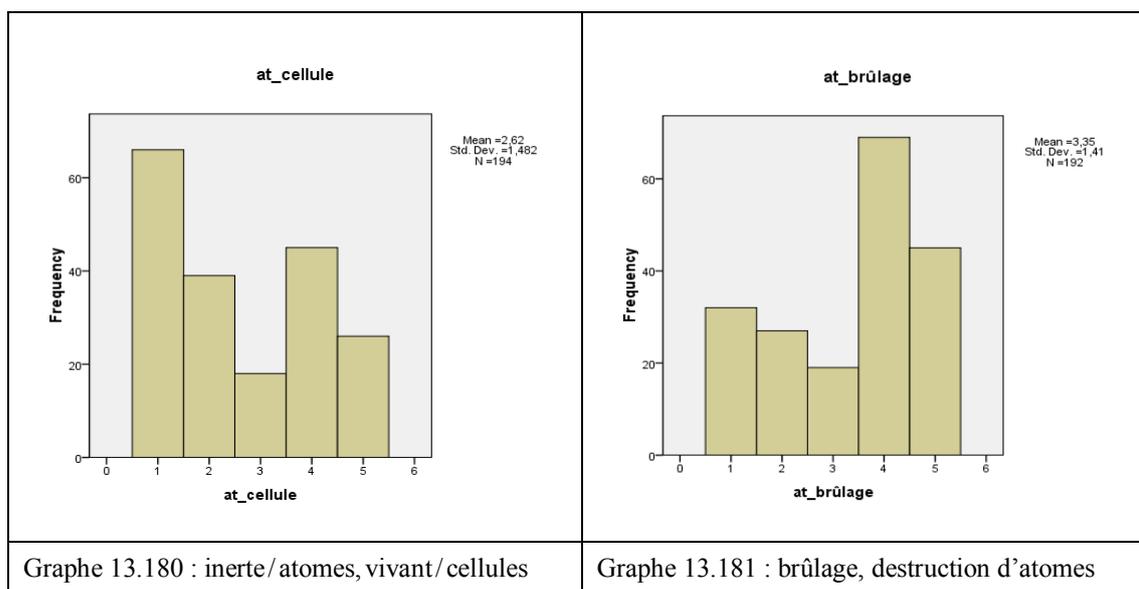
Statistics

		at_cellule	at_brûlage	at_t_création	at_plastique	at_Soleil	at_gazeux	at_C_noirs
N	Valid	204	202	204	205	205	205	206
	Missing	2	4	2	1	1	1	0
Mean		3,24	3,54	3,53	2,64	2,98	3,39	2,58
Median		4,00	4,00	4,00	2,00	3,00	4,00	2,50
Std. Deviation		1,409	1,274	1,172	1,338	1,431	1,303	1,373
Variance		1,986	1,622	1,374	1,791	2,049	1,699	1,884

Nous allons ensuite appliquer les mêmes démarches auprès de la partie des enquêtés qui ont renseigné la version du questionnaire « 2^{de} & Terminales hors TS », autrement dit, français et grecs des classes de seconde et de terminales (TL, TES / TT), hors TS. Les résultats associés aux lycéens inscrits en TS seront abordés plus loin (cf. chapitre 14).

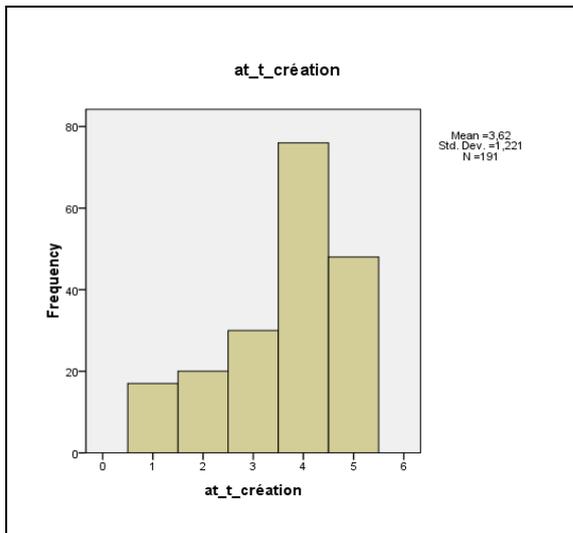
13.4.4 Grecs de seconde et de terminales hors TS (N = 195)

Dans cette version du questionnaire, la quatrième question comprend les sept propositions destinées également aux collégiens, auxquelles nous en avons ajouté quatre (cf. annexe 3, phrases H, I, J et K), dont les H et J fausses, tandis que les I et K sont vraies. Les résultats sont illustrés par les histogrammes que produit le logiciel, comme suit :

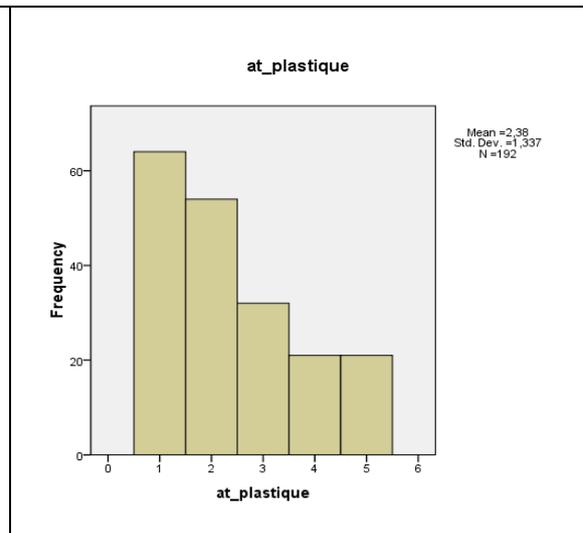


Graph 13.180 : inerte/atomes, vivant/cellules

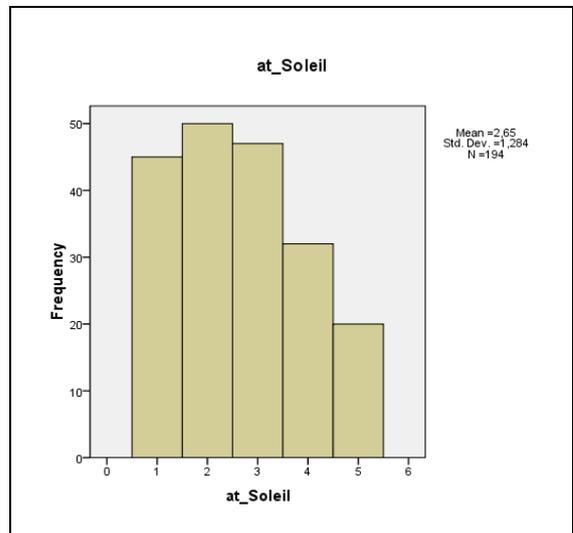
Graph 13.181 : brûlage, destruction d'atomes



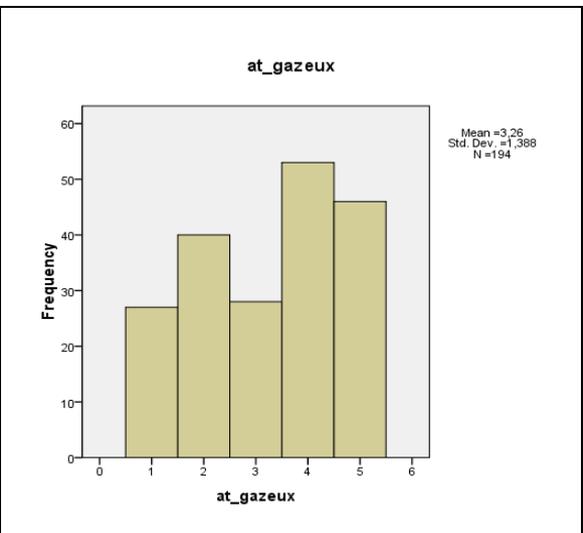
Graph 13.182 : temps de création d'atomes, fœtus



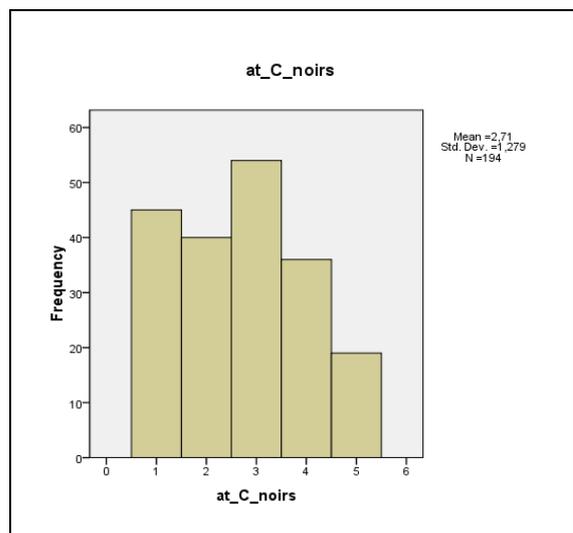
Graph 13.183 : atomes de verre, de plastique...



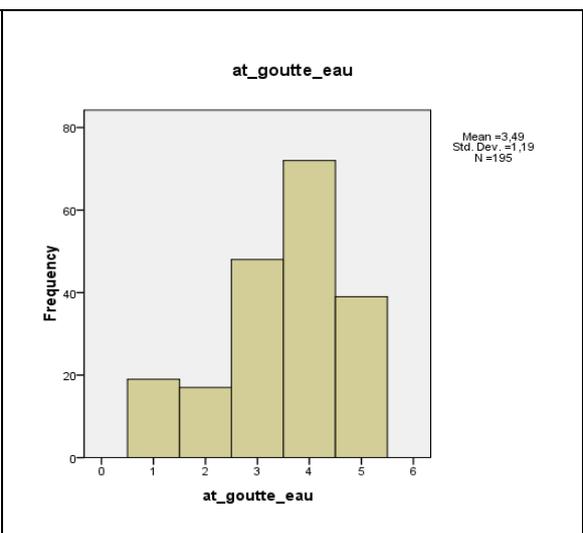
Graph 13.184 : pas d'atomes au Soleil



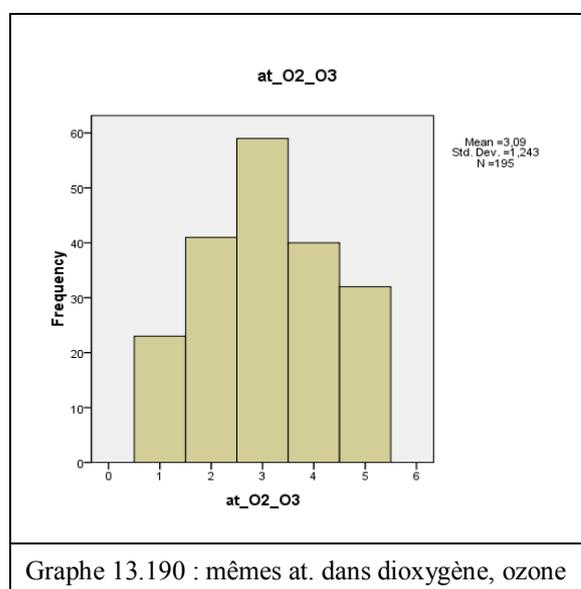
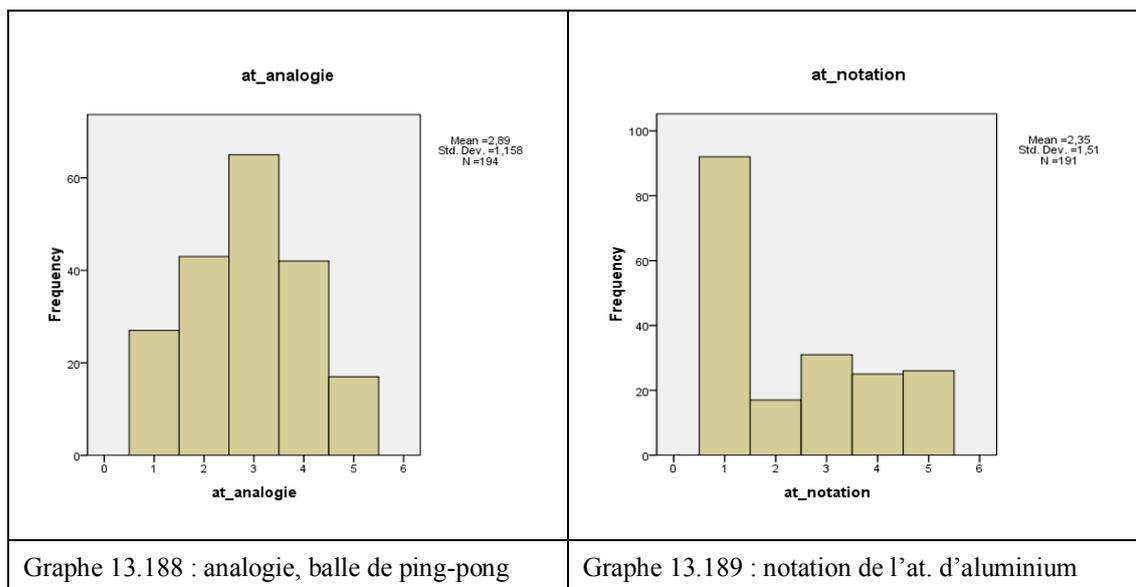
Graph 13.185 : atomes d'O gazeux, de Fe solides



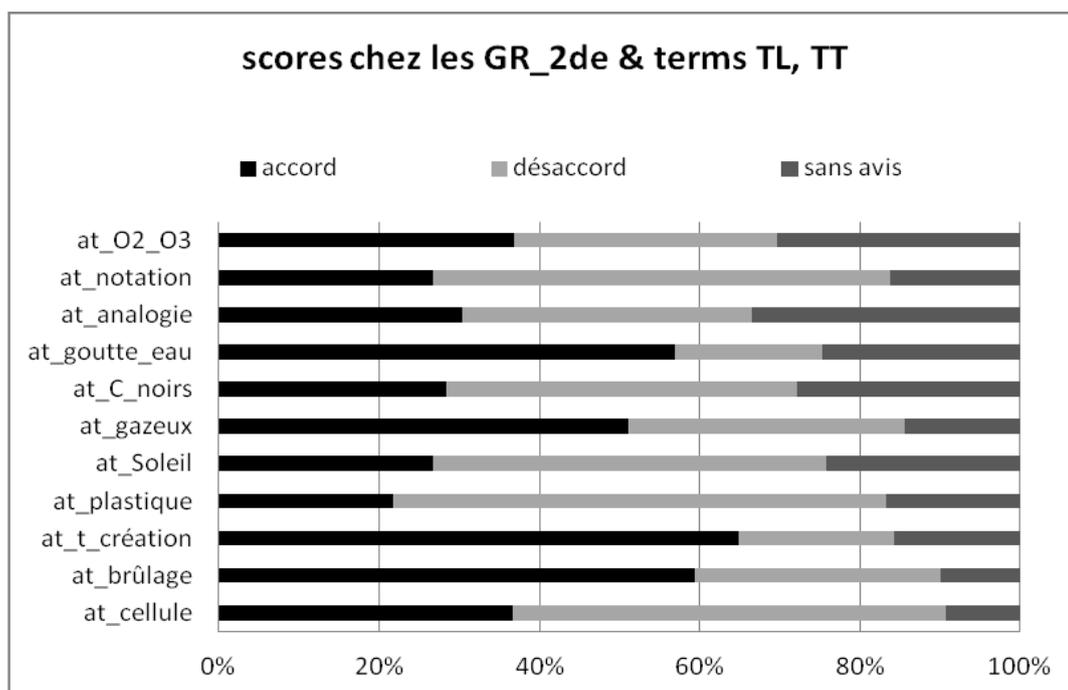
Graph 13.186 : at. de carbone, noir et d'or, jaune



Graph 13.187 : 10⁶ at. dans une goutte d'eau



Nous constatons, à partir de ces graphes, que les sujets réussissent à propos des propositions 1, 4, 5, 7 (mais, avec un taux de « sans avis » élevé dans les deux dernières) et 10. Leur échec aux phrases 2, 3, 6 et 8, ainsi qu'une variabilité des réponses quant aux neuvième et onzième complètent la cartographie. Pour une brève lecture des résultats, nous passons au graphique ci-dessous :



Graph 13.191 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

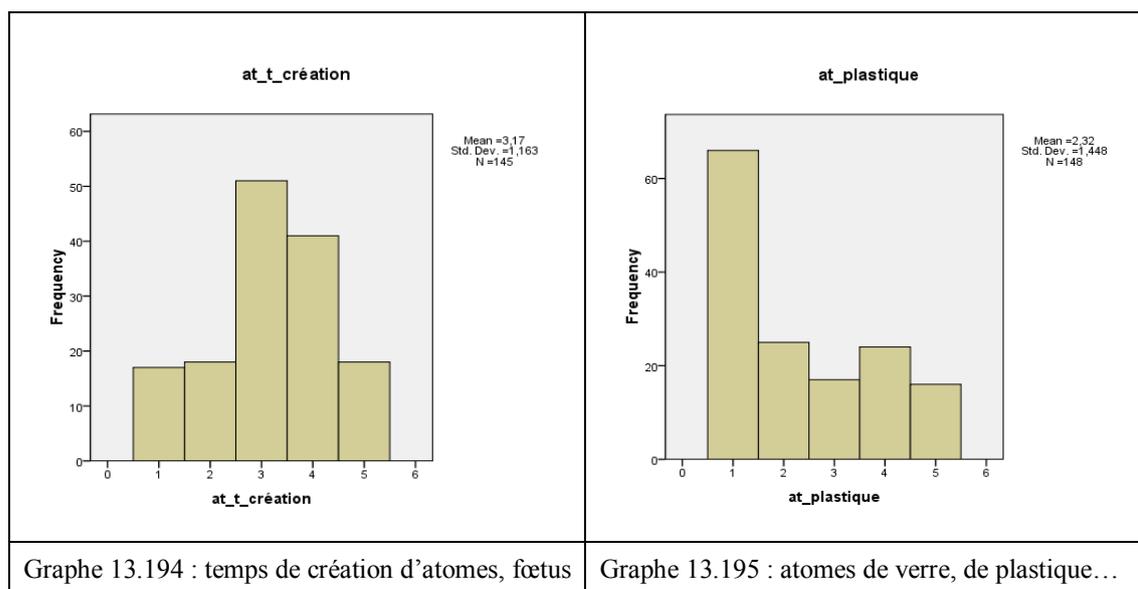
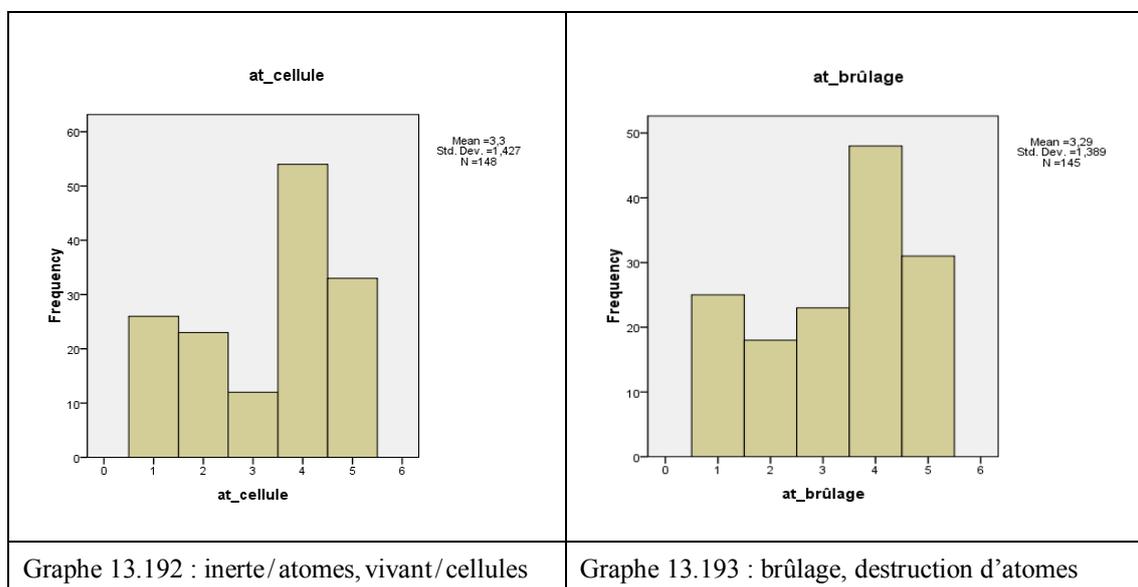
Les sujets expriment de manière la plus catégorique leur accord avec les phrases 3, 2 et 8 (par ordre décroissant des pourcentages afférents) et, leur désaccord avec les phrases 4, 10 et 1, alors qu'un élève sur trois (ou presque) se sent hésitant face aux propositions 9 et 11. Comme d'ailleurs le montre le tableau suivant, les items 9, 8 et 3 obtiennent les écarts-types les plus faibles. Ceci signifie que les deux conceptions, de création d'atomes dans le corps de l'enceinte et d'un nombre d'atomes faible (par rapport au nombre d'Avogadro, $\approx 10^{23}$) dans une goutte, sont largement partagées. Les propositions 10, 1 et 2 sont les plus peu consensuelles parmi les individus (cf. tableau 13.33, ci-dessous).

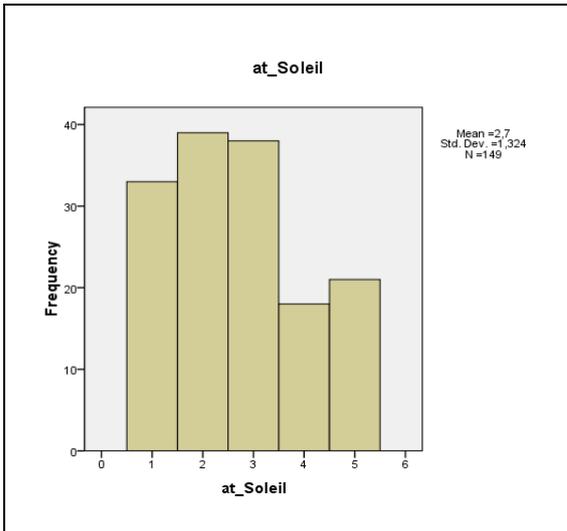
Tableau 13.33 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par variable, chez les GR_2de & terms hors TS

		Statistics										
		at_cellule	at_brûlage	at_t_création	at_plastique	at_Soleil	at_gazeux	at_C_noirs	at_goutte_eau	at_analogie	at_notation	at_O2_O3
N	Valid	194	192	191	192	194	194	194	195	194	191	195
	Missing	1	3	4	3	1	1	1	0	1	4	0
	Mean	2,62	3,35	3,62	2,38	2,65	3,26	2,71	3,49	2,89	2,35	3,09
	Median	2,00	4,00	4,00	2,00	3,00	4,00	3,00	4,00	3,00	2,00	3,00
	Std. Deviation	1,482	1,410	1,221	1,337	1,284	1,388	1,279	1,190	1,158	1,510	1,243
	Variance	2,196	1,989	1,490	1,787	1,649	1,925	1,636	1,416	1,341	2,282	1,544

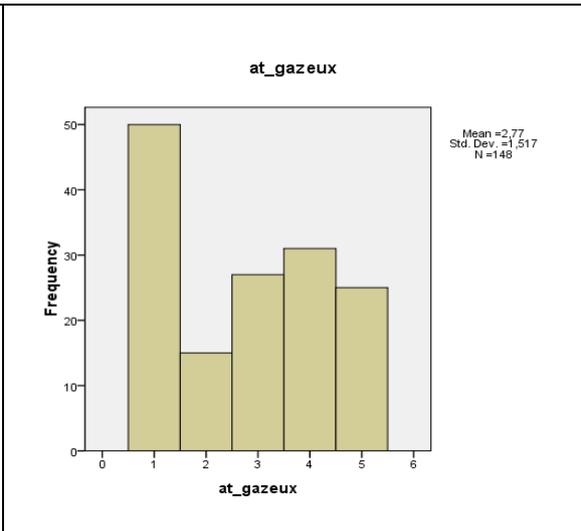
13.4.5 Français de seconde et de terminales hors TS (N = 149) – Comparaisons

Nous fournissons les histogrammes restitués par la programme du logiciel :

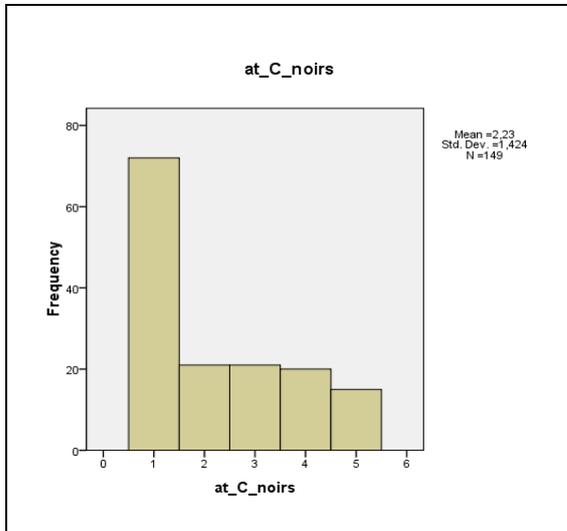




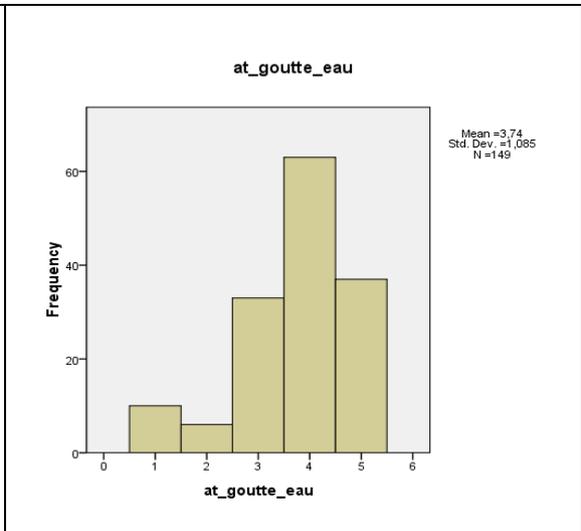
Graphe 13.196 : pas d'atomes au Soleil



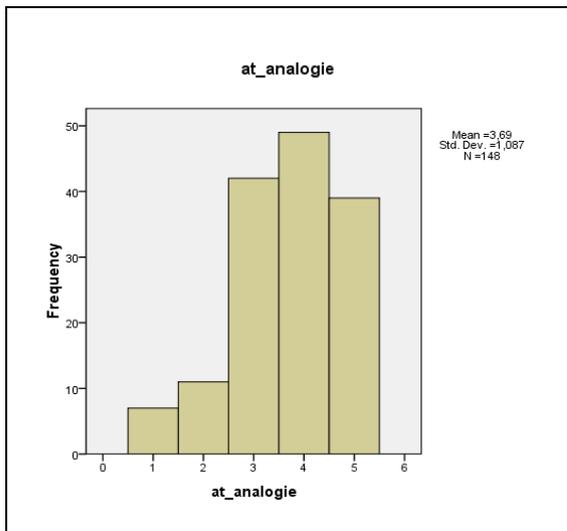
Graphe 13.197 : atomes d'O gazeux, de Fe solides



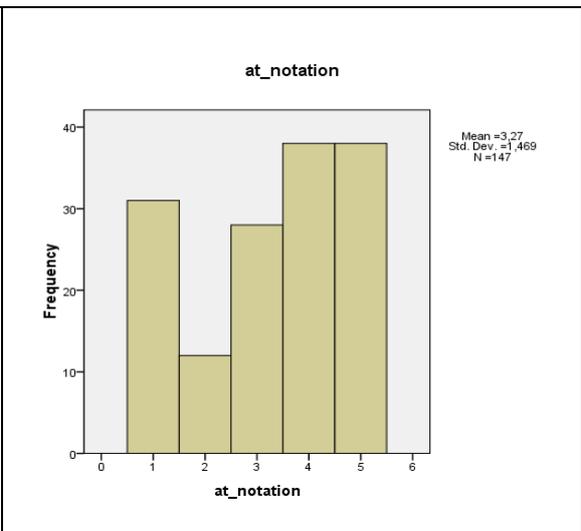
Graphe 13.198 : at. de carbone, noir et d'or, jaune



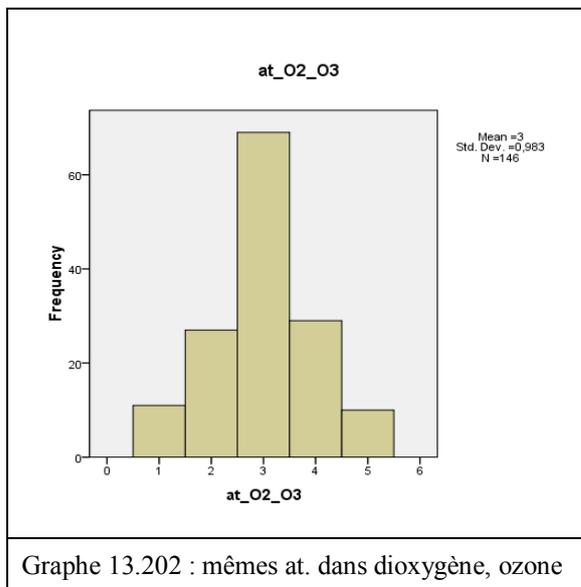
Graphe 13.199 : 10⁶ at. dans une goutte d'eau



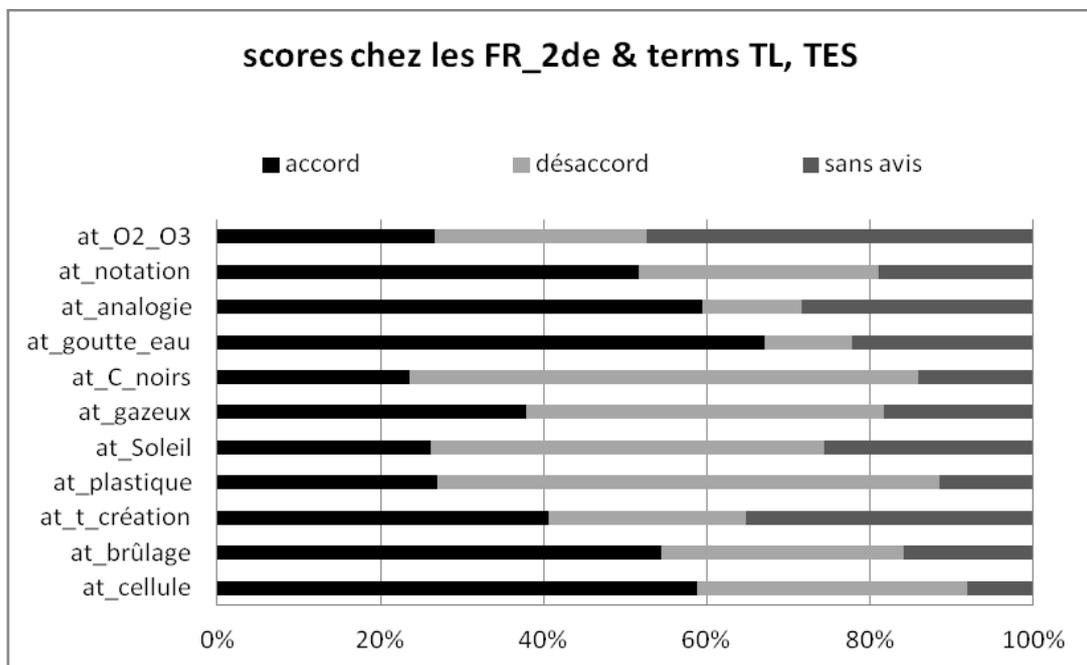
Graphe 13.200 : analogie, balle de ping-pong



Graphe 13.201 : notation de l'at. d'aluminium



Les réponses des élèves vont dans le bon sens s’agissant des propositions 4, 6, 7, 5 et 9, la modalité neutre des deux dernières ayant des scores les plus élevés. Un échec plus ou moins critique se produit autour des phrases 1, 2, 3, 8 et 10, tandis que la dernière proposition procure une dichotomie d’opinions. Le graphe suivant nous donne un aperçu rapide des mêmes résultats :



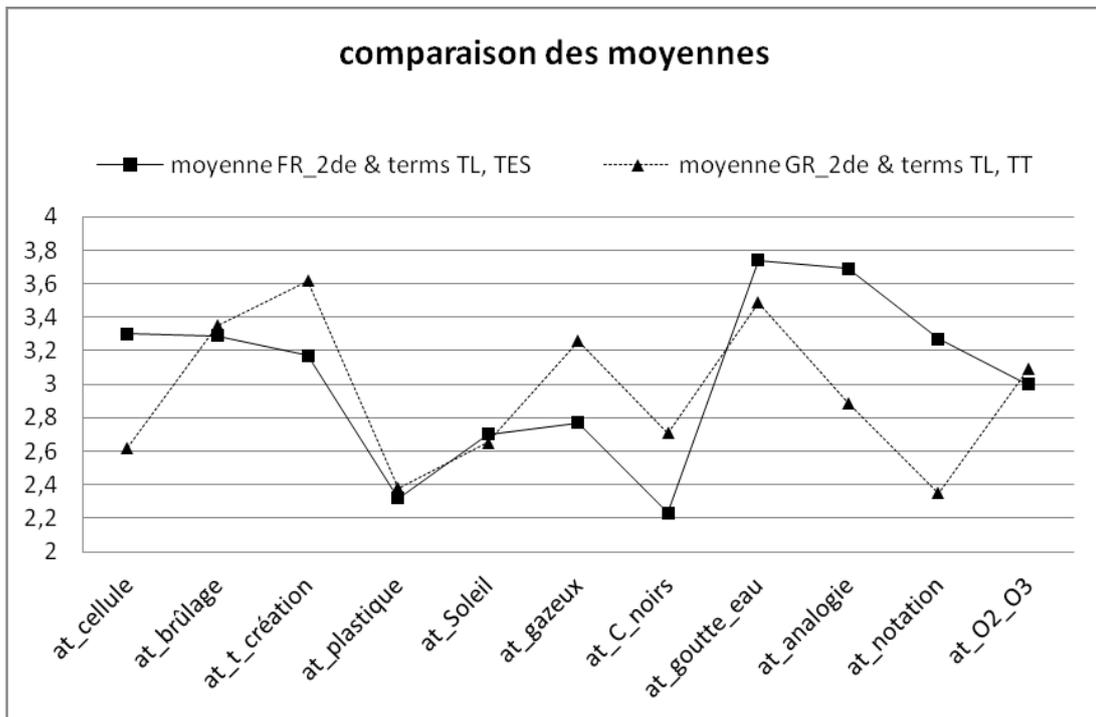
Graph 13.203 : Résultats après fusion des deux modalités d’accord et des deux autres de désaccord

Un accord, le plus ample, est exprimé par les répondants vis-à-vis des items 8, 9 et 1 et, un désaccord aussi étendu survient sur les 7, 4^e et 5. À remarquer aussi qu'avec un peu plus de 35 % et un peu plus de 47 %, les sujets évitent de se prononcer pour ou contre les affirmations 3 et 11, respectivement. En outre, les items dont la moyenne s'écarte au plus de la valeur 3, dans l'un ou l'autre sens, sont les suivants : 7, 8, 9 et 4. Parmi eux, les 8 et 9 (y compris les 11 et 3) obtiennent les écarts-types les plus faibles : donc il s'agit de phrases pour lesquelles les jugements des sujets se rapprochent le plus. Au contraire, nous retrouvons des écarts-types les plus forts autour des items 6, 10 et 4 (cf. tableau 13.34), observation qui se traduit par un effet de forte dispersion entre les opinions.

Tableau 13.34 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par variable, chez les FR_2de & terms hors TS

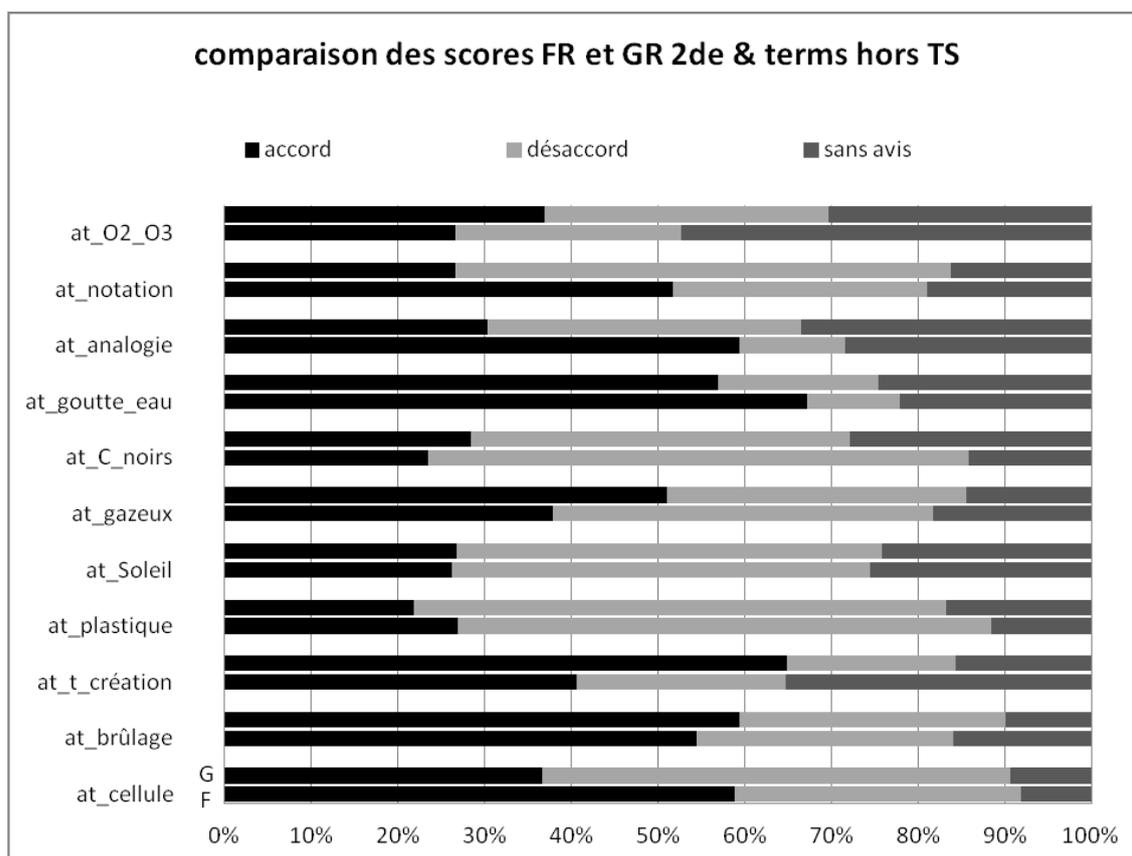
		Statistics										
		at_cell ule	at_brûla ge	at_t créa tion	at_plasti que	at_Sol eil	at_gaz eux	at_C_n oirs	at_goutte _eau	at_analo gie	at_notat ion	at_O2_ O3
N	Valid	148	145	145	148	149	148	149	149	148	147	146
	Missing	1	4	4	1	0	1	0	0	1	2	3
	Mean	3,30	3,29	3,17	2,32	2,70	2,77	2,23	3,74	3,69	3,27	3,00
	Median	4,00	4,00	3,00	2,00	3,00	3,00	2,00	4,00	4,00	4,00	3,00
	Std. Deviation	1,427	1,389	1,163	1,448	1,324	1,517	1,424	1,085	1,087	1,469	,983
	Variance	2,036	1,929	1,352	2,096	1,753	2,301	2,029	1,178	1,182	2,158	,966

Après avoir rapporté les analyses statistiques associées aux groupes français et grec, nous tentons maintenant de les comparer, par le truchement des deux graphes qui suivent :



Graph 13.204 : Comparaisons des moyennes françaises et grecques des classes de 2^{de} & term. hors TS

Ce graphe permet de dégager des différences relevant de deux sortes : les unes qualitatives, quand les marqueurs français et grec liés à un même item s’opposent par rapport à la droite $y = 3$; les autres, quantitatives, causées par un décalage non négligeable dans les valeurs des moyennes. De fait, on peut intégrer les variables 1, 6, 9 et 10 dans le premier genre – les français répondent correctement aux deux du milieu et les deux autres (*i.e.* les 1 et 10) par les grecs –, mais également dans le second genre : effectivement, c’est à propos des items 10, 9, 1 et 6 que les écarts entre les moyennes française et grecque sont les plus élevés. Suivent les propositions 3, 7 et 8, avec des écarts beaucoup plus relatifs. Enfin, les moyennes coïncident ou presque concernant les items 2, 4, 5 et 11. Quant aux décalages particulièrement observés entre les scores des modalités « accord », « désaccord » et « sans avis », nous nous reportons au graphe ci-dessous :



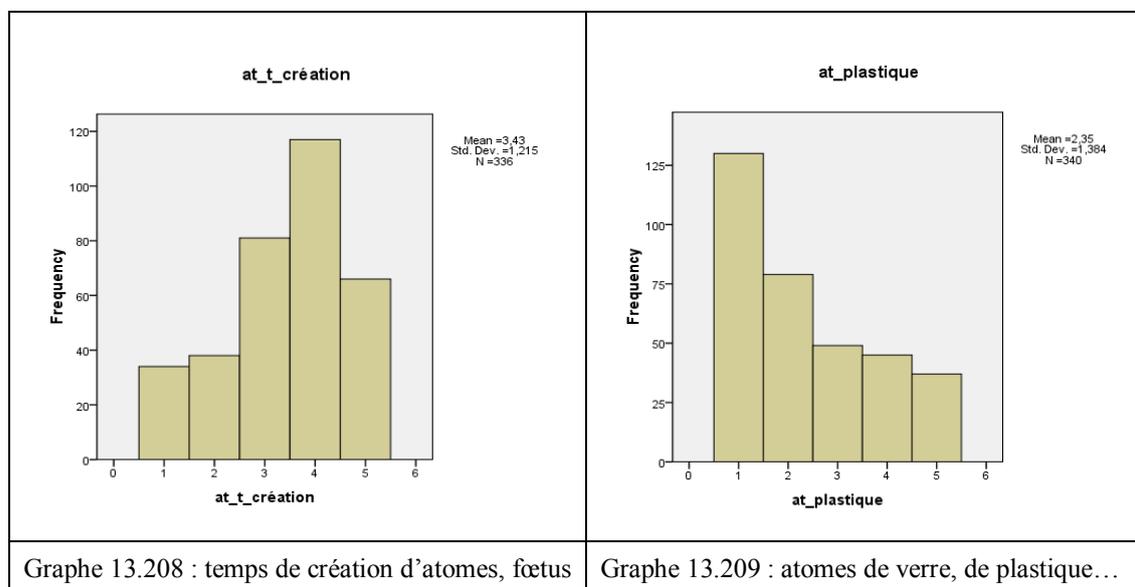
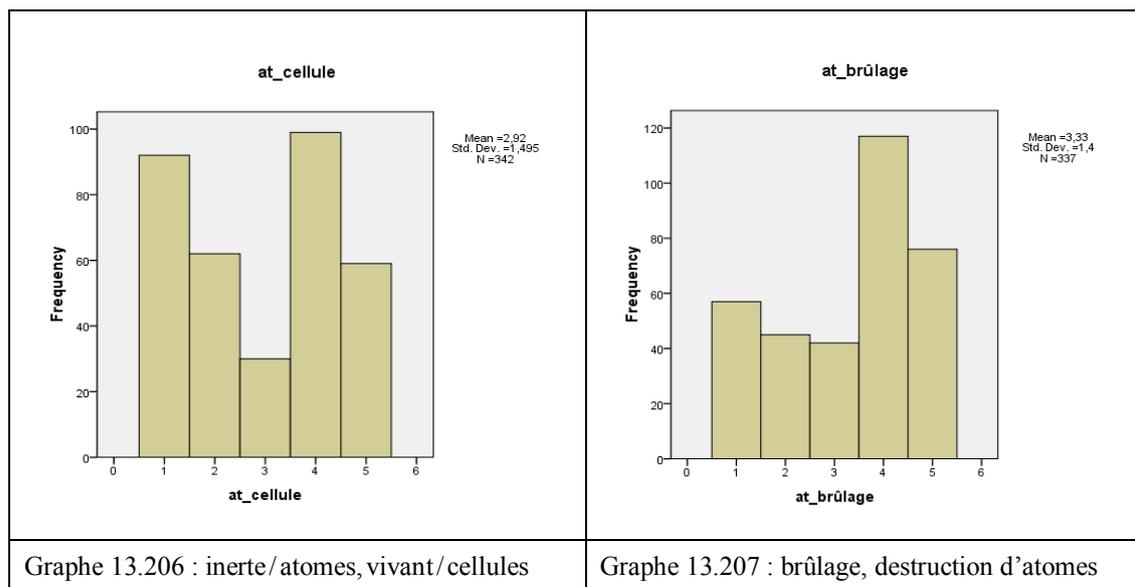
Graphe 13.205 : Point de vue comparatif entre les deux groupes. Dans chacun des onze blocs de barres, celle du bas correspond au groupe français et celle du haut au groupe grec

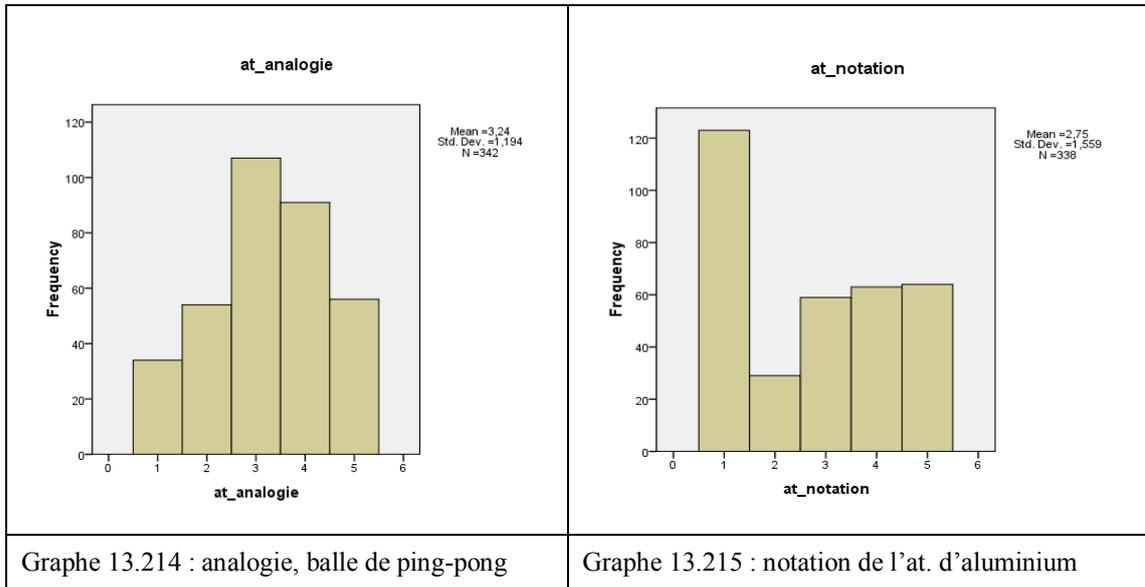
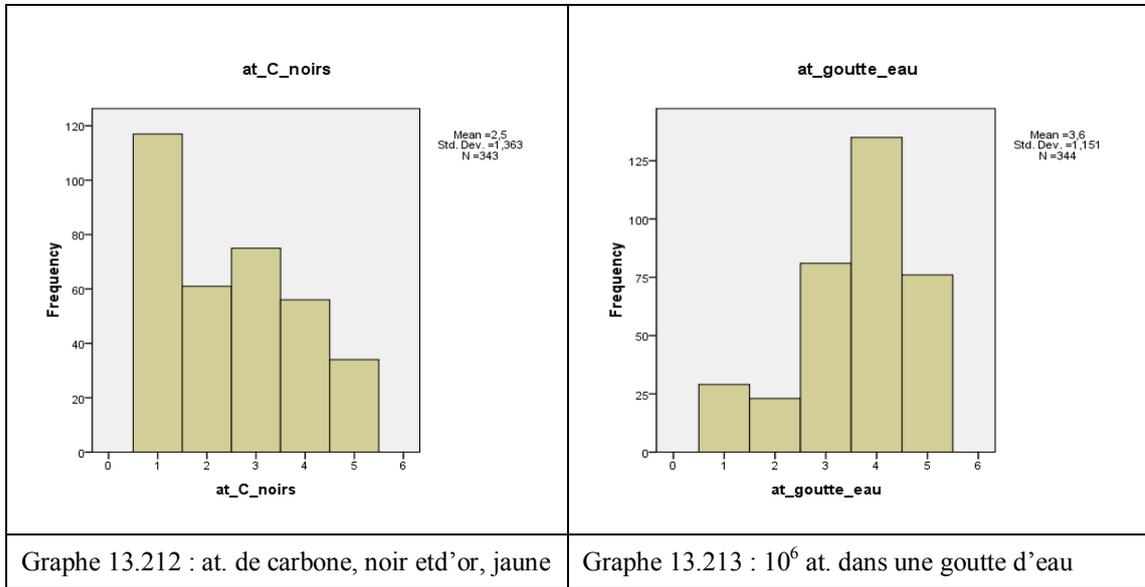
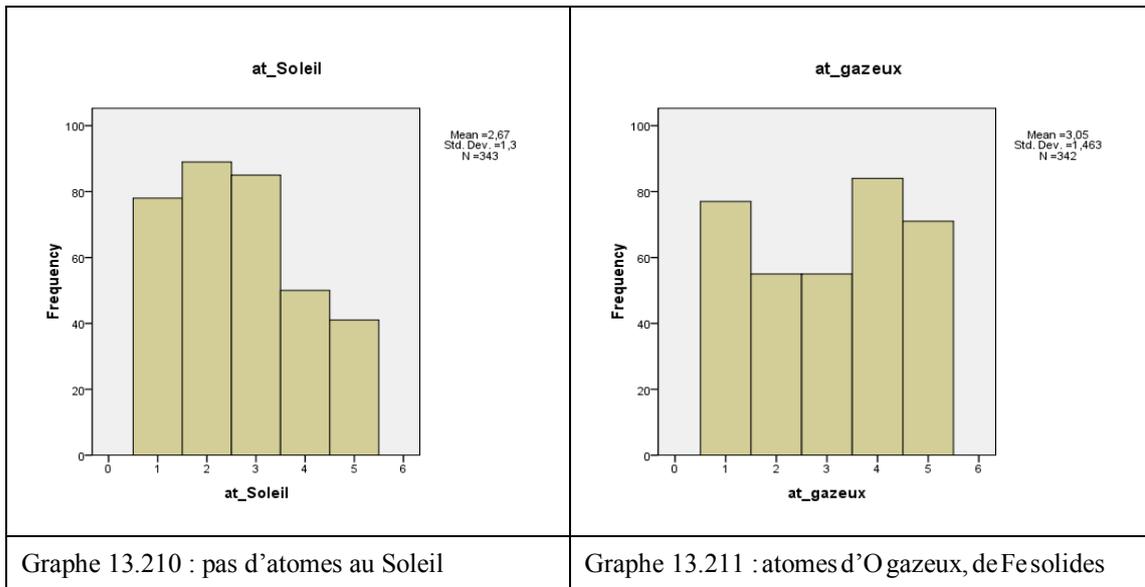
Comme les moyennes ne constituent qu'un indice très général des réactions du groupe enquêté, des différenciations partielles peuvent être appréhendées par ce graphique. Par exemple, l'effectif des français qui confirment la dernière phrase (cf. variable « at_O2_O3 », graphe ci-dessus) est inférieur de 27,6 % à celui des grecs. En revanche, l'effectif des grecs qui croient à la création d'atomes durant la grossesse (cf. variable « at_t_création ») est supérieur de 37,3 % à celui des français, et ainsi de suite.

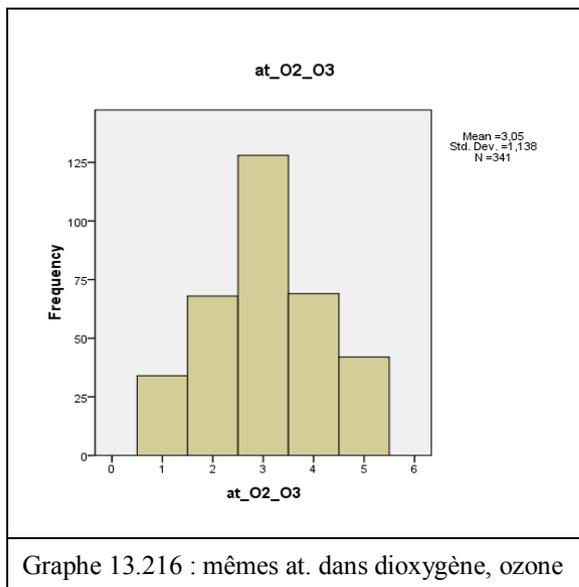
Pour clore cette approche comparative, si les français reconnaissent les atomes et les molécules comme organisant exclusivement la matière inanimée, les grecs entrevoient des atomes solides, liquides ou gazeux. De plus, seul le groupe grec rejette ce que prétend la phrase 10 et seul le groupe français plaide pour l'analogie que propose la phrase 9. Enfin, autour des items 3, 8, 9 et 11 s'établit un consensus solide, aussi bien au sein du groupe grec que français.

13.4.6 Ensemble de seconde et de terminales hors TS (N = 344)

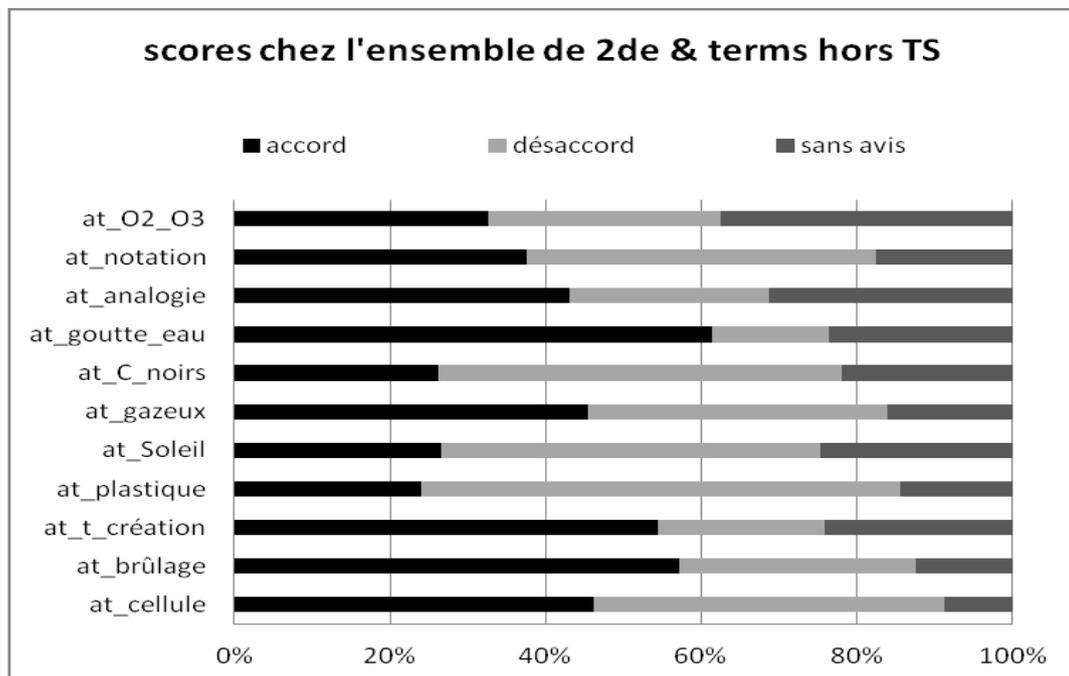
Nous avons fusionné les groupes français et grec, pour les résultats qui ont fait l'objet des paragraphes précédents. Rappelons que le groupe d'ensemble contient – au-delà des élèves de seconde qui, certes, étudient la physique-chimie – des grecs en terminales technologique (TT) et littéraire (TL), qui prennent (obligatoirement, en 2010-11) des cours de physique atomique. Les histogrammes visualisant les résultats s'affichent comme suit :







En première approche, nous constatons une réussite des réponses aux items 4, 5 et 7 et un échec concernant les 2, 3, 8, 9 et 10. Les individus se partagent face aux propositions 1, 6 et 11. Enfin, les cinquième, neuvième et onzième variables démontrent des taux d'indécis plus élevés.



Graph 13.217 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

Qu'une goutte compte un million d'atomes, qu'il se peut que les atomes « se brûlent », ou qu'ils se créent dans le corps des mammifères constituent les conceptions les plus solides parmi les participants à l'enquête. Presque le tiers d'entre eux éprouvent des difficultés pour confirmer d'une part, l'analogie noyau atomique / balle de ping-pong et, d'autre part, l'existence du même type d'atomes dans l'ozone et le dioxygène. Enfin, la lecture du tableau suivant permet de conclure à un consensus important des sujets par rapport aux items 11 et 8. Par contre, envers les dixième et premier, les opinions sont plus dispersées.

Tableau 13.35 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par variable, chez l'ensemble de 2de & terms hors TS

		Statistics										
		at_cell ule	at_brûla ge	at_t créa tion	at_plasti que	at_Sol eil	at_gaz eux	at_C_n oirs	at_goutte _eau	at_analo gie	at_notat ion	at_O2_ O3
N	Valid	342	337	336	340	343	342	343	344	342	338	341
	Missing	2	7	8	4	1	2	1	0	2	6	3
	Mean	2,92	3,33	3,43	2,35	2,67	3,05	2,50	3,60	3,24	2,75	3,05
	Median	3,00	4,00	4,00	2,00	3,00	3,00	2,00	4,00	3,00	3,00	3,00
	Std. Deviation	1,495	1,400	1,215	1,384	1,300	1,463	1,363	1,151	1,194	1,559	1,138
	Variance	2,236	1,959	1,475	1,916	1,689	2,141	1,859	1,325	1,425	2,431	1,295

À l'aide du logiciel SPSS, nous avons calculé les Chi 2 qui permettent de mesurer l'interdépendance ou non entre les variables indépendantes (définies dans cette enquête) et les résultats obtenus, ce que synthétise le tableau suivant :

Tableau 13.36 : Influence des modalités des variables indépendantes sur les résultats

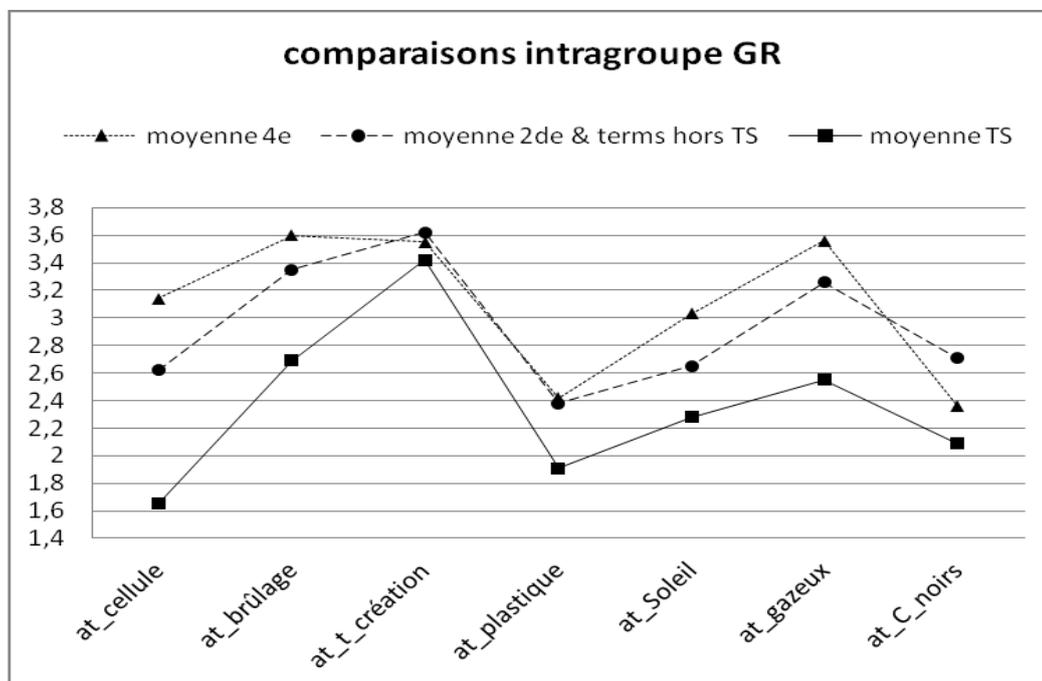
variable indépendante VI	variable dépendante VD	Chi 2	ddl	valeur de p
origine	at_cellule	18,517	4	.001
	at_t_création	23,805	4	.000
	at_plastique	10,628	4	.031
	at_gazeux	24,481	4	.000
	at_C_noirs	26,259	4	.000
	at_analogie	39,378	4	.000
	at_notation	30,997	4	.000
	at_O2_O3	14,433	4	.006
classe	at_cellule	37,598	12	.000
	at_brûlage	22,417	12	.033
	at_plastique	24,542	12	.017
	at_gazeux	30,801	12	.002
	at_notation	46,524	12	.000
sexe	at_cellule	11,489	4	.022
	at_brûlage	12,582	4	.014
	at_Soleil	26,307	4	.000
	at_gazeux	11,199	4	.024
	at_notation	10,209	4	.037
	at_O2_O3	12,389	4	.015
formation familiale	at_cellule	28,525	8	.000
	at_brûlage	22,277	8	.004
	at_Soleil	20,427	8	.009
	at_goutte_eau	20,460	8	.009
	at_notation	38,746	8	.000

Il est à noter que la variable « origine » peut être notamment appréhendée à partir de deux dimensions : la transposition didactique mise en œuvre dans les systèmes d'enseignement français et grec, et le milieu national et culturel particulier de chaque pays.

Notre intention étant maintenant de confronter les résultats intragroupes, de la 4^e du collège au lycée, nous y consacrons les deux sections suivantes concernant, l'une les grecs, l'autre les français. C'est parce que les sept propositions (et seulement celles-ci) figurant dans la version du questionnaire « 4^e de collège » sont communément destinées à tous les participants, que les comparaisons opérées porteront sur celles-ci.

13.4.7 Comparaisons intragroupe grecques

L'évolution dans les moyennes propres aux trois groupes (4^e, 2^{de} & terminales hors TS, TS⁴⁹) est illustrée de la façon suivante :



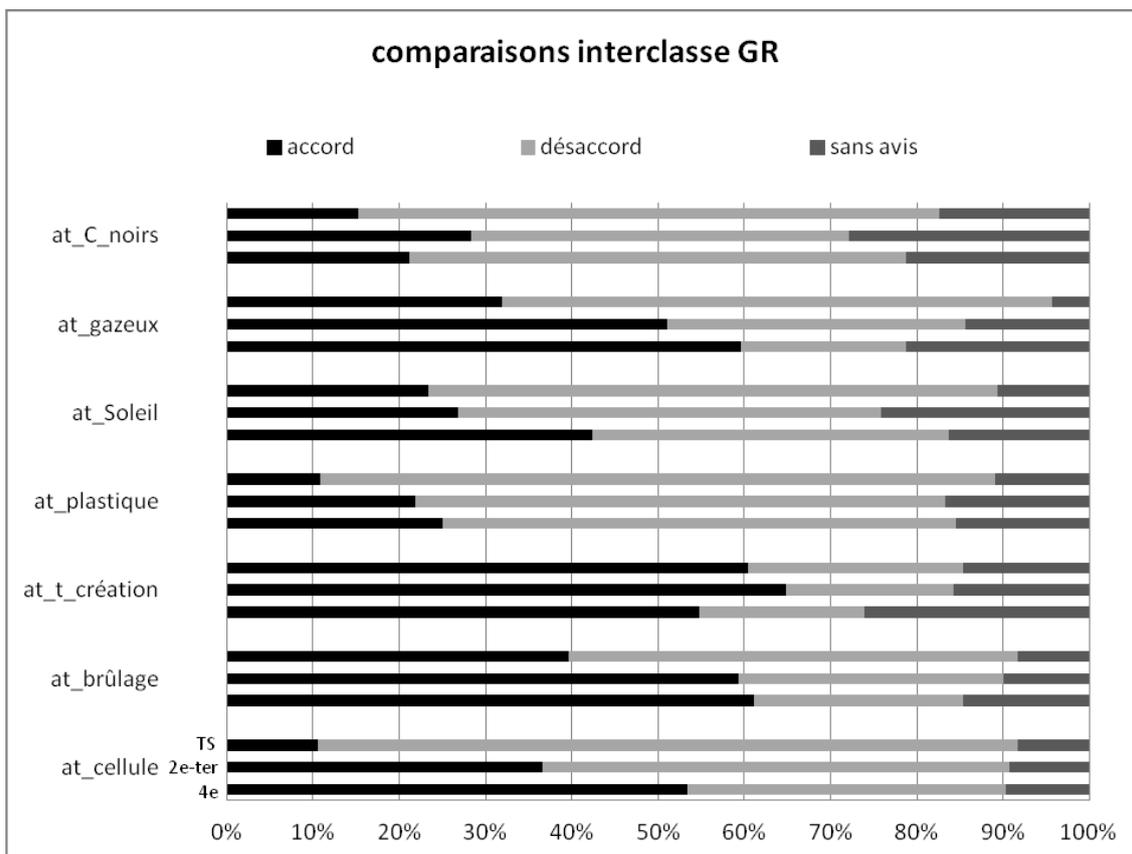
Graph 13.218 : Aspects comparatifs des moyennes des trois groupes de grecs considérés

Si l'on se rappelle que toutes les affirmations (liées aux sept variables) sont fausses et, étant donné que plus la moyenne est forte, plus il y a accord avec le contenu de la phrase, on peut conclure que :

1. les moyennes lycée (autrement dit, 2^{de} & terminales hors TS) excèdent systématiquement celles de TS et les moyennes collège celles de lycée hors TS, excepté essentiellement pour le dernier item ;
2. à propos des items 1, 2, 5 (à la limite) et 6, l'évolution devient radicale, en ce sens qu'un renversement des opinions a lieu en passant de la 4^e au lycée, soit des groupes collège et lycée au groupe TS ;
3. les conceptions qui semblent persister même chez les « scientifiques » ont trait à la création et destruction (ou brûlage) des atomes.

⁴⁹ cf. §14.4.1, tableau 14.13.

Une approche comparative des scores des modalités réduites est donnée par le graphique ci-dessous :

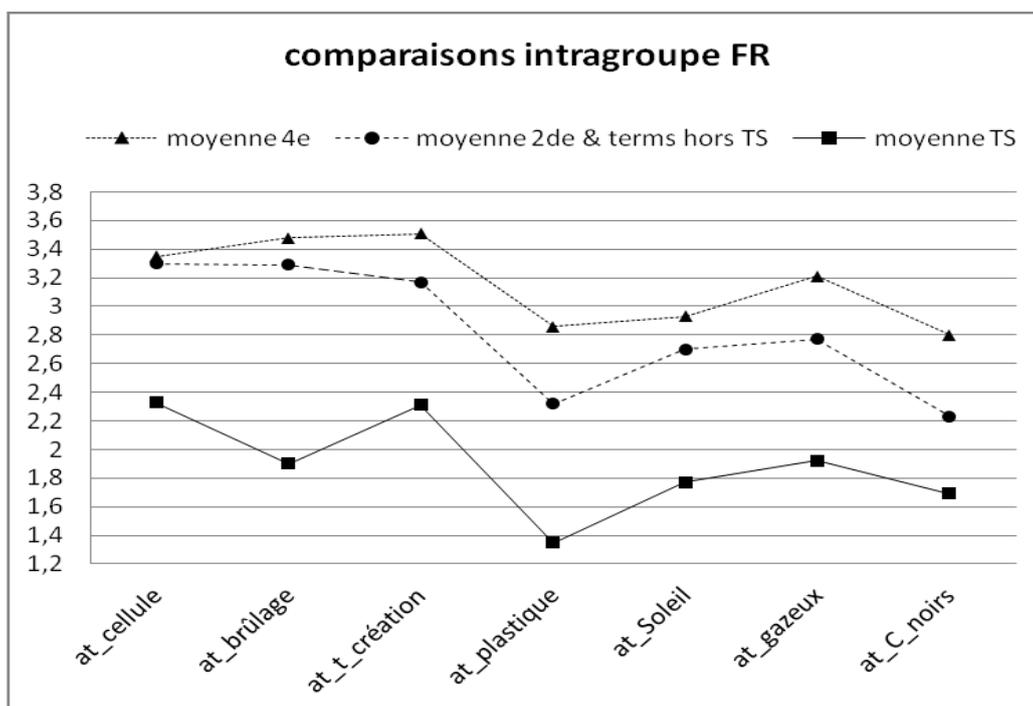


Graph 13.219 : Comparaisons des scores des modalités réduites entre les groupes grecs considérés. Dans chacun des sept blocs de barres, celle du bas correspond au groupe de 4^e, celle au milieu à celui de 2^{de} & terms hors TS (notée « 2e-ter ») et, l'autre en haut au groupe de TS

Il est remarquable que les scores affirmatifs à certaines propositions, attribués par les lycéens (y compris même les élèves en TS), demeurent élevés, comme c'est le cas des deuxième, troisième et sixième items.

13.4.8 Comparaisons intragroupe françaises

Nous continuons dans la même veine pour les groupes français. Le graphique d'après propose la comparaison des moyennes entre les trois groupes :

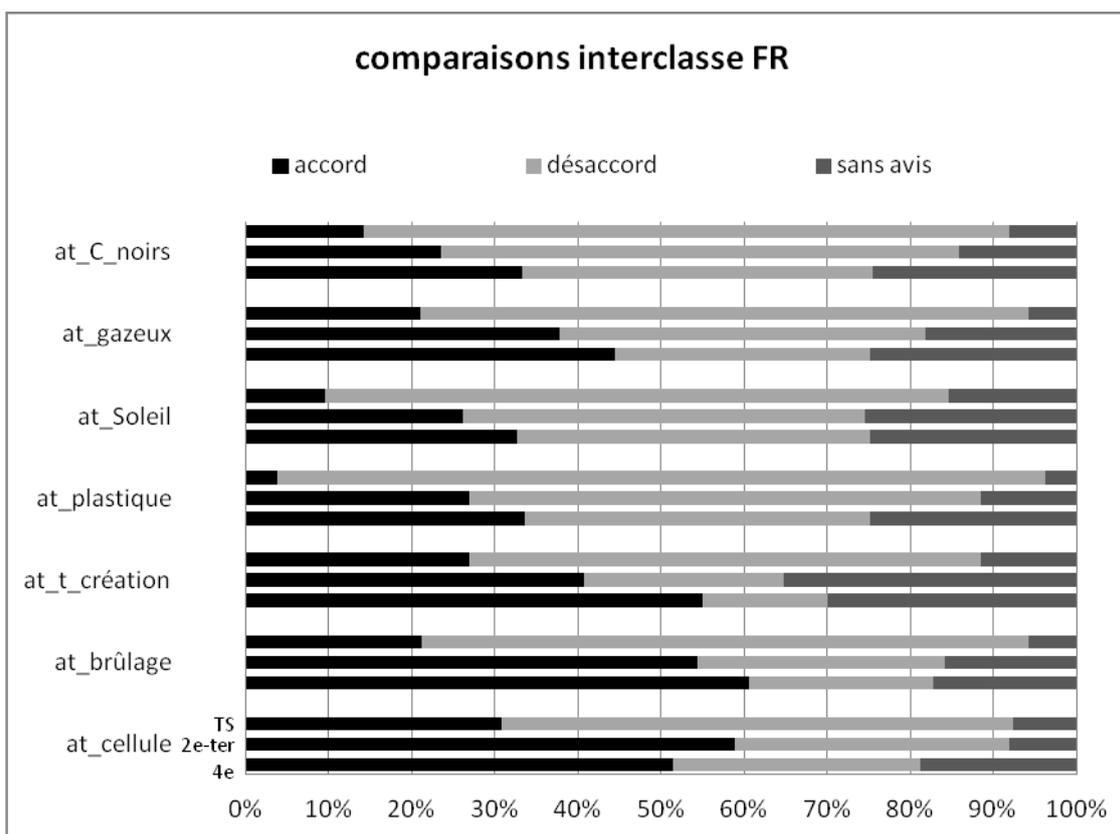


Graphe 13.220 : Aspects comparatifs des moyennes des trois groupes français considérés

Ce graphe nous permet d'inférer que :

1. les moyennes lycée (plus précisément, 2^{de} & terminales hors TS) excèdent de manière systématique dans tous les items celles de TS, et les moyennes collège celles de lycée ;
2. à propos des items 1, 2, 3 et 6, l'évolution est bouleversée, en ce sens qu'advient un renversement des opinions en passant de la 4^e au lycée, soit des groupes collège et lycée hors TS au groupe TS ;
3. les conceptions qui semblent persister même chez les « scientifiques » de TS sont liées aux deux conjonctions atome - matière inerte / cellule - matière vivante et, là encore, à la question de la création des atomes.

Pour un aspect comparatif entre les modalités réduites, nous nous référons au graphique suivant :



Graphe 13.221 : Comparaisons des scores des modalités réduites entre les groupes français considérés. Dans chacun des sept blocs de barres, celle du bas correspond au groupe de 4^e, celle au milieu à celui de 2^{de} & terms hors TS (notée « 2e-ter ») et, l'autre en haut au groupe de TS

Nous constatons que si les collégiens sont assez enclins aux malconceptions types à propos de l'atome, les lycéens tentent d'en débarrasser. Chez les élèves en TS, les obstacles les plus embêtants sont liés aux idées 1 et 6 lesquelles gênent un élève sur trois.

13.5 Question 5

Cette deuxième question de caractérisation, comprise dans la version « 2^{de} & Terminales hors TS » est destinée aux lycéens de 2^{de} et des terminales TES et TL (lycée français) et, TT et TL (lycée grec), soit à un ensemble de 344 élèves appelé désormais « échantillon lycée hors TS ». Son traitement est bien entendu identique à celui de la question 2. Et, si celle-ci vise à détecter l'univers représentatif de l'atome, en tant que concept clé en sciences expérimentales, celle-là s'intéresse l'esquisse des caractéristiques

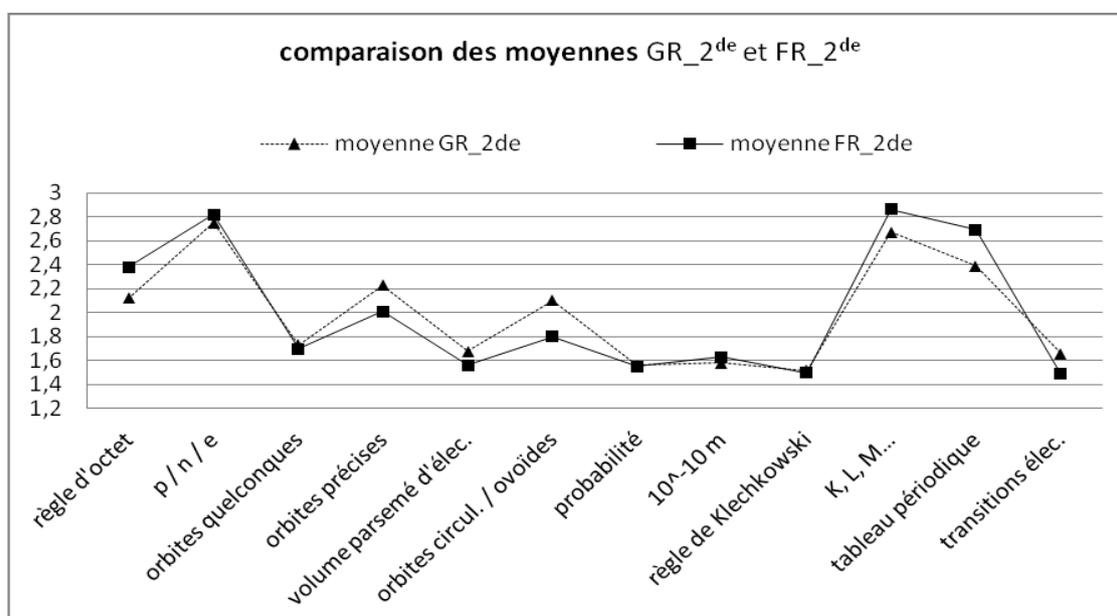
du modèle atomique retenu par les sujets. Étant donné que les modèles historiques d'atome font partie des programmes de seconde français et grecs, il nous a semblé judicieux de regarder leurs influences sur la représentation que s'en font ces cohortes d'élèves. Par ailleurs, nous avons l'intention de repérer des résidus conceptuels provenant du système de représentations - connaissances antérieures des élèves (cf. §6.9), ainsi que des indices de transformation éventuels dans la représentation, de la seconde à la terminale. Les élèves de TS, exclus de cette étape d'investigation, ont été aussi invités à répondre à une question 5 (qui apparaît exclusivement dans la version Terminale S), mais à partir d'une liste d'items adaptés aux programmes scolaires qui sont les leurs. Nous y reviendrons dans les paragraphes suivants. A partir de la manière de présentation des résultats de la question 2 (cf. §4.1.2), nous avançons par niveau scolaire (classes de 2^{de}, classes de terminale hors TS), puis nous exposons les résultats cumulatifs auprès de l'échantillon lycée hors TS.

13.5.1 Classes de seconde : grecs (N = 104) et français (N = 102)

Les résultats issus des réponses de ces groupes sont présentés dans le tableau 13.37 et le graphe 13.222 qui suivent :

Tableau 13.37 : Représentativité des items de caractérisation, chez les grecs et français de seconde

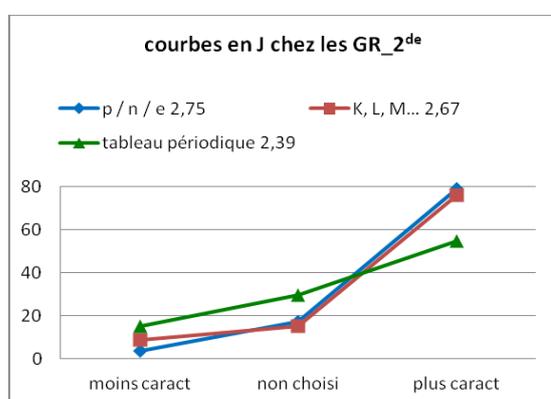
items	plus caract.		non choisi		moins caract.		moyenne	
	GR	FR	GR	FR	GR	FR	GR	FR
règle de l'octet	41,3	52,0	28,8	34,3	29,8	13,7	2,12	2,38
p / n / e	78,8	85,3	17,3	11,8	3,8	2,9	2,75	2,82
orbites quelconques	17,3	16,8	38,5	36,6	44,2	46,5	1,73	1,70
orbites précises	44,2	26,5	34,6	48,0	21,2	25,5	2,23	2,01
volume parsemé d'électrons	9,6	8,8	49,0	38,2	41,3	52,9	1,68	1,56
orbites circul. / ovoïdes	31,7	17,6	46,2	45,1	22,1	37,3	2,10	1,80
probabilité	7,7	11,8	40,4	31,4	51,9	56,9	1,56	1,55
10 ⁻¹⁰ m	11,5	6,9	34,6	49,0	53,8	44,1	1,58	1,63
règle de Klechkowski	14,6	2,9	23,3	44,1	62,1	52,9	1,52	1,50
K, L, M...	76,0	90,2	15,4	5,9	8,7	3,9	2,67	2,86
tableau périodique	54,8	74,5	29,8	19,6	15,4	5,9	2,39	2,69
transitions électroniques	11,5	5,9	43,3	37,3	45,2	56,9	1,66	1,49



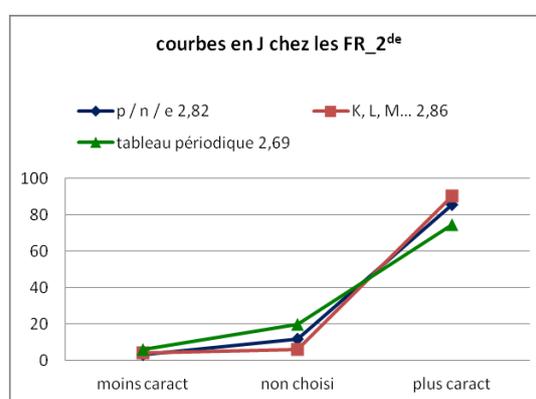
Graph 13.222 : Aspects comparatifs de la moyenne par item, chez les grecs et les français de seconde

Nous allons comparer à présent les valeurs des moyennes française et grecque, d'un même item. D'abord, nous constatons que six items sur douze coïncident approximativement, soit qu'ils disposent d'un haut degré de représentativité, soit dans le cas inverse. Ainsi, aux trois premiers rangs de la fourchette de représentativité arrivent, de façon similaire chez les deux groupes, les items « p / n / e » (*i.e.* les composants de l'atome), « K, L, M... » et « tableau périodique ». Par contre, nous retrouvons, presque en dernière position chez les uns et chez les autres, les items « règle de Klechkowski » et « probabilité ». Pour rappel, plus la moyenne se rapproche de la valeur 3, plus l'item concerné est considéré parmi les plus représentatifs dans la conception du modèle atomique. Une différence dans la moyenne supérieure à 0,2 (pour reprendre le critère antérieurement établi) peut être relevé pour quatre items : « règle de l'octet » ; « orbites précises » ; « orbites circulaires / ovoïdes » ; « tableau périodique ». Vis-à-vis du premier et, notamment, du dernier, ce sont les français qui se prononcent le plus favorablement. En revanche, les deuxième et troisième items sont plus pointés par les grecs, sans pour autant être placés parmi les plus représentatifs.

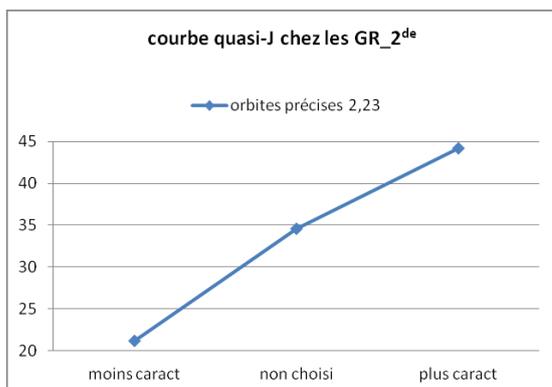
Nous continuons par exposer les courbes de fréquence qui visualisent la distribution des scores de caractérisation pour certains des douze items listés dans cette question, en ce qui concerne les groupes qui nous occupent ici.



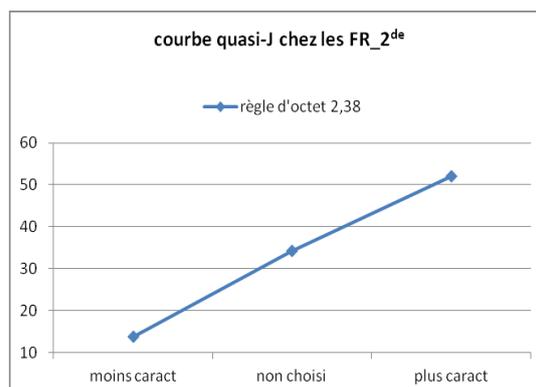
Graph 13.223 : éléments représentatifs



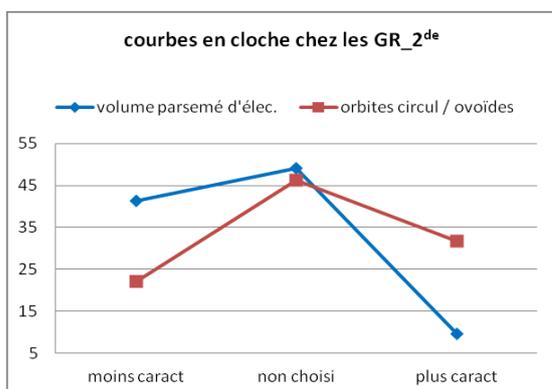
Graph 13.224 : éléments représentatifs



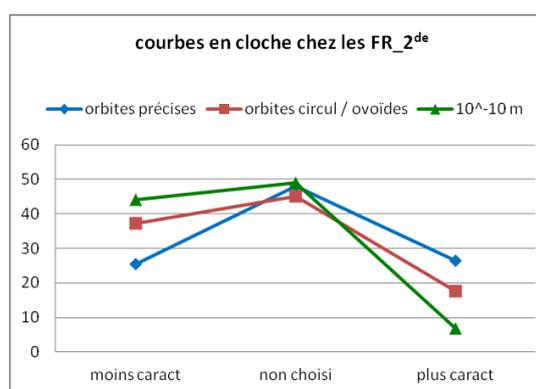
Graph 13.225 : élément plutôt représentatif



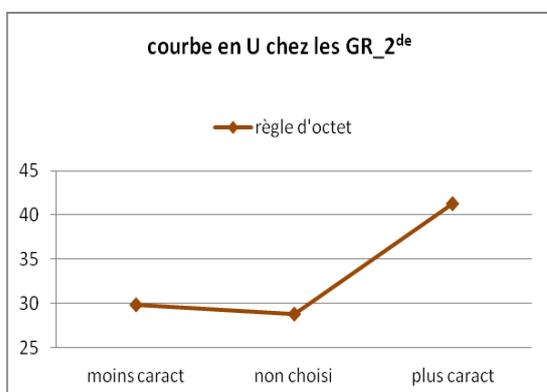
Graph 13.226 : élément plutôt représentatif



Graph 13.227 : éléments périphériques



Graph 13.228 : éléments périphériques



Graph 13.229 : élément dichotomique

De ces graphes on peut relever une coïncidence spectaculaire entre les deux groupes. Effectivement, si l'on considère l'item « règle de l'octet » comme aussi représentatif chez les grecs – autrement dit que sa courbe en U (à la limite) se rapproche plutôt d'un J, vu que les scores des modalités « moins caractéristique » et « non choisi » sont comparables, cf. graph 13.229 –, alors français et grecs optent pour les mêmes propositions comme étant les plus caractéristiques de l'atome. De plus, ils s'accordent presque absolument sur les

items censés caractériser le moins l'atome, mais aussi à propos de ceux qui sont sans rapport avec l'objet.

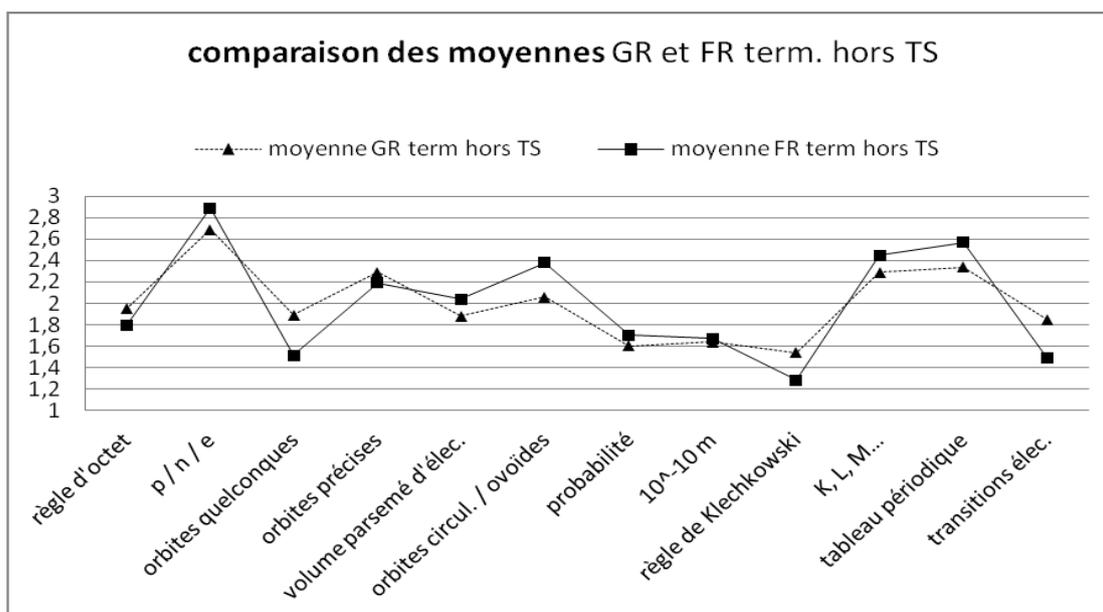
13.5.2 Classes de terminale hors TS : grecs (N = 91) et français (N = 47)

L'échantillon général étant construit à la base à partir de la méthode des quotas, les effectifs français TL et TES ensemble atteignent 50 % des effectifs en terminale, alors que ceux des grecs s'élèvent à 86 % (séries TL et TT ensemble). C'est pour cela que les élèves grecs sont deux fois plus nombreux que les français dans cette cohorte de sujets enquêtés. Encore faut-il tenir compte que tous ces élèves grecs prennent (obligatoirement) des leçons de physique atomique (contenant notamment une description du modèle de Bohr et de modèles antérieurs), tandis que 42 d'entre eux, *i.e.* ceux en TT, suivent des cours de physique (oscillations et ondes, mécanique du corps solide, éléments de mécanique quantique, néanmoins hors programmes, etc.) Le tableau 13.38 présente de façon comparative les résultats obtenus :

Tableau 13.38 : Représentativité des items de caractérisation, chez les grecs et français des term. hors TS

items	plus caract.		non choisi		moins caract.		moyenne	
	GR	FR	GR	FR	GR	FR	GR	FR
règle de l'octet	24,2	17,0	46,2	44,7	29,7	38,3	1,95	1,79
p / n / e	79,1	91,5	11,0	6,4	9,9	2,1	2,69	2,89
orbites quelconques	29,7	10,6	29,7	29,8	40,7	59,6	1,89	1,51
orbites précises	47,3	36,2	34,1	46,8	18,7	17,0	2,29	2,19
volume parsemé d'électrons	20,9	25,5	46,2	53,2	33,0	21,3	1,88	2,04
orbites circul. / ovoïdes	34,4	53,2	36,7	31,9	28,9	14,9	2,06	2,38
probabilité	12,1	12,8	36,3	44,7	51,6	42,6	1,60	1,70
10^{-10} m	13,2	10,9	37,4	45,7	49,5	43,5	1,64	1,67
règle de Klechkowski	9,9	0,0	34,1	27,7	56,0	72,3	1,54	1,28
K, L, M...	49,5	57,4	29,7	29,8	20,9	12,8	2,29	2,45
tableau périodique	56,0	72,3	22,0	12,8	22,0	14,9	2,34	2,57
transitions électroniques	23,1	8,5	38,5	31,9	38,5	59,6	1,85	1,49

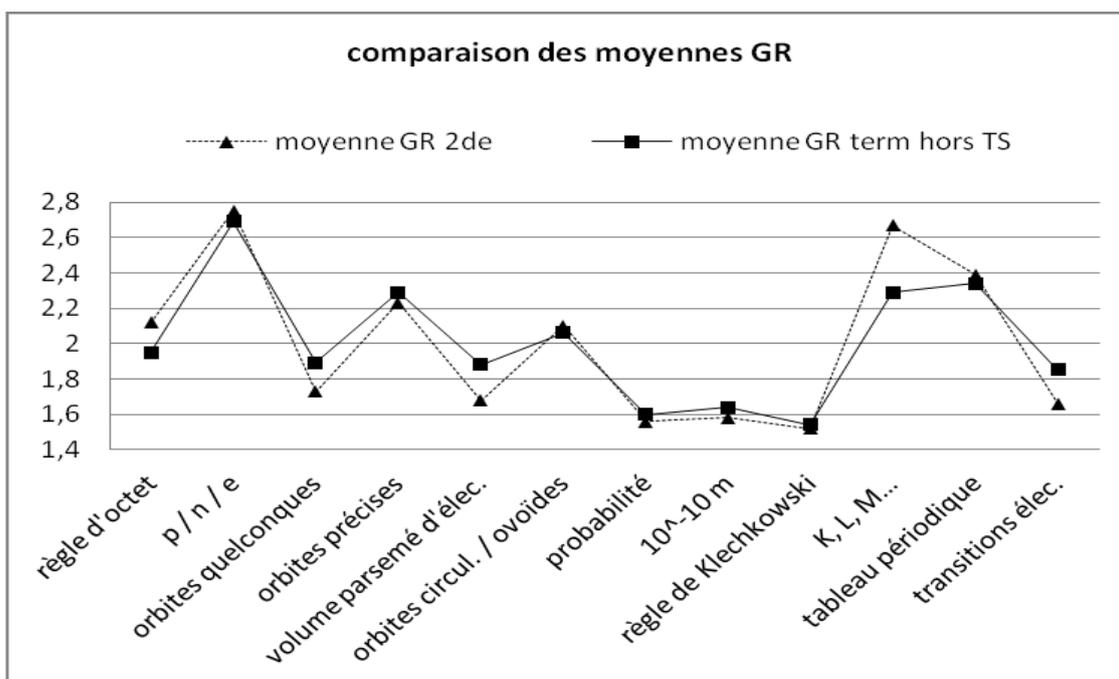
Le graphe suivant offre une visualisation comparative à partir des valeurs des moyennes française et grecque, par item examiné :



Graph 13.230 : Aspects comparatifs de la moyenne par item, chez les grecs et les français des terminales autres que la TS

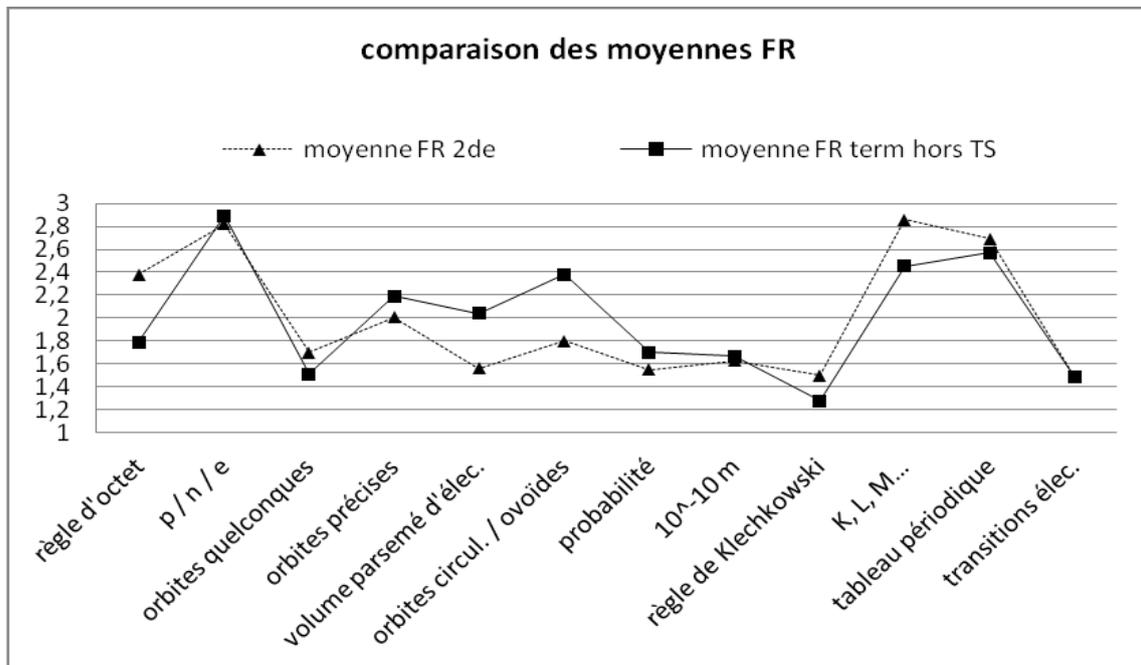
Aussi bien chez les français que chez les grecs, les items 2, 10 et 11 arrivent les premiers sous l'angle du critère de représentativité fixé dans cette question. En revanche, « règle de Klechkowski », « probabilité », « 10^{-10} m » et « transitions électroniques » sont considérés comme peu caractéristiques, ce qui est étonnant, au moins pour les grecs, enseignés en physique de l'atome, et par rapport aux deux derniers items. Enfin, le recul observé de la « règle de l'octet », item parmi les plus représentatifs chez les élèves de 2^{de}, peut être interprété pour les français par sa nature mathématisée, plutôt technique, donc éphémère et peu apprise par les « non scientifiques ». Pour les grecs, l'explication doit aller, croyons-nous, dans le même sens ; de plus, il convient de réfléchir à l'écologie de cet élément de savoir qui, dans les curricula grecs, est développé au sein de la chimie, discipline pourtant absente des programmes des terminales littéraire (TL) et technologique (TT).

Avant de passer aux courbes de représentativité concernant ces groupes de lycéens, il serait judicieux de confronter l'évolution intergroupe depuis la classe de 2^{de}, ce qu'illustrent les deux graphes suivants pour les cas grec et français :



Graphe 13.231 : Évolution intergroupe des moyennes grecques

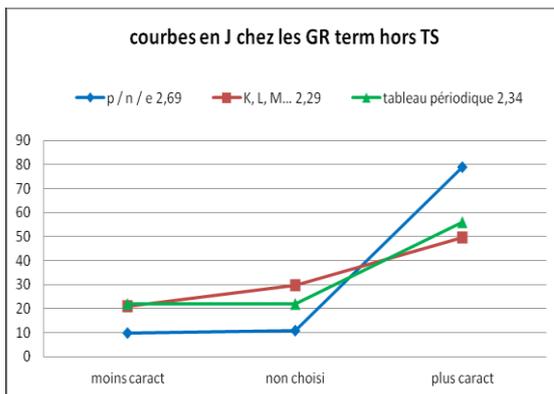
Les propositions 2, 4, 10 et 11 se trouvent au sommet du palmarès pour les deux niveaux de classe avec des différences négligeables dans les moyennes, sauf celle relative à l'item « couches K, L, M... » qui connaît une baisse plus importante de la seconde aux terminales visées. En réalité, cet item étant en rapport direct avec le 4ème (les deux renvoient au modèle de Bohr) et obtenant la même valeur avec celui-ci chez les terminales, cela nous permet d'exprimer cette remarque en termes inverses : de parler plutôt d'un effet d'emphase autour de l'item « couches K, L, M... », chez les élèves de 2^{de} suite à son écologie relevant de la chimie, discipline enseignée en 2^{de}. Il en est de même quant au recul du premier item, bien que ses scores de moyennes se situent aux environs de 2, à savoir la zone des propositions non choisies. En outre, on peut s'appuyer sur le même facteur explicatif vis-à-vis de la hausse des items 3, 5 et 12 qui sont liés aux modèles de Rutherford, Thomson et Bohr respectivement, enseignés en physique de terminale, toutes séries confondues.



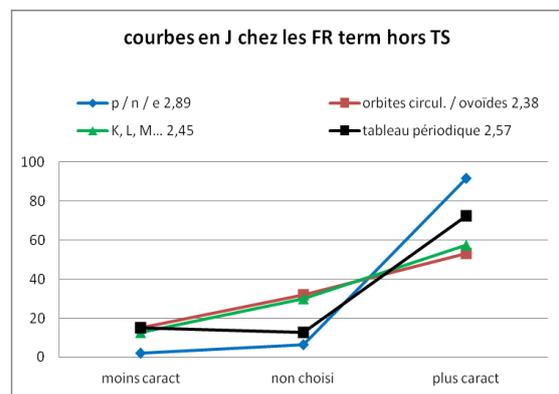
Graph 13.232 : Évolution intergroupe des moyennes françaises

La position dominante des items 2, 10 et 11 qui se maintient lors du passage de la seconde aux terminales TES et TL et le décalage important des moyennes afférentes aux premier et sixième items, constituent les remarques les plus essentielles, issues de ce graphe. Là encore, les items « règle de l'octet » et « couches K, L, M... » reculent au fur et à mesure, compte tenu, conjecturons-nous, de leur caractère technique et plus ou moins mathématisé ; il s'agit donc d'éléments de savoir à la connaissance peu affermie. Par contre, les items 2 et 11 restent presque immuables, puisque, postulons-nous, ces éléments, associés à des élaborations stratégiques et couronnées par l'histoire de la science, font écho.

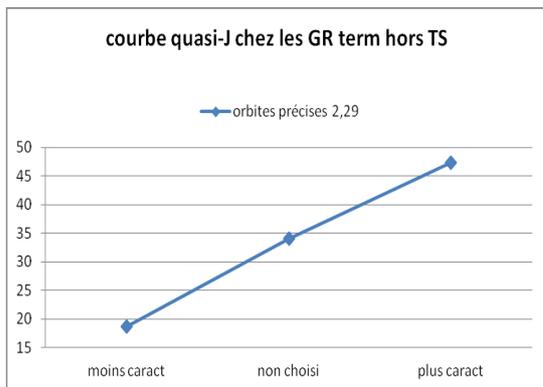
Ensuite, nous passons aux courbes de représentativité qui mesurent le degré de résonance de chaque proposition dans la représentation du modèle de l'atome que les élèves de terminales hors TS ont en tête.



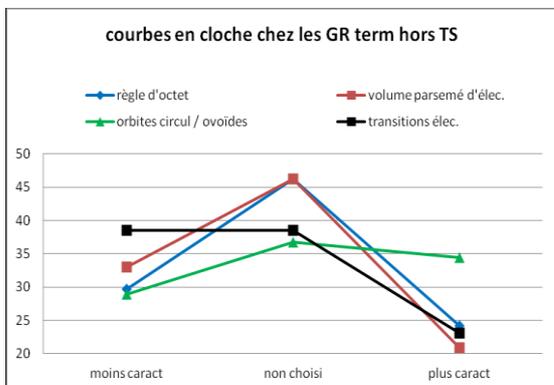
Graphe 13.233 : éléments représentatifs



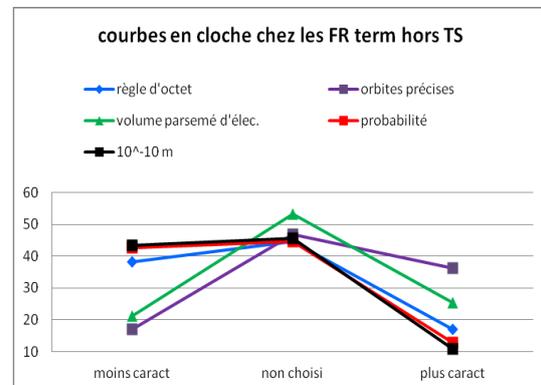
Graphe 13.234 : éléments représentatifs



Graphe 13.235 : élément plutôt représentatif



Graphe 13.236 : éléments périphériques



Graphe 13.237 : éléments périphériques

Les propositions 2, 10 et 11 continuent, également chez les lycéens de terminales hors TS, à incarner les éléments les plus représentatifs de l'atome, indépendamment de l'origine des individus interrogés. Ce triplet vient compléter l'item « orbites précises » pour les grecs, terme qui provient des postulats de Bohr, le modèle éponyme étant enseigné chez eux. De leur part, les français plébiscitent l'item « orbites circulaires / ovoïdes », qui donne une illustration de la forme type ronde de l'atome. Les références à la configuration électronique et au modèle de Thomson, par l'intermédiaire des « règle de l'octet » et

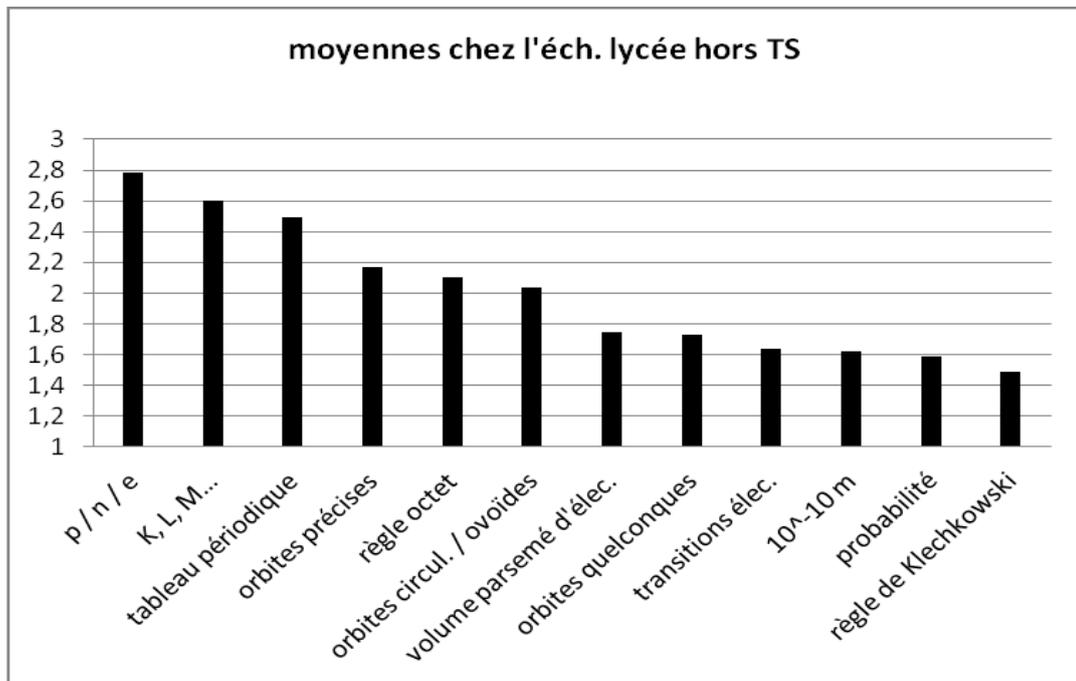
« volume parsemé d'électrons », se situent en périphérie, de manière semblable pour les deux groupes. Enfin, des items, tels que « règle de Klechkowski », « orbites quelconques », « probabilité », etc. n'entretient aucun rapport, d'après les répondants, avec l'objet examiné.

13.5.3 Échantillon lycée hors TS (N = 344)

L'échantillon qui résulte de la fusion des deux précédents est, pour l'essentiel, l'échantillon général (N = 616) après avoir exclu tous les collégiens, soit 206 individus, ainsi que les élèves en TS, à savoir 52 français et 14 grecs. Le tableau suivant présente les scores des modalités considérées et des moyennes par item proposé. C'est à partir des valeurs de ces dernières qu'est d'ailleurs construit le graphe 13.238, ci-après :

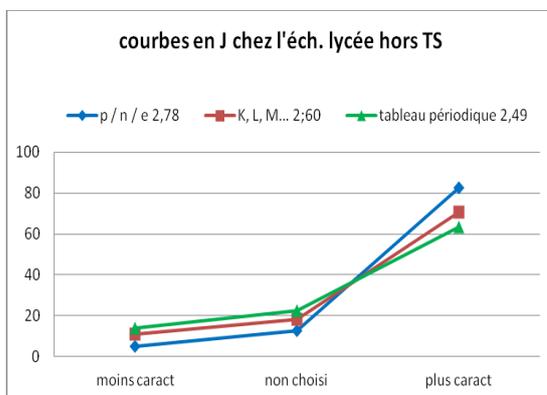
Tableau 13.39 : Représentativité des items de caractérisation, chez l'échantillon lycée hors TS

items	plus caract.	non choisi	moins caract.	moyenne
règle de l'octet	36,6	37,2	26,2	2,10
p / n / e	82,6	12,5	4,9	2,78
orbites quelconques	19,5	34,4	46,1	1,73
orbites précises	38,7	40,1	21,2	2,17
volume parsemé d'électrons	14,5	45,6	39,8	1,75
orbites circul. / ovoïdes	31,2	41,4	27,4	2,04
probabilité	10,8	37,2	52,0	1,59
10^{-10} m	10,5	41,1	48,4	1,62
règle de Klechkowski	7,9	32,9	59,2	1,49
K, L, M...	70,6	18,3	11,0	2,60
tableau périodique	63,4	22,4	14,2	2,49
transitions électroniques	12,5	38,7	48,8	1,64

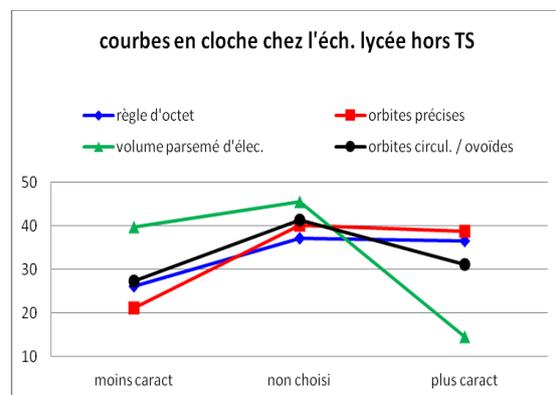


Graphe 13.238 : Moyennes par item triées par ordre décroissant, pour l'échantillon lycée hors TS

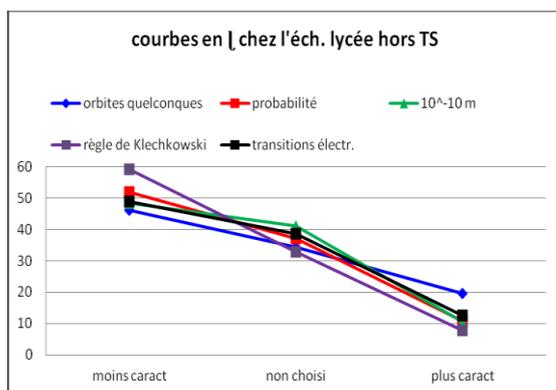
Les sujets sollicités se représentent l'atome comme une entité composée de protons, neutrons et électrons occupant des orbites précises, ou couches distinctes, dénommées K, L, M... Des éléments de nature technique ou exprimés avec un langage mathématique semblent être non sélectionnés comme traits contribuant potentiellement au contenu sémantique de l'objet représenté. Quant aux courbes de représentativité, elles apparaissent dans les graphes suivants, comme suit :



Graphe 13.239 : éléments représentatifs



Graphe 13.240 : éléments périphériques



Graphe 13.241 : éléments sans rapport

Comme les courbes précédemment affichées, associées aux groupes d'élèves en seconde et en terminale, l'ont montré, les items de forte représentativité à l'égard de l'atome sont toujours les mêmes. Il serait intéressant de confronter ces graphes avec ceux correspondant à l'échantillon spécifique et cela, pour les items communément apparus dans les listes de la question 5 des versions « 2^{de} & Terminales hors TS » et « Terminale S » du questionnaire d'enquête principale. Nous avançons par la suite les résultats issus de l'échantillon spécifique.

CHAPITRE 14 : LA REPRÉSENTATION SOCIALE DE L'ATOME – ÉCHANTILLON SPÉCIFIQUE

Cet échantillon est composé, rappelons-nous, de cent élèves, français et grecs, en terminale scientifique. Nous présentons successivement les résultats question par question, en scindant trois groupes : élèves français, élèves grecs et ensemble.

14.1 Question 1

La question d'évocation, traitée avec le logiciel EVOC, conduit premièrement à la prototypicalité des induits fournis par les individus (cf. tableau 14.1, par exemple) et, dans un deuxième temps, à leur catégorisation sémantique (cf. tableau 14.2 et graphe 14.1, par exemple).

14.1.1 Français TS (N = 52)

Ces sujets ont au total produit 97 induits différents repris en 244 occurrences, ce qui signifie que chacun d'eux a produit en moyenne 4,7 mots ($244 : 52$). Leur classement en termes de fréquence et de rang moyen est donné par le tableau 14.1 :

Tableau 14.1 : Répartition du corpus en induits potentiellement centraux et périphériques.

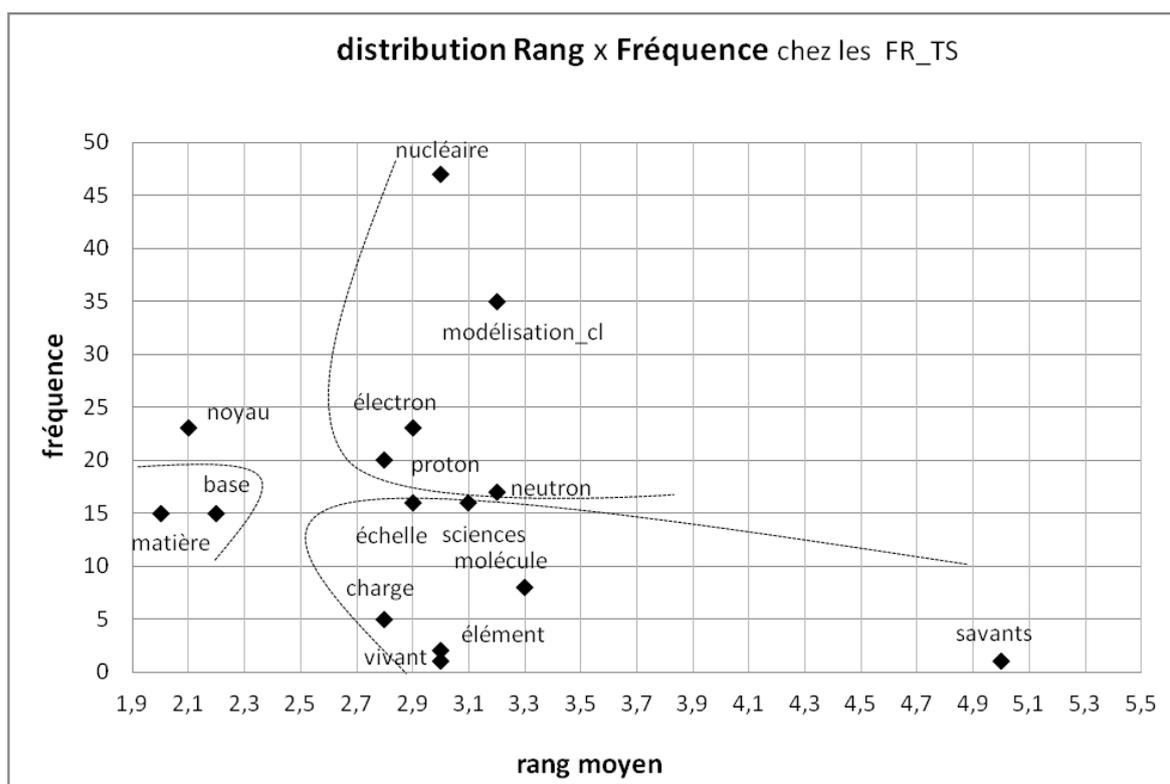
Dans les cases, la première colonne correspond à la fréquence absolue et la seconde au rang moyen par induit

Fréquence ≥ 8 et Rang Moyen $\leq 2,4$			Fréquence ≥ 8 et Rang Moyen $> 2,4$		
noyau	23	2,087	électron	22	2,818
matière	9	2,222	proton	20	2,750
			neutron	17	3,176
			nucléaire	8	3,125
			radioactivité	8	2,500
			énergie	8	2,875
Fréquence < 8 et Rang Moyen $\leq 2,4$			Fréquence < 8 et Rang Moyen $> 2,4$		
charge électrique	3	2,333	nucléon	7	3,143
indivisible	3	1,667	molécule	6	2,833
mécanique quantique	3	1,667	fission	4	4,000
énergie nucléaire	3	1,333	fusion	4	3,250
			petit	4	3,250

Lors de la phase de catégorisation des associations qu'ont produites les élèves, nous avons eu recours, pour cet échantillon spécifique, aux mêmes catégories déjà conçues pour l'échantillon général (cf. §13.1.1), à la différence que nous avons divisé la « modélisation » en deux labels : « modélisation classique » et « modélisation ondulatoire », selon que les induits renvoient à l'une ou l'autre approche. Notons que l'adjectif utilisé, « classique », est ici opposé au « quantique probabiliste », de sorte que les induits propres au modèle de Bohr (y compris les modèles antérieurs) soient englobés dans la première. En revanche, la seconde famille renferme des associations, telles que « nuage électronique », « orbitale », « parité », etc. En effet, trois catégories – « modélisation ondulatoire », « ion » et « social » – obtiennent chez les français des scores nuls, donc non présents dans le tableau 14.2 :

Tableau 14.2 : Analyse prototypique de la représentation sociale (français TS). Entre parenthèses, la fréquence absolue, suivie du rang moyen

Fréquence f	Rang moyen RM	
	RM faible ($\leq 2,4$)	RM fort ($> 2,4$)
f élevée $f \geq 16$	<p>Case 1</p> <p>noyau (23 / 2,1)</p>	<p>Case 2</p> <p>nucléaire (47 / 3,0) mod. classique (35 / 3,2) électron (23 / 2,9) proton (20 / 2,8) neutron (17 / 3,2) échelle (16 / 2,9) sciences (16 / 3,1)</p>
f faible $f < 16$	<p>Case 3</p> <p>matière (15 / 2,0) base (15 / 2,2)</p>	<p>Case 4</p> <p>molécule (8 / 3,3) charge (5 / 2,8) élément (2 / 3,0) vivant (1 / 3,0) savants (1 / 5,0)</p>



Graphe 14.1 : Distribution chez les français TS

14.1.2 Grecs TS (N = 48)

Le nombre des induits différents fournis par ce groupe est de 91, cités en 222 reprises, soit 4,6 mots en moyenne. En termes de fréquence et de rang, ces mots se répartissent comme suit :

Tableau 14.3 : Répartition du corpus en induits centraux et périphériques. Dans les cases, la première colonne donne la fréquence absolue et la seconde le rang moyen par item

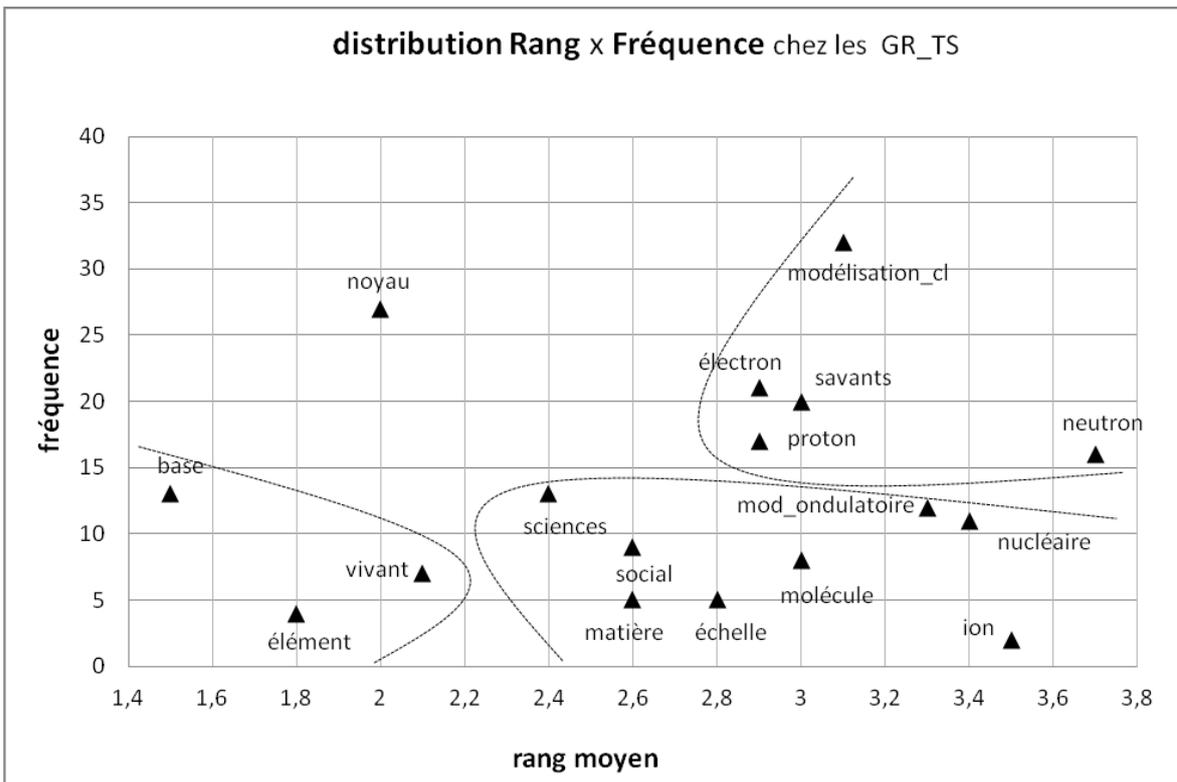
Fréquence ≥ 8 et Rang Moyen $\leq 2,4$			Fréquence ≥ 8 et Rang Moyen $> 2,4$		
noyau	27	1,963	électron	20	2,800
			proton	17	2,941
			neutron	16	3,688
			Bohr	8	2,750
			molécule	8	3,000
Fréquence < 8 et Rang Moyen $\leq 2,4$			Fréquence < 8 et Rang Moyen $> 2,4$		
chimie	4	2,250	modèle de Bohr	5	2,800
			orbitale	5	4,600
			orbitale atomique	5	3,000
			modèle de Rutherford	4	2,750
			Rutherford	3	2,667
			numéro atomique	3	3,333
			physique	3	3,000
organisme	3	2,333	énergie atomique	3	3,667

Quant à la catégorisation des induits, le tableau 14.4 met en évidence l'analyse prototypique où, cette fois, l'item « charge » n'a guère de poids : aucun induit n'y est associé.

Tableau 14.4 : Analyse prototypique de la représentation sociale (grecs TS). Entre parenthèses, la fréquence absolue, suivie du rang moyen

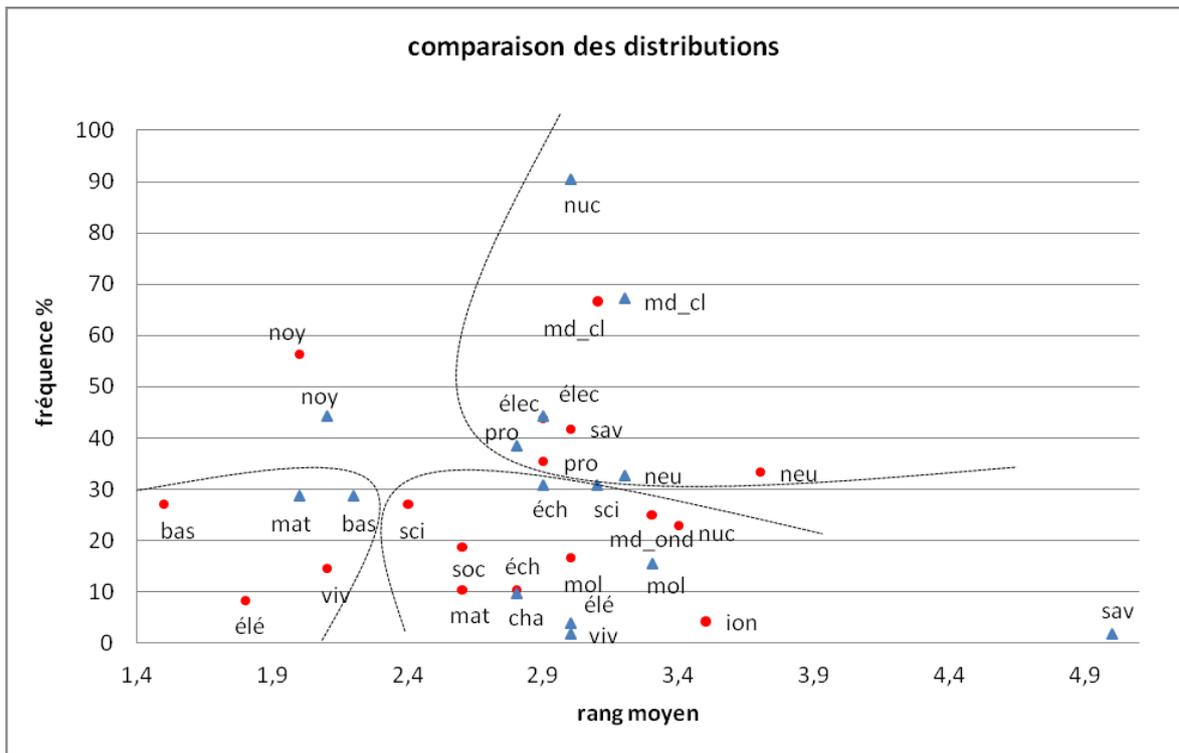
Fréquence f	Rang moyen RM	
	RM faible ($\leq 2,4$)	RM fort ($> 2,4$)
f élevée $f \geq 16$	<p style="text-align: center;">Case 1</p> noyau (27 / 2,0)	<p style="text-align: center;">Case 2</p> mod. classique (32 / 3,1) électron (21 / 2,9) savants (20 / 3,0) proton (17 / 2,9) neutron (16 / 3,7)
f faible $f < 16$	<p style="text-align: center;">Case 3</p> base (13 / 1,5) sciences (13 / 2,4) vivant (7 / 2,1) élément (4 / 1,8)	<p style="text-align: center;">Case 4</p> mod. ondulatoire (12 / 3,3) nucléaire (11 / 3,4) social (9 / 2,6) molécule (8 / 3,0) matière (5 / 2,6) échelle (5 / 2,8) ion (2 / 3,5)

Le noyau atomique – autrement dit ce que nous pensons être les forces nucléaires et l'énergie nucléaire, que les répondants identifient derrière l'expression « noyau atomique » – occupe seul la zone centrale. Ce résultat récurrent semble faire de cet élément un élément *sine quo non* de la RS, donc un élément central. Pour le reste, les constituants de l'atome suivent, dans un ordre d'importance décroissant, du point de vue écologique : électron, proton, neutron, composent la périphérie proche, et sont complétés des éléments de savoir sur la modélisation classique de l'atome. Le modèle ondulatoire commence à peine à figurer dans la périphérie lointaine. Le graphe suivant offre la distribution des catégories :



Graph 14.2 : Distribution chez les grecs TS

Le graphe d'après fournit, de façon comparative et récapitulative, les analyses prototypiques concernant les deux groupes :



Graph 14.3 : Mise en commun des distributions pour les deux groupes (fr : ▲ ; gr : ●)

Précisons que la petite ellipse sur ce repère rang – fréquence représente de manière caricaturale la zone du noyau central de la RS et celle de droite, la périphérie proche. Le « noyau » constitue donc un élément dont la probabilité d’être central est forte, en ce sens qu’il est non négociable pour les sujets, autrement dit, un élément *sine quo non* pour penser l’atome. Effectivement, suite à la technique de mise en cause – qui permet d’identifier avec quelque sûreté le caractère central des éléments de la case 1 (cf. tableau 3.15, §2.3.4) –, l’écrasante majorité des élèves (et cela, indépendamment de leur origine) pensent que le « noyau » (*i.e.* un espace central dans l’atome pourvu de protons et de neutrons) est nécessairement lié à la conceptualisation de l’atome. En d’autres termes, ils énoncent que s’il n’y a pas de noyau, alors il ne s’agit pas réellement d’atome. Donc, cet élément est décisif pour la signification de l’objet représenté. En conséquence, la RS s’organise pour les deux populations autour de l’élément sémantique de « noyau atomique ». Les particules subatomiques se placent, de manière comparable pour les deux groupes, en périphérie proche. Cette zone, délimitée par la grande ellipse, inclut de plus la dimension du « nucléaire », pour ce qui concerne la représentation des français. En revanche, ce thème se situe très loin du noyau dans la structuration de la représentation que se font de l’atome les grecs. Par ailleurs, ces derniers citent un certain nombre d’induits

relatifs au modèle ondulatoire de l'atome, mais de manière ni fréquente ni prépondérante, bien que celui-ci fasse partie des programmes grecs de chimie, en TS. Par ailleurs, il est remarquable que les programmes de physique, du tronc d'enseignement commun pour les trois séries en TS, traitent en même temps du modèle de Bohr.

Dans cette étape de l'analyse lexicographique, nous avons en sortie du programme [RANGMOT] la distribution des mots cités (induits) par zone de fréquences. À titre indicatif, la zone des mots très fréquemment cités (*i.e.* au moins seize fois, dans ce cas) représente 36 % des évocations des grecs et 33,6 % des évocations des français ; il s'agit en effet des induits suivants (communément rencontrés dans les deux groupes) : noyau, électron, proton, neutron. Les ressemblances ainsi observées permettent de nous interroger sur la structuration de la représentation d'ensemble des élèves en TS, ce qui fait l'objet du paragraphe suivant.

14.1.3 Ensemble TS (N = 100)

Les deux groupes fusionnés produisent 165 induits différents, cités en 466 reprises, soit 4,7 mots en moyenne. En termes de fréquence et de rang, leur répartition se présente comme suit :

Tableau 14.5 : Répartition du corpus en induits centraux et périphériques. Dans les cases, la première colonne donne la fréquence absolue et la seconde le rang moyen par item

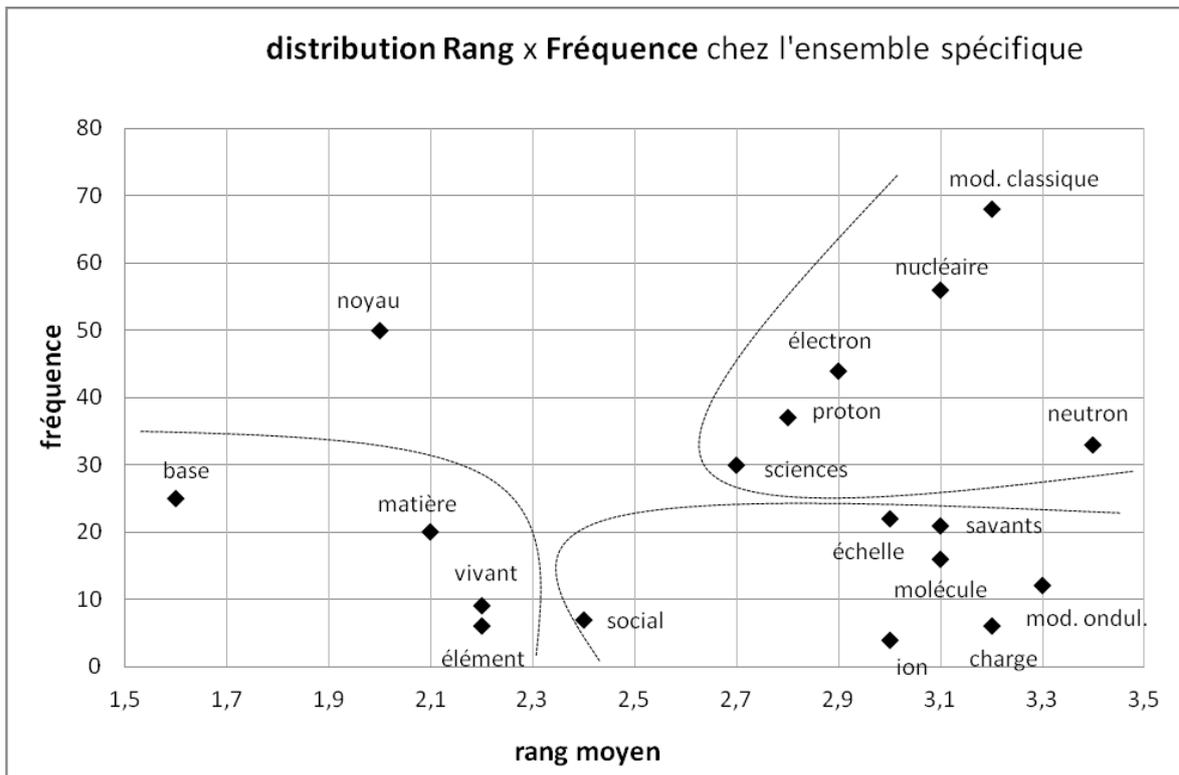
Fréquence ≥ 30 et Rang Moyen $\leq 2,4$			Fréquence ≥ 30 et Rang Moyen $> 2,4$		
noyau	50	2,020	électron	42	2,810
			proton	37	2,838
			neutron	33	3,424
Fréquence < 30 et Rang Moyen $\leq 2,4$			Fréquence < 30 et Rang Moyen $> 2,4$		
			molécule	14	2,929
			Bohr	8	2,750
			chimie	6	2,833
			fission	5	3,600
			modèle de Bohr	5	2,800
matière	11	2,364	nucléaire	8	3,125
mécanique quantique	5	1,400	nucléon	7	3,143
			orbitale	5	4,600
			orbitale atomique	5	3,000
			petit	5	3,000
			physique	5	3,400
			radioactivité	8	2,500
			énergie	9	3,111

Les effectifs importants dans la fréquence, ainsi que le rang faible qu'obtient l'item « noyau » témoignent de son caractère central très fort et cela, en corrélation avec les résultats issus de la technique de mise en cause appliquée auprès des sujets, comme nous l'avons précédemment relaté. Le paysage devient plus clair lorsqu'on passe des productions primitives des élèves (prises en compte dans le tableau ci-dessus) à leur catégorisation thématique. Le tableau 14.6 fournit donc le classement des catégories en termes de rangs et de fréquences :

Tableau 14.6 : Analyse prototypique de la représentation sociale (grecs TS). Entre parenthèses, la fréquence absolue, suivie du rang moyen

Fréquence f	Rang moyen RM	
	RM faible ($\leq 2,3$)	RM fort ($> 2,3$)
f élevée $f \geq 33$	<p>Case 1</p> <p>noyau (50 / 2,0)</p>	<p>Case 2</p> <p>mod. classique (68 / 3,2) électron (44 / 2,9) proton (37 / 2,8) neutron (33 / 3,4) nucléaire (56 / 3,1)</p>
f faible $f < 33$	<p>Case 3</p> <p>base (25 / 1,6) vivant (9 / 2,2) élément (6 / 2,2)</p>	<p>Case 4</p> <p>sciences (30 / 2,7) échelle (22 / 3,0) savants (21 / 3,1) matière (20 / 2,1) mod. ondulatoire (12 / 3,3) charge (6 / 3,2) molécule (16 / 3,1) ion (4 / 3,0) social (7 / 2,4)</p>

De manière équivalente, le graphe suivant offre une visualisation de la dispersion des catégories dans le repère rang – fréquence où, nous le rappelons, l'espace en haut à gauche correspond typiquement au noyau central de la RS, ceux en haut à droite et en bas à gauche à sa périphérie proche, tandis que la périphérie lointaine se situe aux antipodes du noyau central (*i.e.* en bas à droite) :



Graphe 14.4 : Distribution chez l'ensemble de l'échantillon spécifique

La comparaison entre ce graphe et le graphe 13.13, se référant à l'échantillon général, montre que la plupart des labels homologues se placent systématiquement au même endroit dans le repère. (À noter que les axes des abscisses des deux graphes sont d'un étalonnage comparable). C'est le cas du « noyau », étant un élément central, des composants de l'atome (« électron », « proton » et « neutron ») qui forment la périphérie proche avec les « nucléaire », « mod. classique », « base » et « matière » (de laquelle se rapproche maintenant l'« élément »). Enfin, les catégories « échelle », « charge », « savants » et « ion » occupent la zone périphérique éloignée de la représentation. En revanche, nous soulignons le recul spectaculaire premièrement de la « molécule » – qui se situait dans la couche interne impactant la zone centrale de la RS (cf. graphe 13.13) – et, secondairement, des « sciences » et « vivant », termes qui se trouvent relativisés dans l'échantillon spécifique par rapport à l'échantillon général.

14.2 Question 2

À l'aide du logiciel SIMI 2000©, nous avons traité les données issues des deux questions de caractérisation comprises dans la version du questionnaire d'enquête principale appelée « Terminale S ». Il s'agit en effet des questions 2 et 5, la première étant également proposée de façon identique aux élèves de l'échantillon général. En exécutant de la même façon qu'auparavant (cf. §13.2) les programmes [REKEND] et [KENDAL] du logiciel pour les groupes considérés (lycéens français, lycéens grecs et ensemble), nous avons en sortie les scores qu'obtiennent la moyenne et les trois modalités, « plus caractéristique », « non choisi » et « moins caractéristique », à propos de chacun des items proposés. Encore une fois, plus la moyenne est forte, plus l'item concerné est considéré comme caractéristique de l'atome.

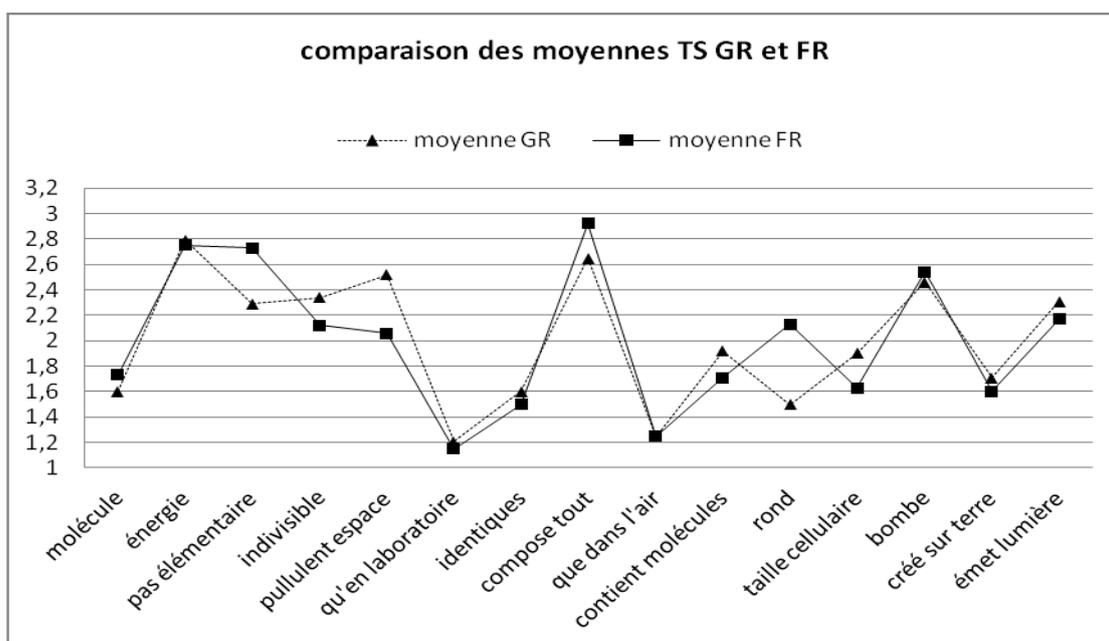
14.2.1 Français TS (N = 52) et Grecs TS (N = 48)

Dans le tableau 14.7 sont rassemblés, de manière comparative, les scores des modalités par item :

Tableau 14.7 : Représentativité des items de caractérisation, chez les grecs et français de TS

items	plus caract.		non choisi		moins caract.		moyenne	
	GR	FR	GR	FR	GR	FR	GR	FR
molécule	16,7	13,5	27,1	46,2	56,3	40,4	1,60	1,73
énergie	81,3	84,6	16,7	5,8	2,1	9,6	2,79	2,75
pas élémentaire	45,8	80,8	37,5	11,5	16,7	7,7	2,29	2,73
indivisible	51,1	34,6	31,9	42,3	17,0	23,1	2,34	2,12
pullulent espace	56,3	23,1	39,6	59,6	4,2	17,3	2,52	2,06
qu'en laboratoire	2,1	0	16,7	15,4	81,3	84,6	1,21	1,15
identiques	4,3	0	51,1	50,0	44,7	50,0	1,60	1,50
compose tout	72,9	94,2	18,8	3,8	8,3	1,9	2,65	2,92
que dans l'air	2,1	0	20,8	25,0	77,1	75,0	1,25	1,25
contient molécules	20,8	7,7	50,0	55,8	29,2	36,5	1,92	1,71
rond	6,3	40,4	37,5	32,7	56,3	26,9	1,50	2,13
taille cellulaire	16,7	13,5	56,3	36,5	27,1	50,0	1,90	1,63
bombe	58,3	63,5	29,2	26,9	12,5	9,6	2,46	2,54
créé sur terre	12,5	5,8	45,8	48,1	41,7	46,2	1,71	1,60
émet lumière	52,1	38,5	27,1	40,4	20,8	21,2	2,31	2,17

À partir des valeurs qu'obtiennent les moyennes grecque et française par item envisagé, nous traçons le graphe 14.5 pour mieux illustrer les ressemblances et les différences entre ces groupes.



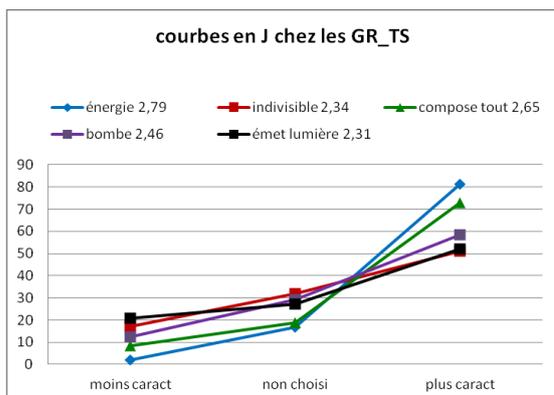
Graphe 14.5 : Aspects comparatifs de la moyenne par item, chez les grecs et les français de TS

Au premier abord, les moyennes ont des valeurs approchantes pour huit items sur quinze, au sens où la différence calculée se trouve inférieure à 0,2 (seuil précédemment déterminé, cf. §13.2.1), comme c'est le cas des 2^{ème}, 6^{ème} et 9^{ème} termes, avec un décalage très faible. S'agissant ensuite des items qui présentent des moyennes les plus divergentes, nous constatons que :

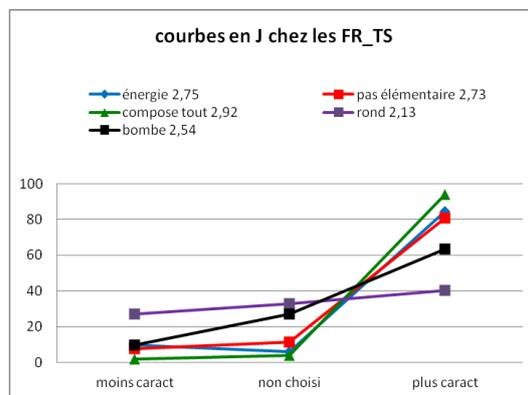
1. La troisième proposition trouve résonance chez les français, tandis que pour les grecs elle semble figurer parmi les items non choisis (moyenne aux environs de 2) ;
2. Concernant le 5^{ème} item, la conception que l'espace est rempli d'atomes persiste même chez les grecs de TS qui viennent ainsi rejoindre leurs compatriotes de l'échantillon général (cf. graphe 4.35) ;
3. La proposition que l'atome est de forme ronde ne semble pas constituer une caractéristique significative aux yeux des français ni des grecs ;
4. Parmi les quatre items censés être les plus caractéristiques de l'atome se trouvent, de façon unanime pour les deux groupes, les 2^{ème}, 8^{ème} et 13^{ème} propositions ; en revanche, les 6^{ème}, 7^{ème} et 9^{ème} propositions figurent parmi les moins caractéristiques.

Depuis les valeurs que prennent les trois modalités (cf. tableau 14.7) liées au degré de représentativité des items à l'égard de l'atome, nous avons élaboré les courbes de

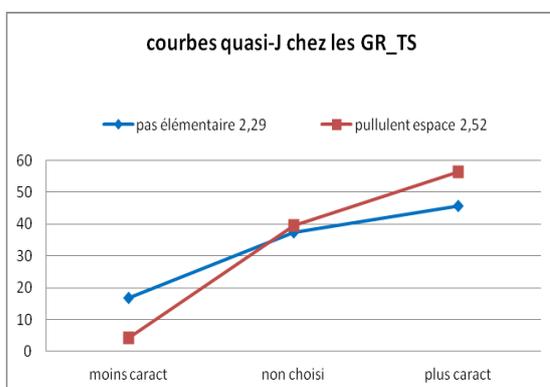
fréquence, comme le montrent les graphes suivants. Les légendes indiquent les abréviations des items suivies, pour les éléments représentatifs, de leurs moyennes :



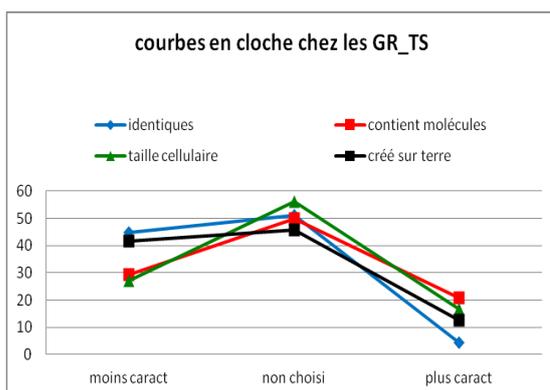
Graph 14.6 : éléments représentatifs



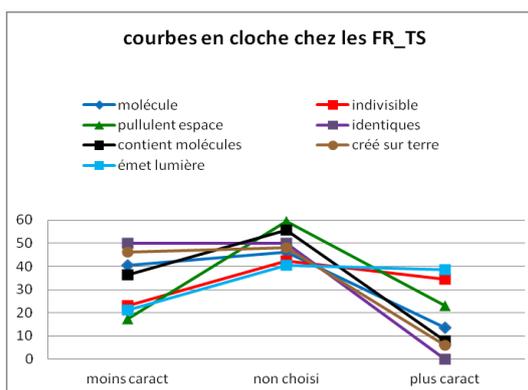
Graph 14.7 : éléments représentatifs



Graph 14.8 : éléments plutôt représentatifs



Graph 14.9 : éléments périphériques



Graph 14.10 : éléments périphériques

Les deux groupes partagent le point de vue que les propositions 2, 3, 8 et 13 constituent des éléments représentatifs de l'atome, alors que les 7, 10 et 14 jouent un rôle périphérique. Quant aux éléments restants, ils n'entretiennent aucun rapport avec l'atome, selon les

enquêtés. Aussi, est-il à noter que la courbe française relative au deuxième item, « l'atome contient de l'énergie » (cf. graphe 14.7), a à la limite une forme en U, à savoir, qu'il s'agit, rigoureusement parlant, d'un élément dichotomique pour lequel seule une partie de l'échantillon en fait un élément représentatif. Cependant, cette partie atteignant 84,6 % des sujets et la moyenne de cet item étant très forte, nous considérons finalement cet item comme représentatif. Passons maintenant aux résultats obtenus après avoir fusionné les deux groupes.

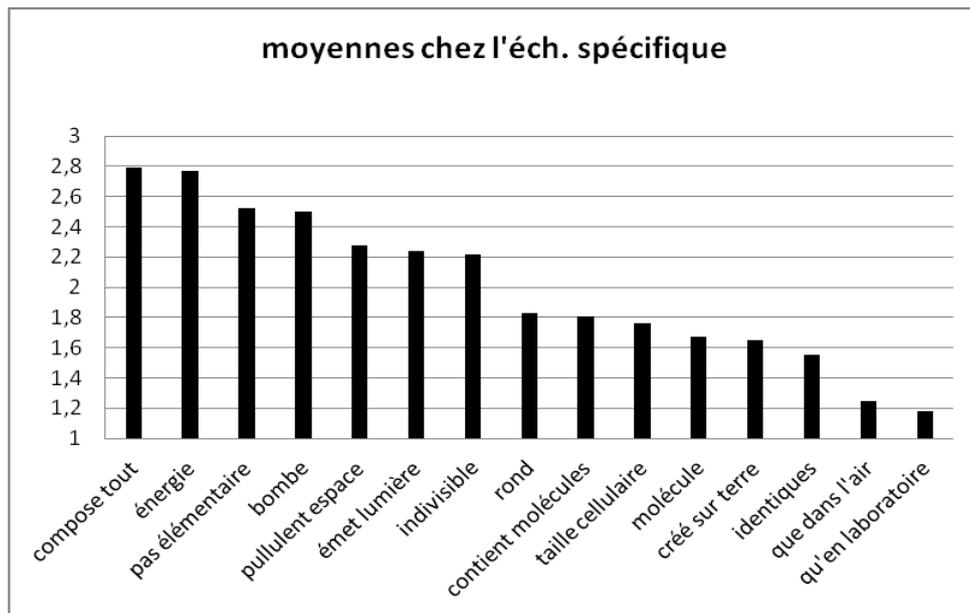
14.2.2 Ensemble TS (N = 100)

Les résultats de la démarche statistique pour l'intégralité de l'échantillon spécifique sont donnés dans le tableau 14.8 ci-dessous :

Tableau 14.8 : Représentativité des items de caractérisation, chez l'ensemble spécifique

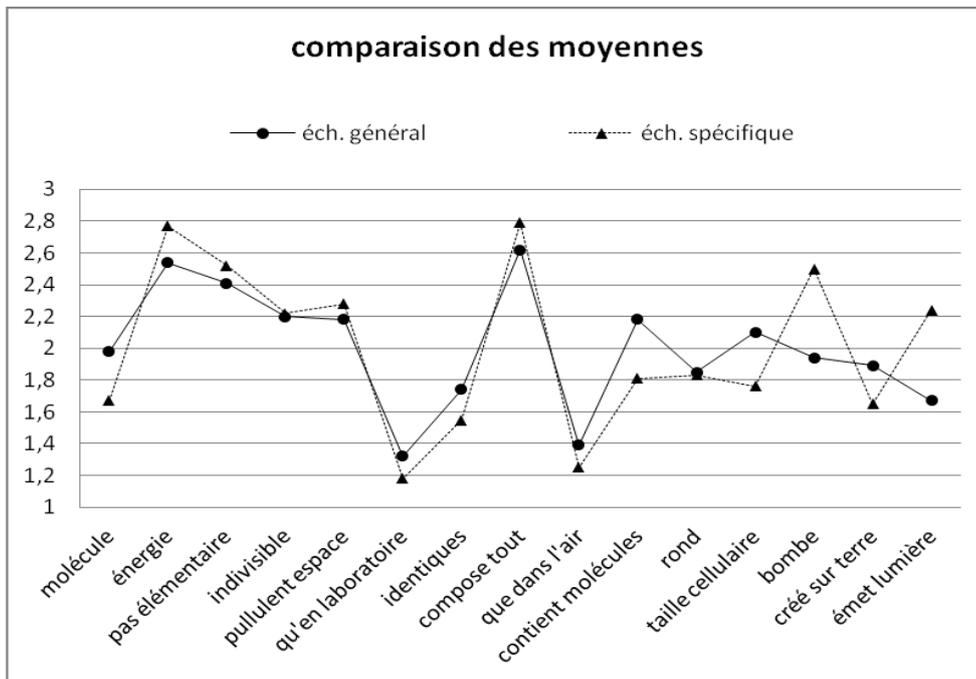
items	plus caract.	non choisi	moins caract.	moyenne
molécule	15,0	37,0	48,0	1,67
énergie	83,0	11,0	6,0	2,77
pas élémentaire	64,0	24,0	12,0	2,52
indivisible	42,4	37,4	20,2	2,22
pullulent espace	39,0	50,0	11,0	2,28
qu'en laboratoire	1,0	16,0	83,0	1,18
identiques	2,0	50,5	47,5	1,55
compose tout	84,0	11,0	5,0	2,79
que dans l'air	1,0	23,0	76,0	1,25
contient molécules	14,0	53,0	33,0	1,81
rond	24,0	35,0	41,0	1,83
taille cellulaire	15,0	46,0	39,0	1,76
bombe	61,0	28,0	11,0	2,50
créé sur terre	9,0	47,0	44,0	1,65
émet lumière	45,0	34,0	21,0	2,24

Le graphe 14.11 représente en histogramme les moyennes par ordre de décroissance :



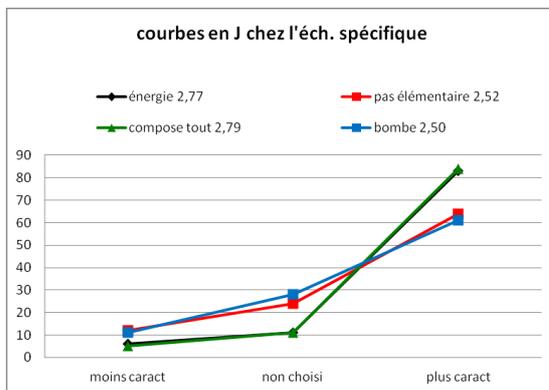
Graphe 14.11 : Moyennes par item triées par ordre décroissant, pour l'échantillon spécifique

Un point de vue comparatif entre les moyennes d'un même item chez l'échantillon général et l'échantillon spécifique nous est donné par le graphe 14.12 :

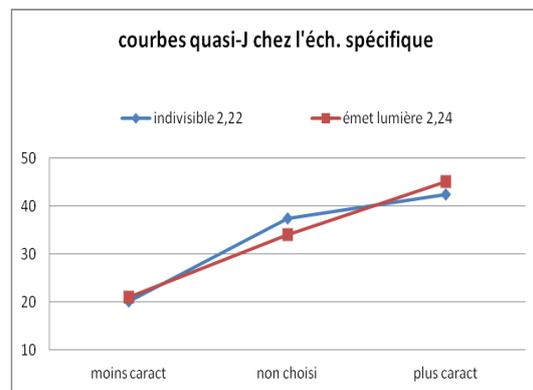


Graphe 14.12 : Convergences et divergences entre les échantillons général et spécifique

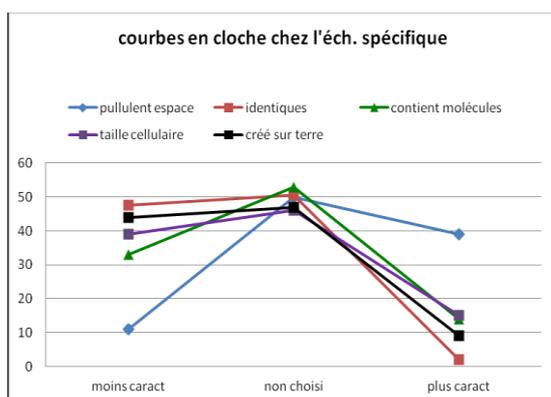
Pour clore ce paragraphe, nous fournissons les courbes de fréquence discernant ainsi les éléments caractérisant le mieux l'atome, tels qu'ils émergent du point de vue des élèves de cet échantillon spécifique :



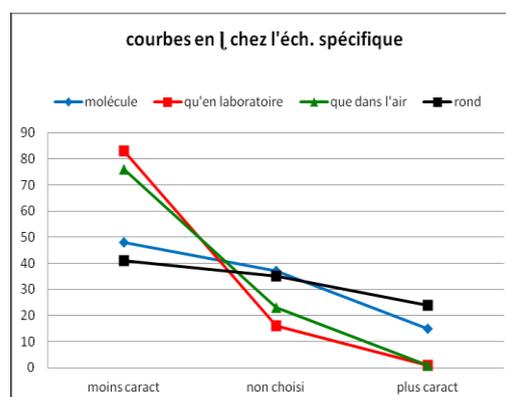
Graphe 14.13 : éléments représentatifs



Graphe 14.14 : éléments plutôt représentatifs



Graphe 14.15 : éléments périphériques



Graphe 14.16 : éléments sans rapport

De la comparaison entre ces graphes et les autres concernant l'échantillon général, nous inférons que :

1. Les idées centrales de l'atome ayant une structure interne, porteur d'énergie et composant de matière traversent horizontalement les deux populations ;
2. Par un effet d'obstacle physicaliste⁵⁰, l'ancienne prétendue indivisibilité de l'atome semble persister et se placer parmi ses propriétés plutôt caractéristiques ;
3. Les propositions 5, 7, 12 et 14 constituent à coup sûr des caractéristiques périphériques pour les deux échantillons ;
4. Les éléments qui changent de statut intergroupe sont la bombe atomique (devenue un item parlant chez les TS) et les molécules aux fondements de l'atome (idée quasi-représentative dans l'échantillon général).

14.3 Question 3

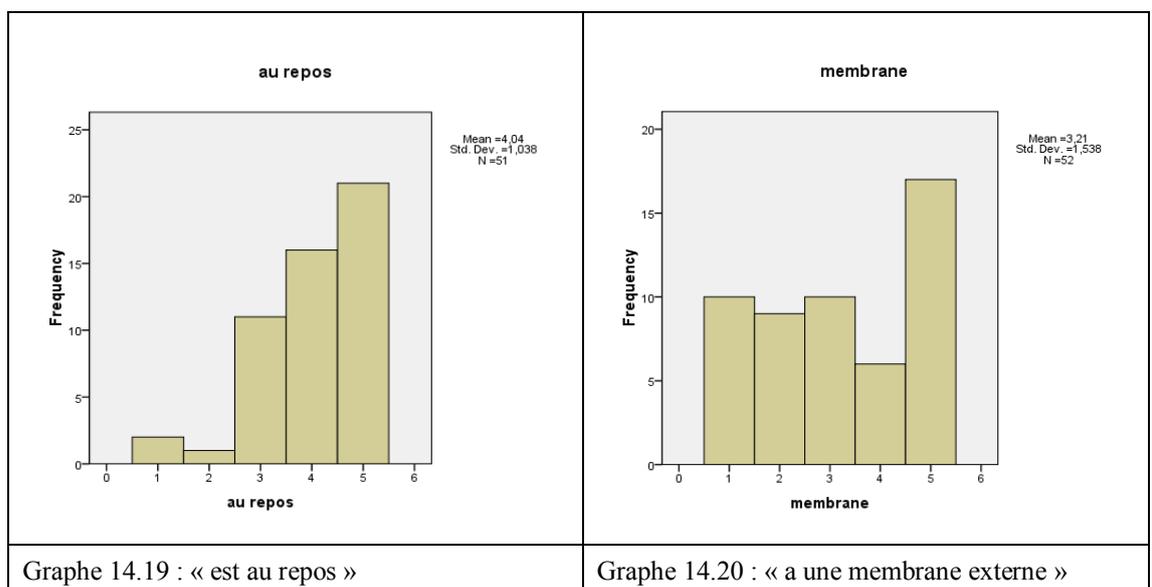
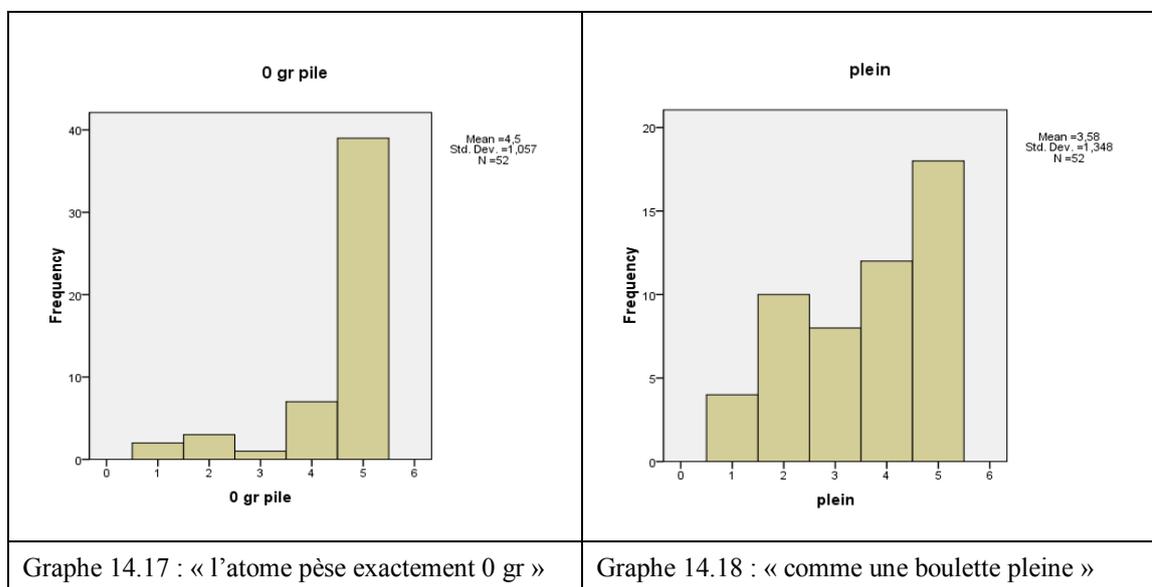
La question à échelle d'Osgood permet aux individus de prendre position vis-à-vis d'un nombre d'énoncés alternant deux parties opposées, comme il a été auparavant expliqué (cf. §13.3). Nous rappelons que les évaluations sont codifiées de 1 (tout-à-fait d'accord avec la partie gauche de l'énoncé, l'affirmation, cf. version de questionnaire « Terminale S », annexe 3) à 5 (pas du tout d'accord avec cette partie ou, autrement, tout-à-fait d'accord avec la partie droite de l'énoncé). D'après les analyses de statistique descriptive au moyen du logiciel SPSS, nous fournissons les graphes et le tableau récapitulatif qui donne les moyennes, médianes, écarts-types et variances, par énoncé

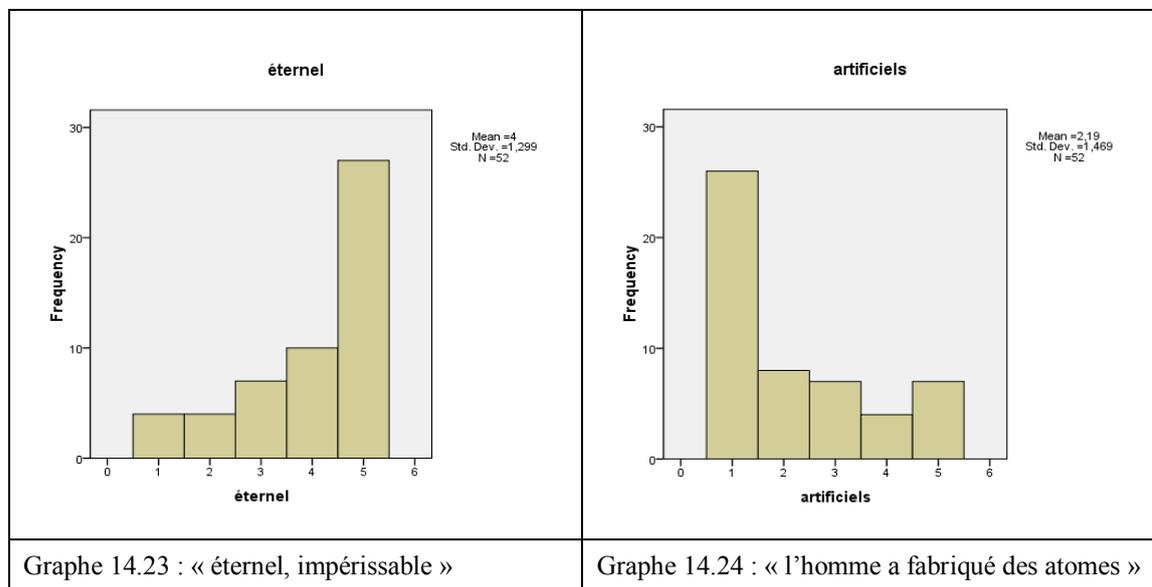
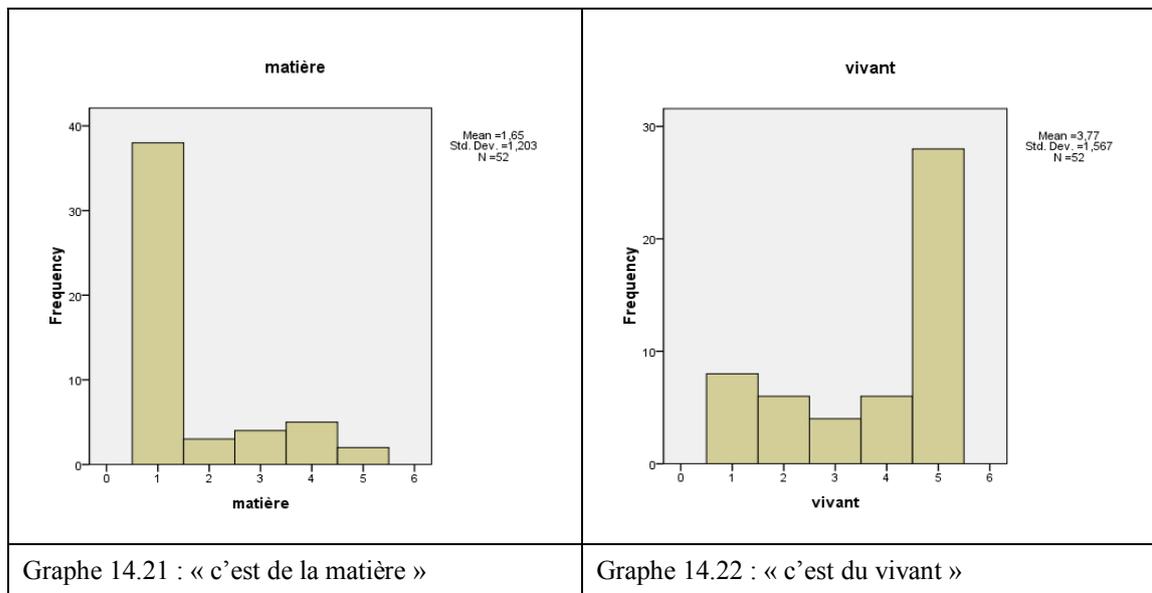
⁵⁰ Attribuer aux objets du réel modélisé les propriétés des objets physiques chargés de représenter les objets du modèle. Par exemple, atome signifie insécable, indivisible, ce qui est l'attribut du modèle daltonien.

envisagé. Pour avancer, nous distinguons deux groupes, français en TS et grecs en TS. Puis nous nous attardons sur leur ensemble, ledit échantillon spécifique.

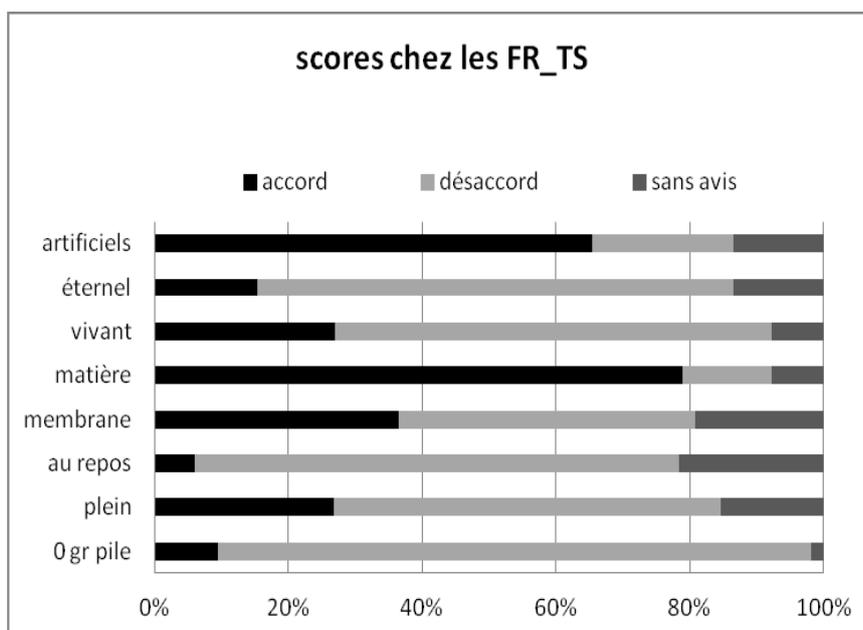
14.3.1 Français TS (N = 52)

Une fois les tableaux des fréquences produits par le logiciel, nous présentons les histogrammes illustrant les scores des cinq modalités (1 : « tout-à-fait d'accord » ; 2 : « plutôt d'accord » ; 3 : « ne sais pas » ; 4 : « plutôt pas d'accord » ; 5 : « pas du tout d'accord »). Les légendes en-dessous des graphes évoquent les énoncés concernés.





Dans ces graphes si l'on se rend compte que les barres des modalités 1 et 2 considérées ensemble nous donnent un aperçu de réponse qui va dans le sens de favoriser l'affirmation gauche de l'énoncé, alors que la somme des modalités 4^e et 5 indique le désaccord des répondants, on peut constater que les élèves se partagent notamment à propos des énoncés 2 et 4. Le quart d'entre eux pensent que l'atome est plein et qu'il relève du vivant, tandis que plus de la moitié croient qu'il possède une membrane ou ne se prononcent pas. Les autres réponses vont dans le bon sens. Le graphique suivant synthétise l'aspect global du positionnement des français, sous l'angle des trois modalités réduites, comme suit :



Graph 14.25 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

L'analyse statistique se complète avec les paramètres fournis par le tableau 14.9, ci-dessous, tel qu'il résulte du logiciel :

Tableau 14.9 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par énoncé, chez les FR_TS

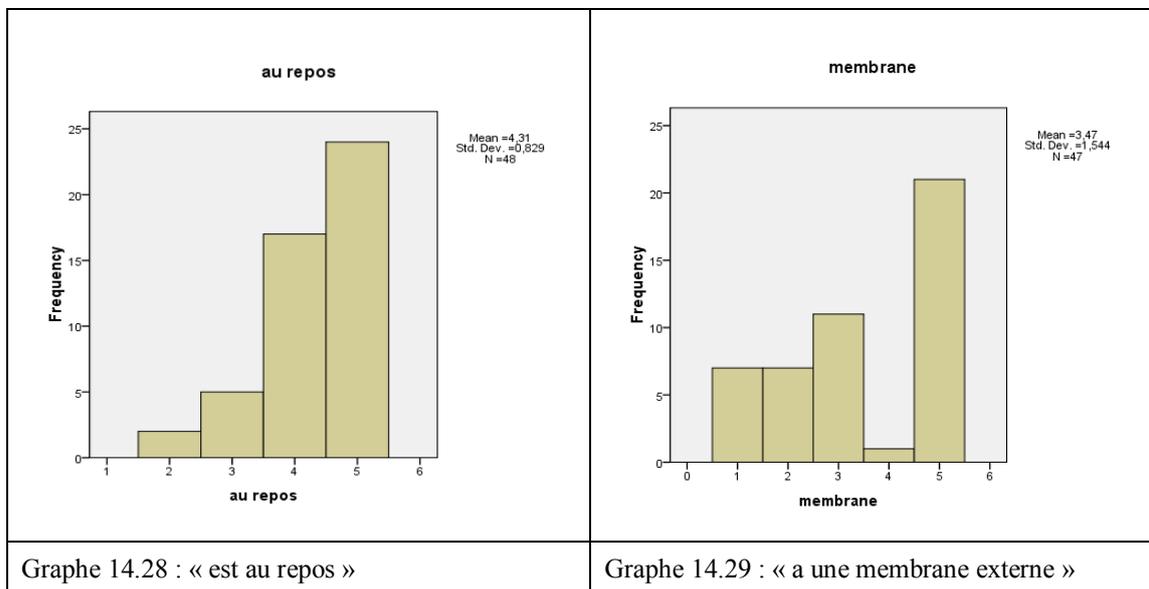
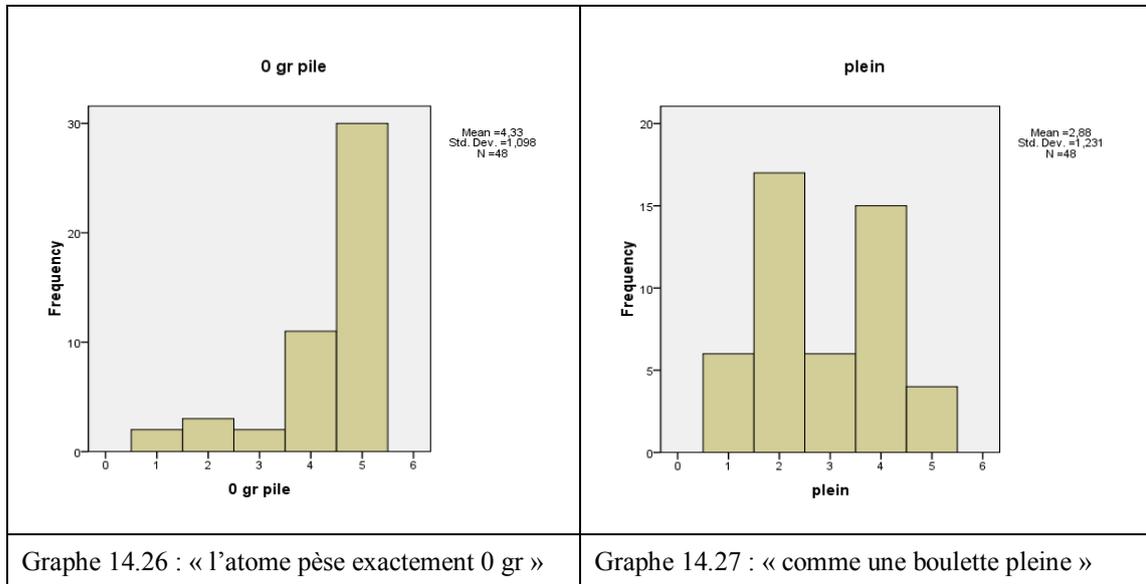
Statistics

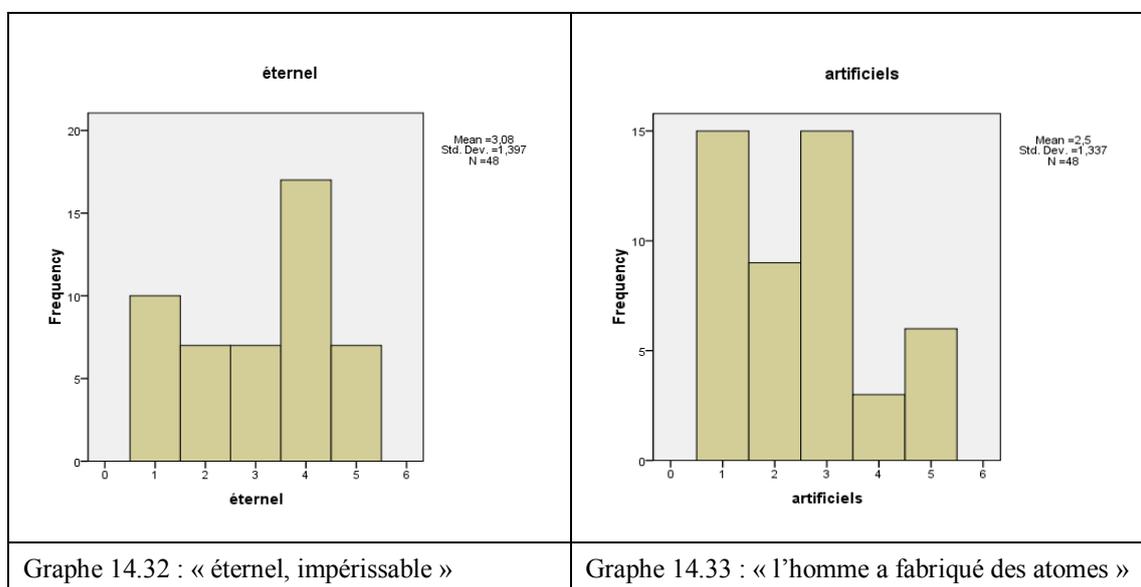
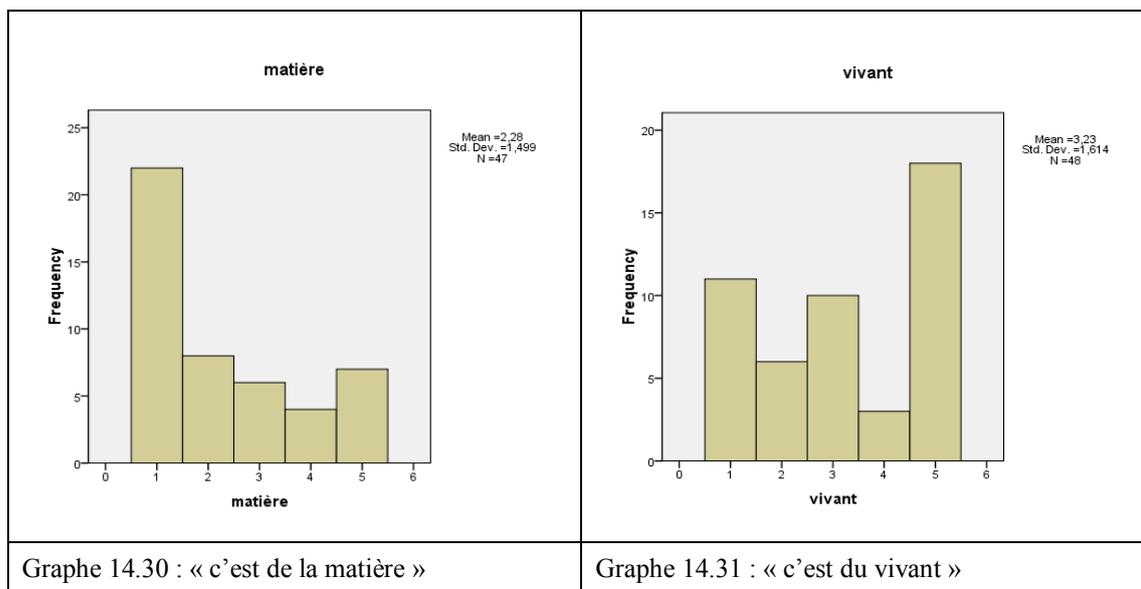
	0 gr pile	plein	au repos	membrane	matière	vivant	éternel	artificiels
N Valid	52	52	51	52	52	52	52	52
Missing	0	0	1	0	0	0	0	0
Mean	4,50	3,58	4,04	3,21	1,65	3,77	4,00	2,19
Median	5,00	4,00	4,00	3,00	1,00	5,00	5,00	1,50
Std. Deviation	1,057	1,348	1,038	1,538	1,203	1,567	1,299	1,469
Variance	1,118	1,817	1,078	2,366	1,446	2,456	1,686	2,158

En règle générale, une moyenne faible signale un vaste accord avec la partie gauche de l'énoncé concerné, et inversement. De fait, la grande majorité des élèves sont unanimes pour considérer que l'atome relève de la matière, étant donné que l'écart-type à propos de cette variable (cf. colonne 6, tableau 14.9) est parmi les plus faibles. Ce tableau nous servira à comparer plus loin les moyennes des deux groupes considérés composant l'échantillon spécifique. Pour se faire, nous passons donc aux résultats issus du groupe des grecs.

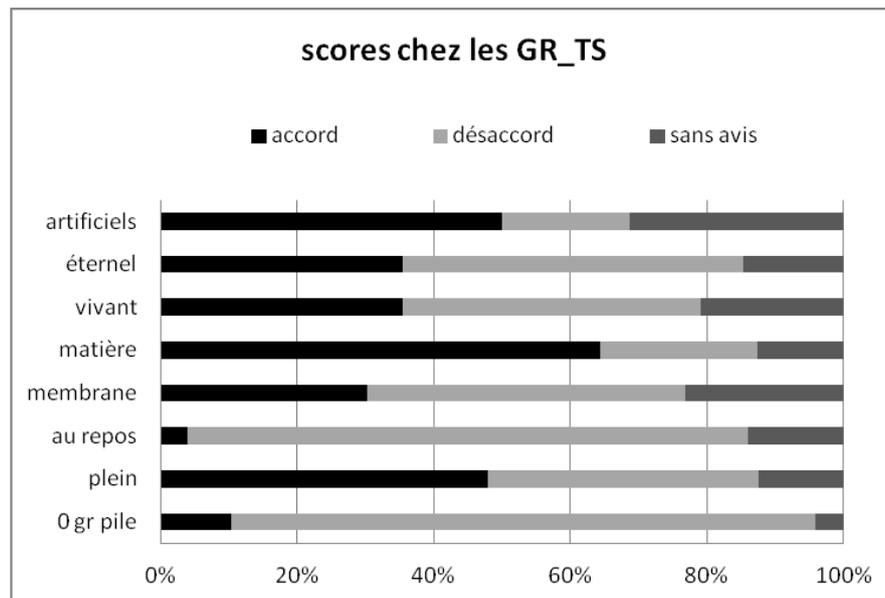
14.3.2 Grecs TS (N = 48)

Les histogrammes correspondant aux huit énoncés sont présentés dans les graphes qui suivent, fournis par le logiciel, après avoir élaborés les tableaux de fréquences pertinents.





De manière lapidaire, nous observons une dichotomie des sujets à l'égard des énoncés 2, 4, 6 et 7. Effectivement, presque la moitié des élèves ne se rend pas compte de la structure lacunaire de l'atome. Un élève sur trois se représente l'atome comme étant entouré d'une membrane, seul 46 % expriment sans réticence leur opposition. En outre, ceux qui partagent la certitude que l'atome ne relève pas du vivant sont moins nombreux. Enfin, pour la moitié des élèves, l'atome n'est pas éternel, au sens que certains atomes, créés à un moment donné quelque part dans l'univers, aujourd'hui n'existent plus. Pour des raisons d'économie dans la lecture des résultats, on peut passer, comme précédemment, des cinq modalités de départ aux trois modalités réduites : la fusion des échelons 1 et 2 conduit vers « accord », et des échelons 4^t 5 vers « désaccord » (cf. graphe 14.34, ci-dessous) :



Graphe 14.34 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

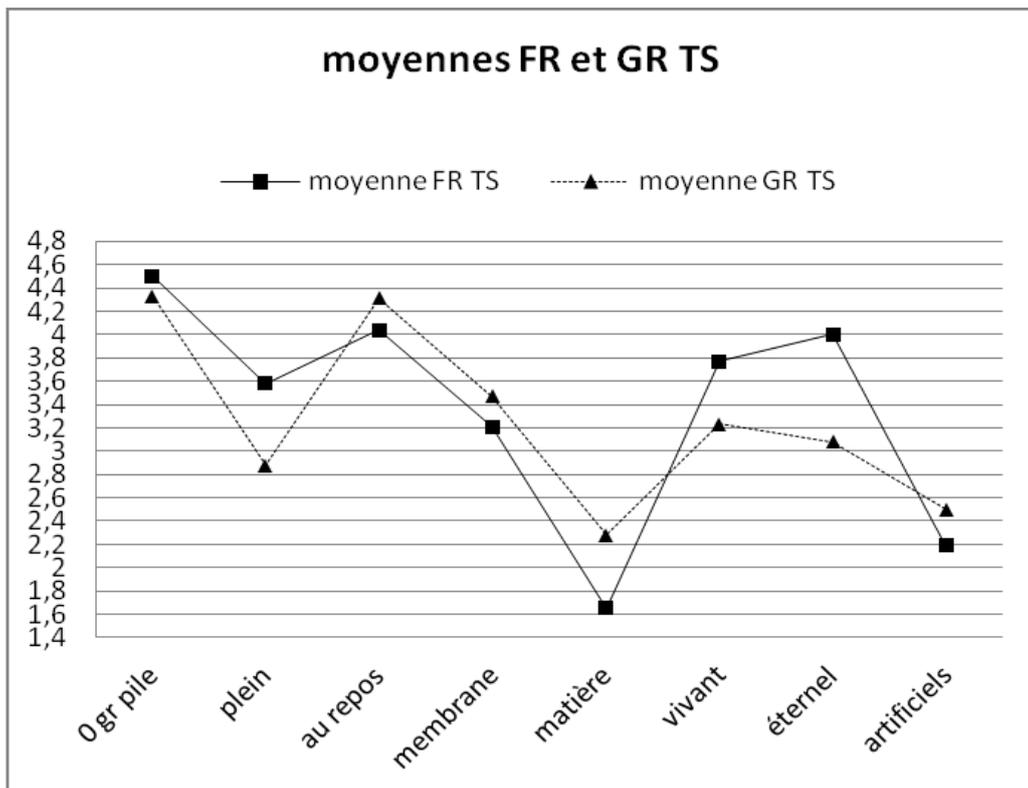
Les autres grandeurs relevant des statistiques descriptives sont fournies par le tableau 14.10, comme suit :

Tableau 14.10 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par énoncé, chez les GR_TS

Statistics

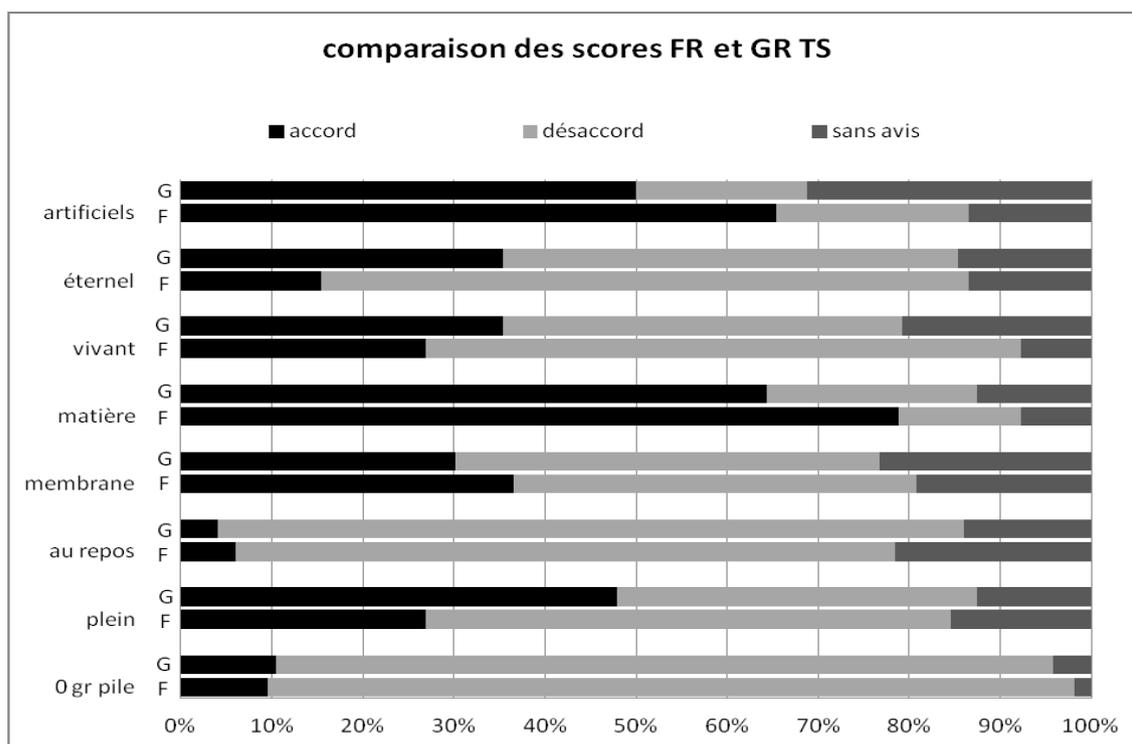
	0 gr pile	plein	au repos	membrane	matière	vivant	éternel	artificiels
N Valid	48	48	48	47	47	48	48	48
Missing	0	0	0	1	1	0	0	0
Mean	4,33	2,88	4,31	3,47	2,28	3,23	3,08	2,50
Median	5,00	3,00	4,50	3,00	2,00	3,00	3,50	2,50
Std. Deviation	1,098	1,231	,829	1,544	1,499	1,614	1,397	1,337
Variance	1,206	1,516	,688	2,385	2,248	2,606	1,950	1,787

Nous remarquons que les élèves se prononcent unanimement pour la partie gauche des énoncés 1 et 3 dont l'écart-type se trouve parmi les plus faibles. Nous tentons de visualiser de façon comparative les résultats originaires des deux groupes par les graphes suivants :



Graph 14.35 : Comparaisons des moyennes françaises et grecques. En général, plus la moyenne est faible, plus il y a accord avec la partie gauche de l'énoncé

Poursuivant l'intention de repérer les items à propos desquels les sujets se comportent de façon la plus catégorique possible en faveur, soit de la partie gauche soit de la partie droite de la phrase proposée, nous avons tout simplement calculé la valeur absolue de la différence suivante : moyenne de l'item $x - 3$. Comme on peut le constater (cf. graphique 14.35 et tableaux 14.9 et 14.10), les français sont plus catégoriques à propos des items 1, 5, 3 et 7, c'est-à-dire qu'ils défendent que l'atome dispose d'une masse, que c'est de la matière, qu'il n'est pas au repos et, qu'il est de nature périssable. En revanche, les quatre énoncés les plus pointés par les grecs – les 1, 3, 5 et 8 – témoignent d'une coïncidence partielle avec leurs pairs français, les items qui différencient les deux groupes étant notamment les 2, 6 et 7. Quant aux scores des trois modalités réduites, le graphique 14.36 offre une visualisation permettant un regard comparatif entre les français et les grecs :



Graph 14.36 : Point de vue comparatif entre les groupes de l'échantillon spécifique (F pour français ; G pour grecs)

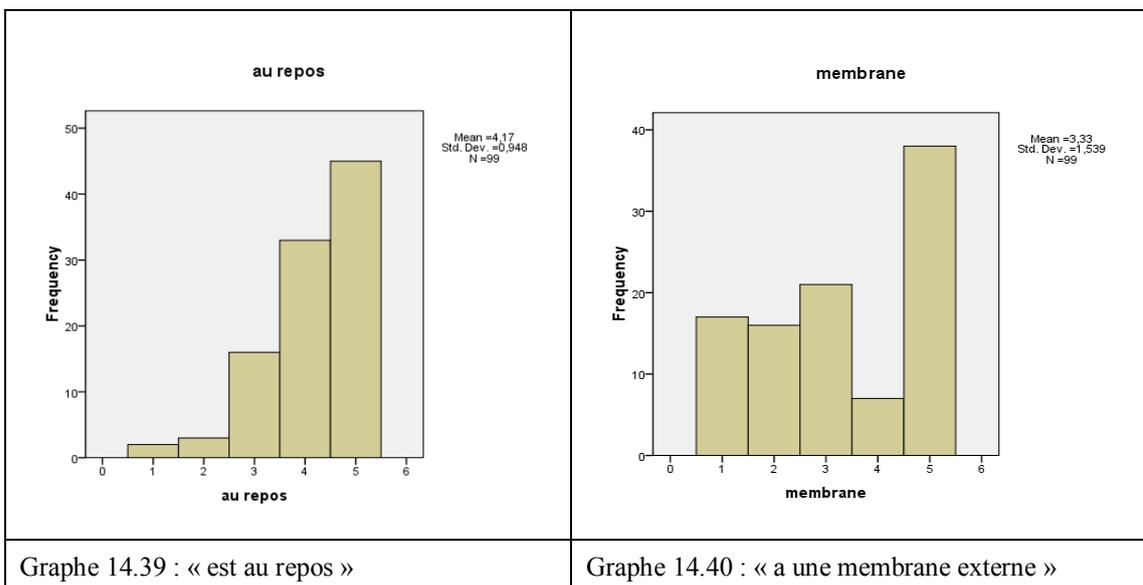
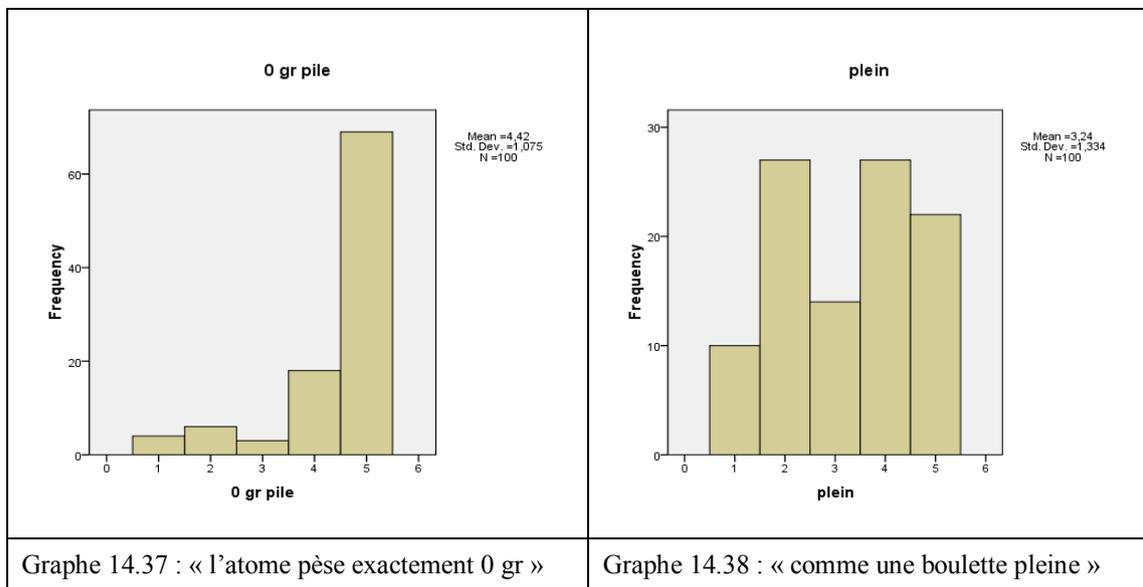
Les réactions des deux groupes d'élèves sont similaires vis-à-vis des phrases 1, 3 et 4 (*i.e.* « 0 gr pile », « au repos », « membrane »). Mais, face aux énoncés 2, 5, 7 et 8, on peut repérer des différences plus ou moins importantes, imputables aux effets transpositifs dans les deux curricula. À titre indicatif, un grec sur deux semble douter de la structure lacunaire, le modèle daltonien prévalant dans sa représentation (cf. item « plein » du graphe). Ce comportement se manifeste bien plus rarement chez les français, seulement pour le quart d'entre eux. Autour du cinquième énoncé et à propos de sa partie gauche, les deux groupes se positionnent de façon la plus favorable parmi les huit sous-questions. Cependant, les français soulignent la nature matérielle de l'atome, de manière plus unanime que les grecs (cf. écarts-types, tableaux 14.9 et 14.10). Au contraire, le caractère éternel de l'atome paraît être une réalité pour 35 % des grecs et, à peine 15 % des français. En ce qui concerne la partie droite de la phrase 1 qui indique que l'atome ne pèse rien, français et grecs sont aussi nombreux à le croire. Enfin, on peut porter attention à la phrase 6 envers laquelle les français se prononcent plus fortement sur le fait que l'atome ne fait pas partie du monde vivant. Les grecs en doutent dans leur majorité, ce qui nous renvoie aux résultats issus des dessins qu'ils ont élaborés au stade de la pré-enquête : à un

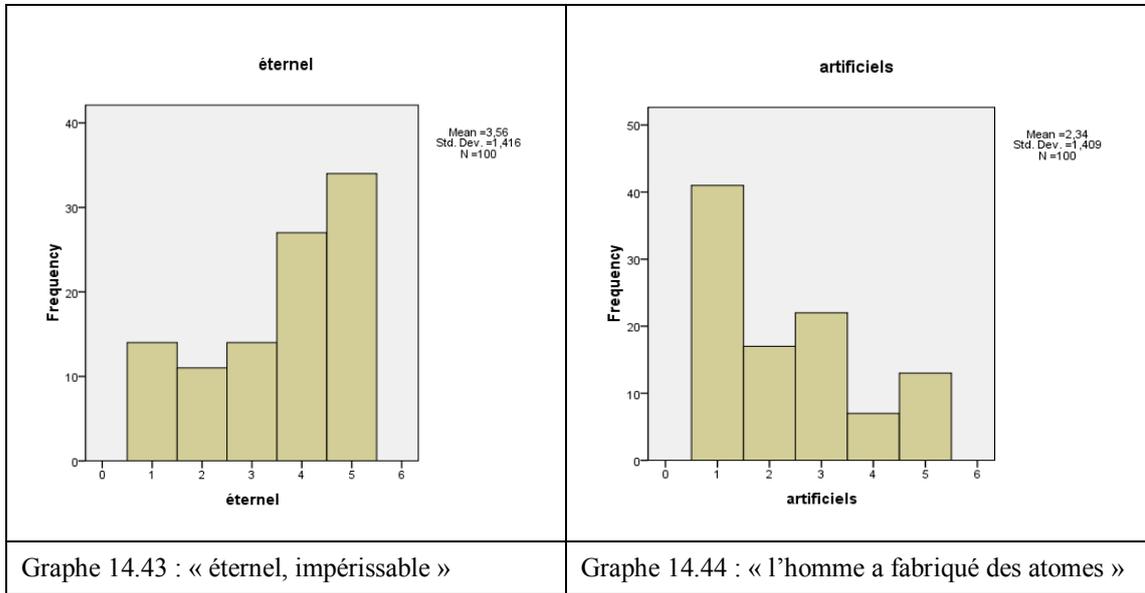
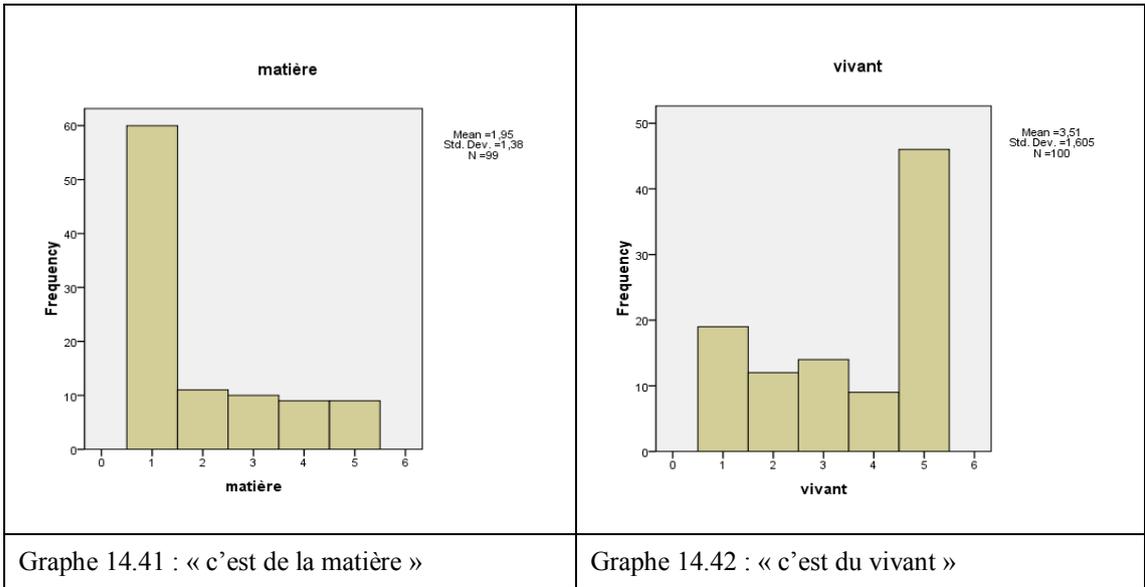
peu plus de 20 %, ils représentent des structures rencontrées en sciences de la vie (cf. tableau 12.2).

Dans ce qui suit, nous relançons le logiciel pour extraire les statistiques concernant l'échantillon spécifique, autrement dit, l'ensemble des deux groupes déjà examinés.

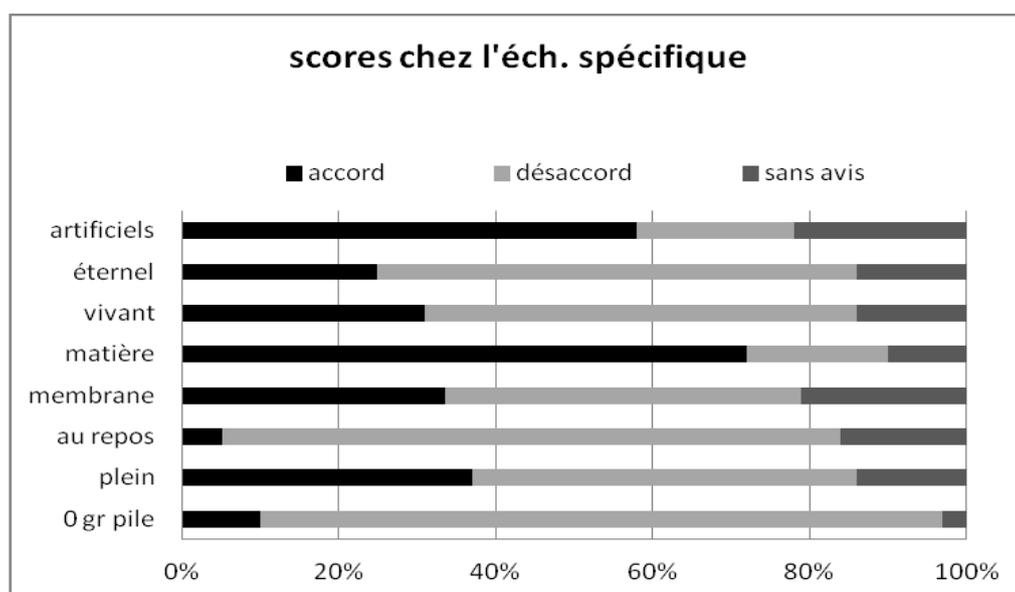
14.3.3 Ensemble TS (N = 100)

Les graphes suivants présentent les histogrammes des scores par variable qu'obtiennent les cinq modalités, du « tout-à-fait d'accord » (avec la partie gauche de chaque énoncé, il s'entend) au « pas du tout d'accord ».





Une lecture plus immédiate sous l'optique des trois modalités réduites est possible grâce au graphe suivant :



Graph 14.45 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

Nous observons que les sujets dans cet échantillon manifestent leurs accord très grand avec les parties droites des énoncés 1 et 3 et, avec les parties gauches des énoncés 5 et 8. Quant aux deux premiers items, l'unanimité des répondants est très importante, comme on peut l'inférer à partir de l'avant-dernière ligne du tableau 14.11 ci-après, où est calculé l'écart-type lié à chacune des huit variables (cf. «Std. Deviation»).

Tableau 14.11 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par énoncé, chez l'échantillon spécifique

		Statistics							
		0 gr pile	plein	au repos	membrane	matière	vivant	éternel	artificiels
N	Valid	100	100	99	99	99	100	100	100
	Missing	0	0	1	1	1	0	0	0
	Mean	4,42	3,24	4,17	3,33	1,95	3,51	3,56	2,34
	Median	5,00	3,00	4,00	3,00	1,00	4,00	4,00	2,00
	Std. Deviation	1,075	1,334	,948	1,539	1,380	1,605	1,416	1,409
	Variance	1,155	1,780	,899	2,367	1,906	2,576	2,006	1,984

En outre, le calcul du test Chi 2, effectué avec SPSS, montre que la variable indépendante « origine d'élève » influence les réponses dans les sous-questions (ou variables dépendantes) suivantes :

1. deuxième, Chi 2 = 11,602, ddl 4 ; p = .021 ;

2. cinquième, $\chi^2 = 9,600$, ddl 4 ; $p = .048$;
3. septième, $\chi^2 = 16,836$, ddl 4 ; $p = .002$.

Les résultats d'une analyse des corrélations entre la variable « vivant » et les autres variables de cette question sont montrés dans le tableau suivant :

Tableau 14.12 : Relations entre la variable « vivant » et autres, de la question 3

échantillon	effectif	variable	corrélation de Pearson r	valeur de p	conclusion
GR_TS	48	membrane	.470	.001	relation proportionnelle d'intensité moyenne : plus les sujets croient que l'atome possède une membrane plus ils pensent qu'il relève du vivant
FR_TS	52	matière	-.335	.015	relation inversement proportionnelle moyenne : plus les sujets croient que l'atome est de la matière moins ils le considèrent vivant
éch_spécif.	100	0 gr pile	.214	.032	relation proportionnelle moyenne : plus les sujets croient que l'atome pèse nul plus ils le considèrent vivant
		membrane	.293	.003	relation proportionnelle moyenne : plus les sujets conçoivent l'atome avec une membrane plus ils le considèrent vivant
		matière	-.292	.003	relation proportionnelle moyenne : plus les sujets croient que l'atome est de la matière moins ils le considèrent vivant

Bien que nous ne concluons à aucune relation forte, le binôme « membrane - vivant » relève, comme nous l'avons auparavant remarqué (cf. tableau 13.29), d'une importance significative chez les sujets. Ainsi, pour quelques-uns d'entre eux, la conception fautive que l'atome est doté d'une membrane externe les conduit à inférer qu'il relève du vivant.

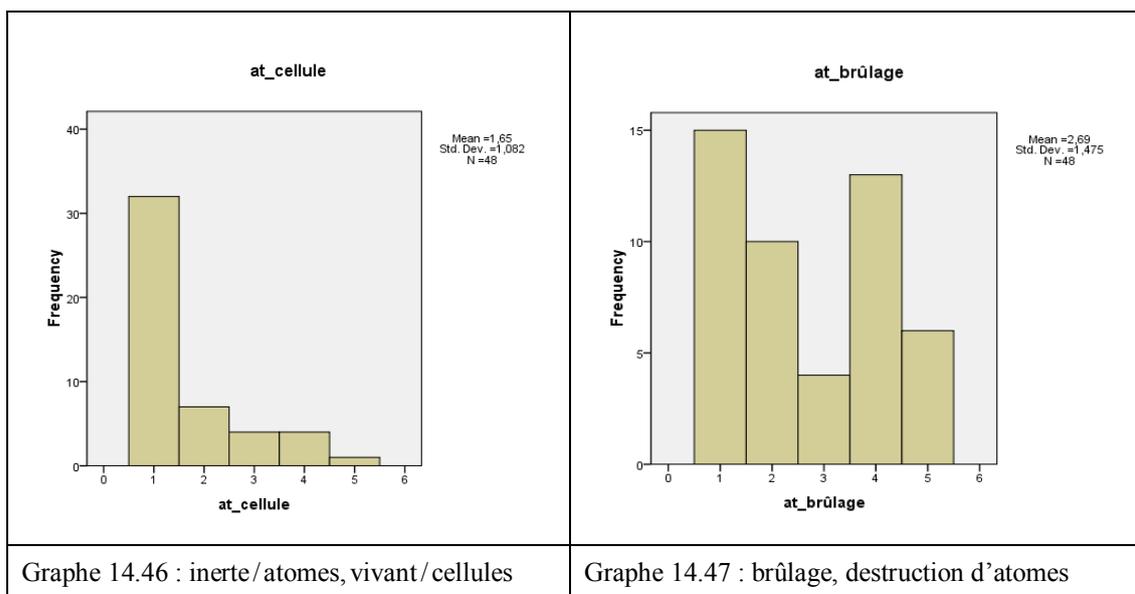
14.4 Question 4

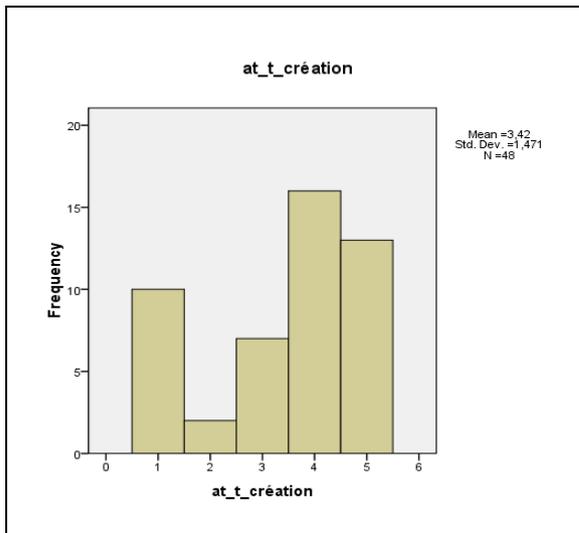
Parmi les phrases proposées par cette question, les suivantes : I K L M et O sont vraies (cf. annexe 3). Nous rappelons que les légendes des histogrammes résument la variable testée. Aussi, les indicateurs statistiques associés sont repris dans le tableau

dénoté «Statistics», qui suit chaque fois les graphes. Enfin, les chiffres 1, 2..., 5 de l'axe horizontal correspondent aux modalités « totalement pas d'accord », « en partie pas d'accord »..., « totalement d'accord ». La présentation des résultats obtenus auprès des deux groupes d'élèves, puis sur leur ensemble se trouve si-dessous :

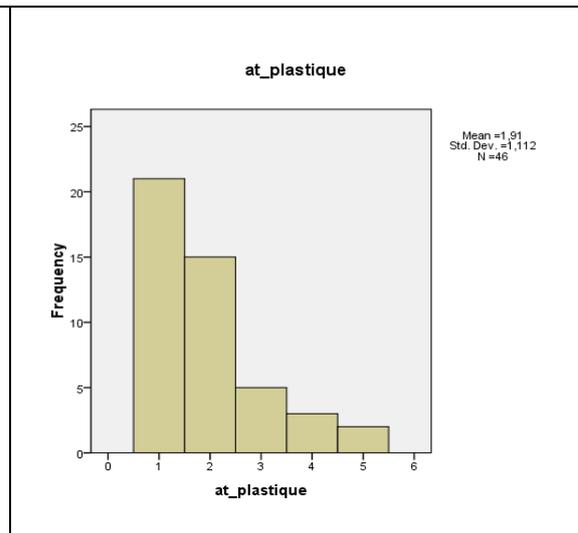
14.4.1 Grecs de TS (N = 48)

En préambule, nous précisons que dans les exemples attribués aux individus de ce groupe, nous avons ajouté une dix-septième proposition portant sur le spin électronique, notion abordée par les programmes de chimie grecs. Nous présentons, comme habituellement, les histogrammes, puis le graphique aux modalités réduites et, enfin, le tableau des statistiques.

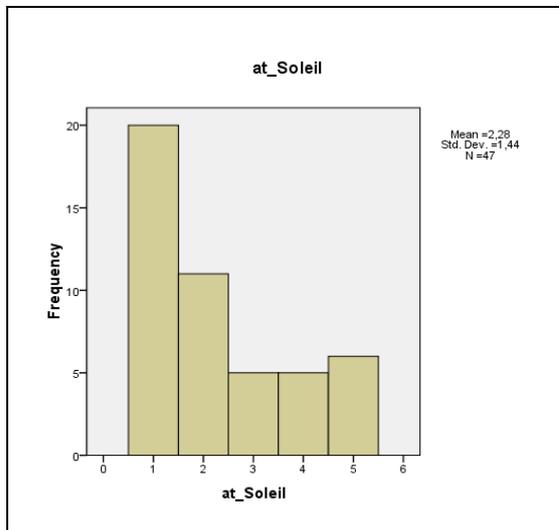




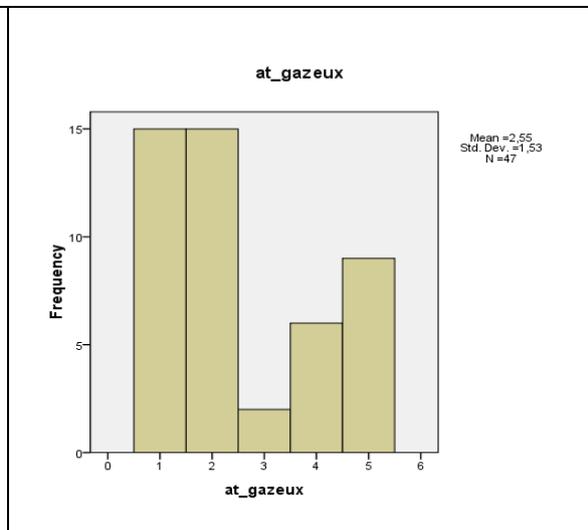
Graphe 14.48 : temps de création d'atomes, fœtus



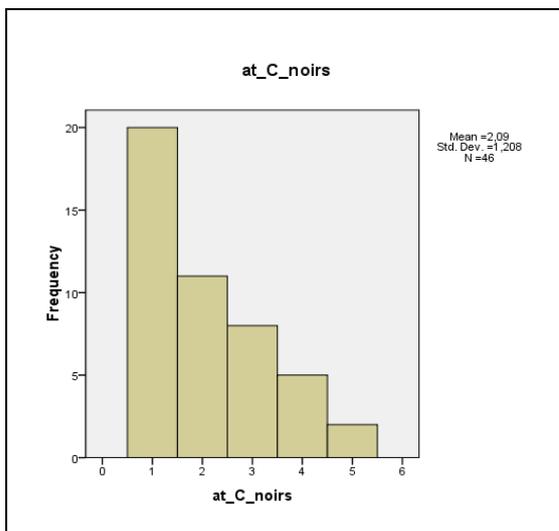
Graphe 14.49 : atomes de verre, de plastique...



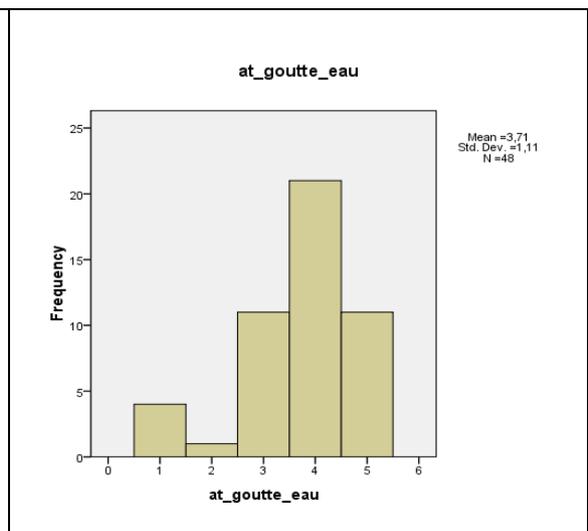
Graphe 14.50 : pas d'atomes au Soleil



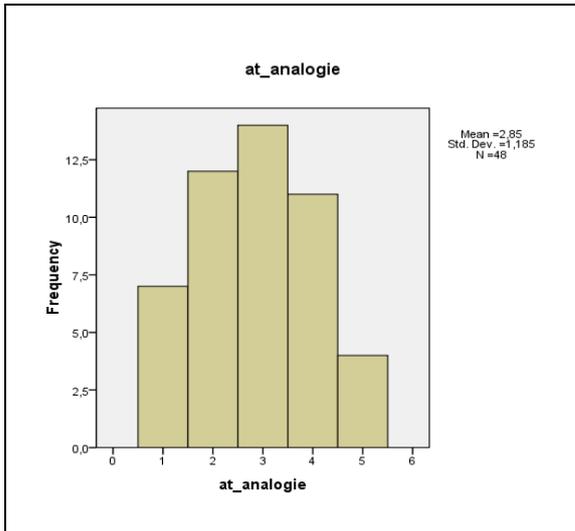
Graphe 14.51 : atomes d'O gazeux, de Fe solides



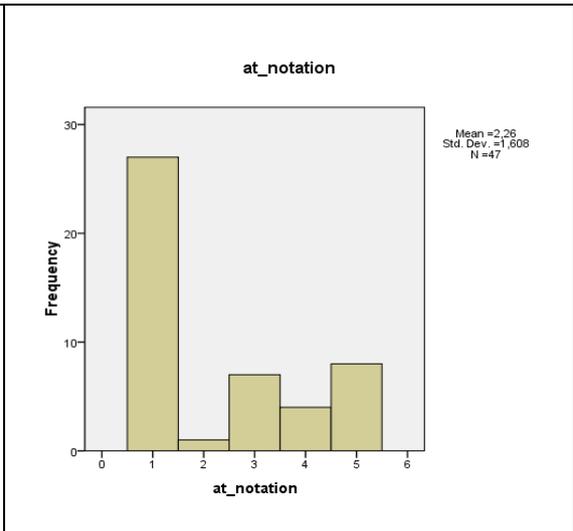
Graphe 14.52 : at. de carbone, noir et d'or, jaune



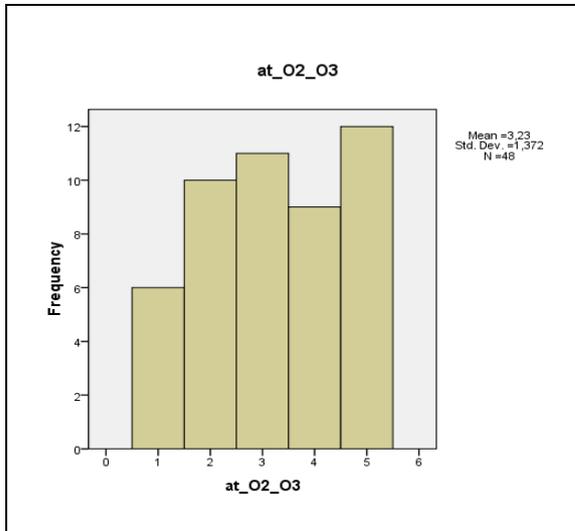
Graphe 14.53 : 10^6 at. dans une goutte d'eau



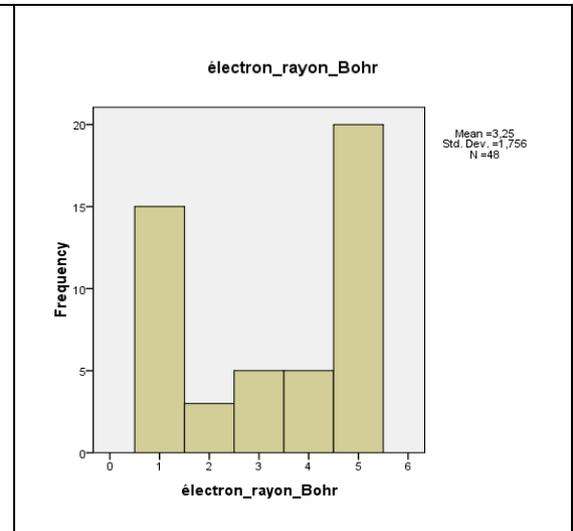
Graphe 14.54 : analogie, balle de ping-pong



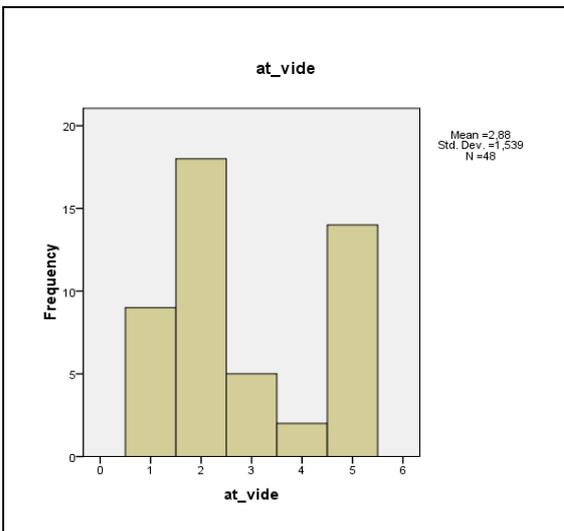
Graphe 14.55 : notation de l'at. d'aluminium



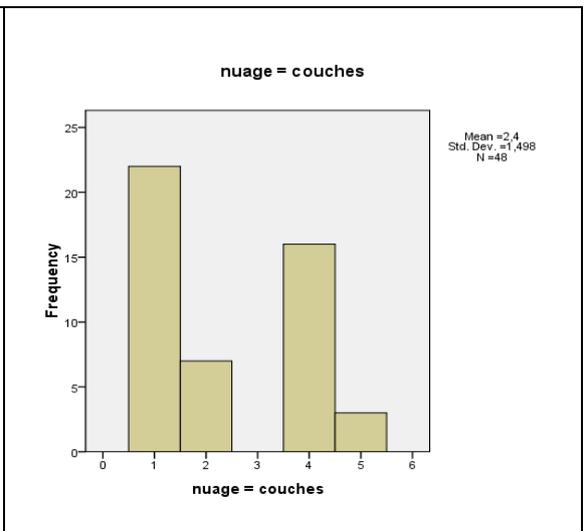
Graphe 14.56 : mêmes at. dans dioxygène, ozone



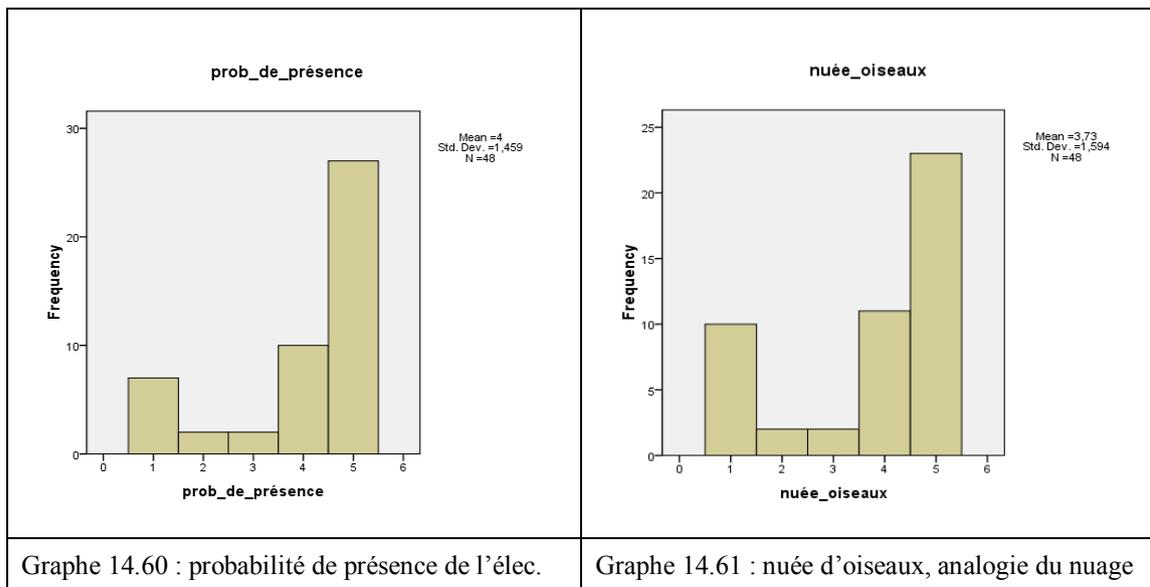
Graphe 14.57 : électron en dehors de la 1^{ère} orbite



Graphe 14.58 : l'atome presque vide

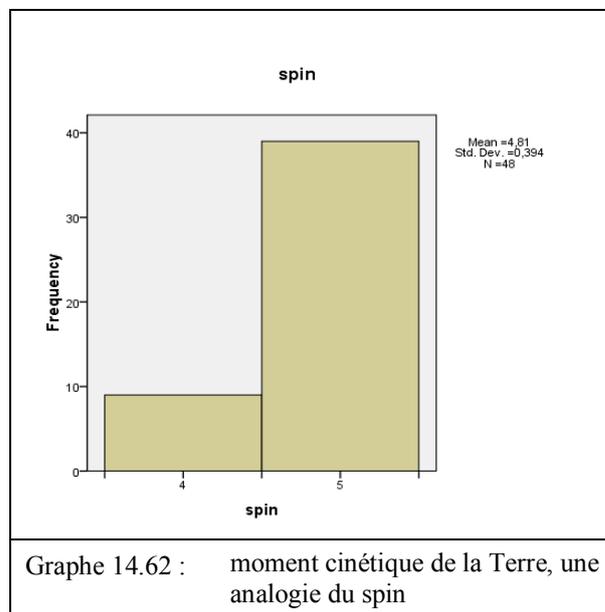


Graphe 14.59 : nuage él. = ensemble des couches



Graphe 14.60 : probabilité de présence de l'élec.

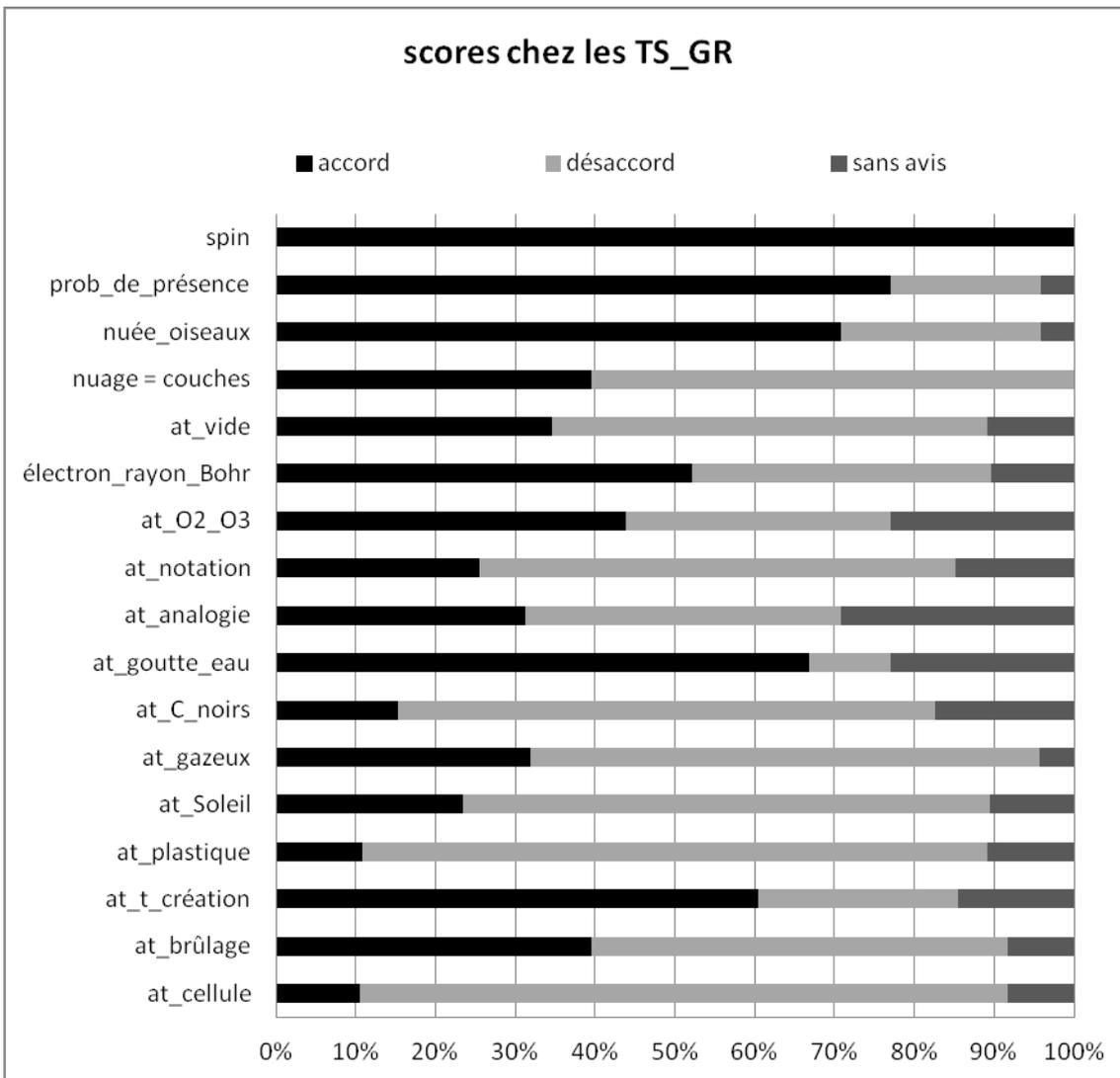
Graphe 14.61 : nuée d'oiseaux, analogie du nuage



Graphe 14.62 : moment cinétique de la Terre, une analogie du spin

Ces graphes montrent une sorte de trichotomie des sujets, puisque ceux-ci réussissent dans huit items (les 1, 4, 5, 6, 7, 10, 16 et 17⁵¹), échouent dans quatre propositions (les 3, 8, 13 et 15), tandis qu'ils se partagent sur autant de cas (les 2, 9, 11, 12 et 14). Si l'on demande un aperçu global des ces résultats, on peut considérer le graphe suivant :

⁵¹ À propos de cet énoncé, les réponses des enquêtés confirment tout simplement l'analogie spin – moment cinétique de la Terre, véhiculée dans la transposition grecque. De ce point de vue donc, nous considérons leur réaction comme allant dans le sens attendu. Certes, le spin étant nettement une notion quantique, n'a pas d'équivalent classique, ce qui échappe aux processus transpositifs.



Graphe 14.63 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

De façon absolue ou éminemment catégorique, les élèves expriment leur accord, par ordre d'adhésion, aux phrases 17, 16, 15, 8 et 3. Pareillement, leur opposition s'exprime envers les items 1, 4, 7, 5, 6 et 14. Enfin, presque 30 % des sujets ne confirment ni n'infirmement l'analogie proposée par la phrase 9 et, pour un peu moins de 23 %, ils sont dubitatifs à propos des propositions 8 et 11, comme si celles-ci étaient énigmatiques. Les opinions les plus consensuelles, positives ou négatives eu égard à une phrase donnée, sont les suivantes : 17, 1, 8 et 4. En revanche, une dispersion importante est observée notamment autour des items 12, 10, 15 et 13, si l'on prend en compte les données du tableau ci-dessous :

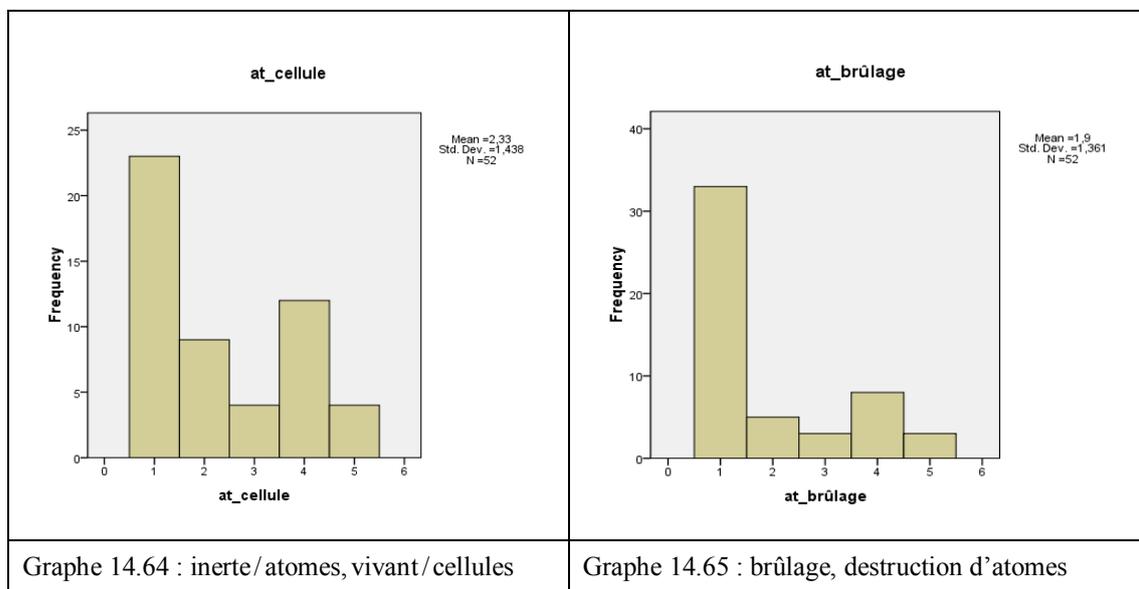
Tableau 14.13 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par variable, chez les grecs TS

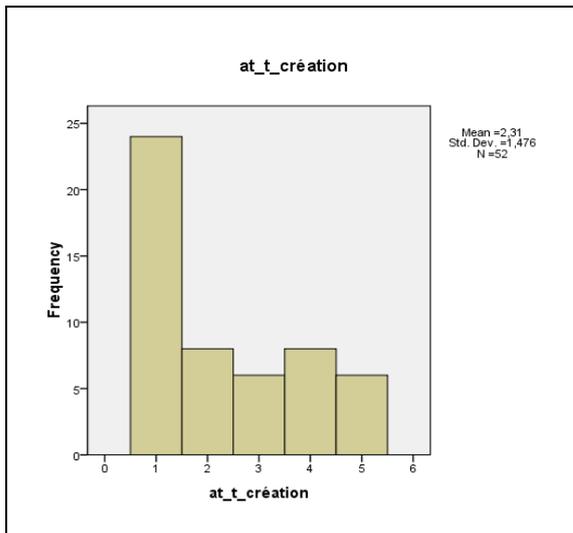
Statistics																	
	at_c ellul e	at_br ûlag e	at_t_c réatio n	at_pl astiqu e	at_S oleil	at_g azeu x	at_C _noir s	at_go utte_e au	at_an alogi e	at_n otatio n	at_O 2_O 3	électr on_ra yon_B ohr	at_v ide	nuage = couch es	nuée_ oiseau x	prob_ de_pr ésenc e	spin
N Valid	48	48	48	46	47	47	46	48	48	47	48	48	48	48	48	48	48
Missi ng	0	0	0	2	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Mean	1,65	2,69	3,42	1,91	2,28	2,55	2,09	3,71	2,85	2,26	3,23	3,25	2,88	2,40	3,73	4,00	4,81
Median	1,00	2,00	4,00	2,00	2,00	2,00	2,00	4,00	3,00	1,00	3,00	4,00	2,00	2,00	4,00	5,00	5,00
Std. Deviation	1,08 2	1,47 5	1,471	1,112	1,44 0	1,53 0	1,20 8	1,110	1,185	1,60 8	1,37 2	1,756	1,53 9	1,498	1,594	1,459	1,394
Variance	1,17 0	2,17 7	2,163	1,237	2,07 4	2,34 0	1,45 9	1,232	1,404	2,58 6	1,88 3	3,085	2,36 7	2,244	2,542	2,128	1,156

Les mêmes démarches statistiques conduisent aux résultats suivants concernant le groupe français.

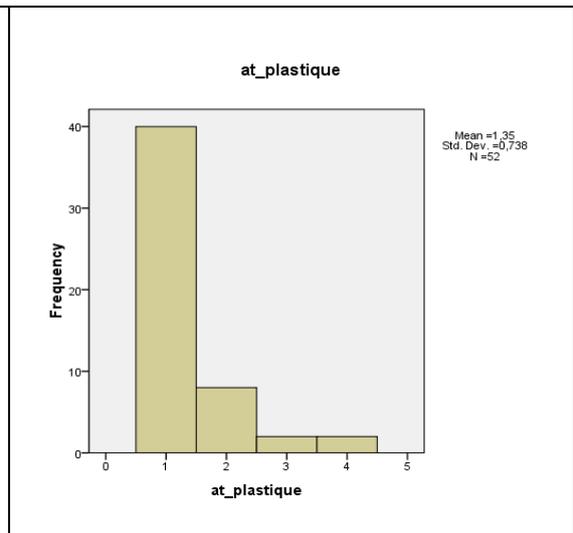
14.4.2 Français de TS (N = 52) – Comparaisons

Sont affichés ci-dessous les histogrammes visualisant les résultats issus des positionnements des français vis-à-vis des seize propositions qui leur ont été posées.

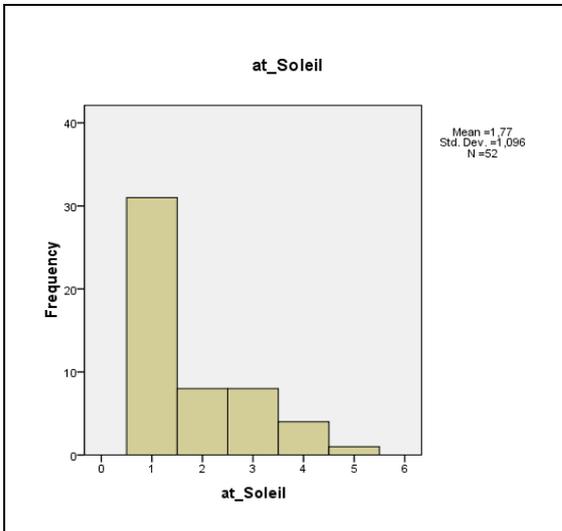




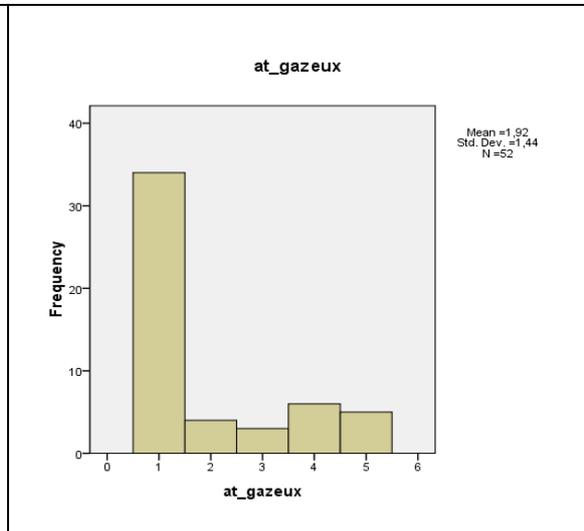
Graphe 14.66 : temps de création d'atomes, fœtus



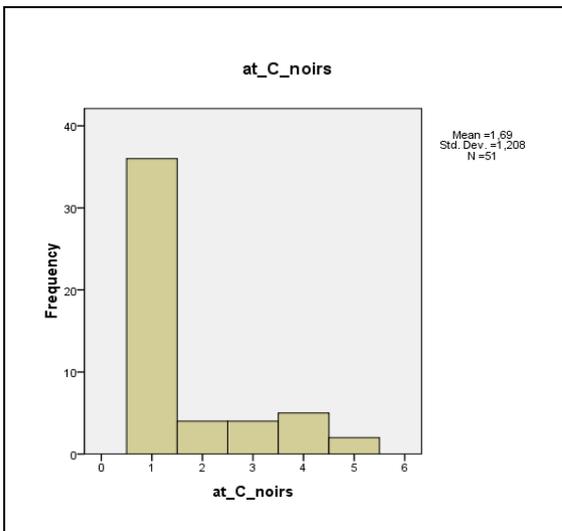
Graphe 14.67 : atomes de verre, de plastique...



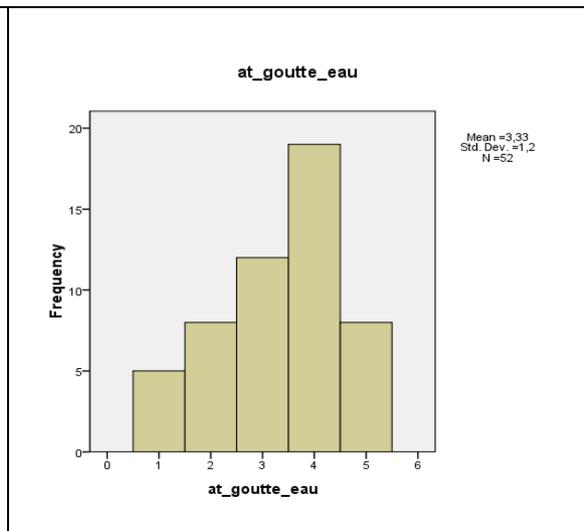
Graphe 14.68 : pas d'atomes au Soleil



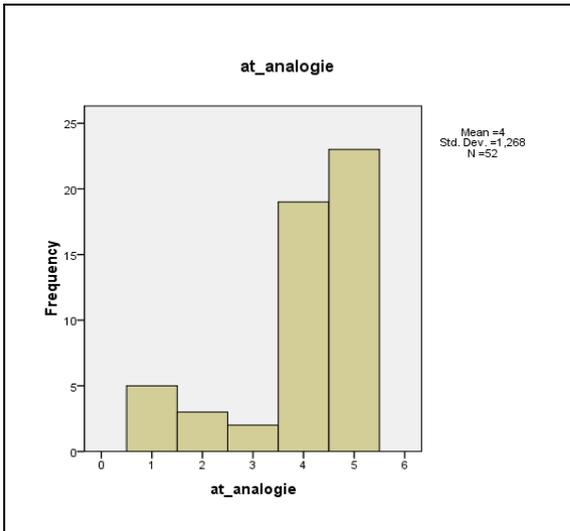
Graphe 14.69 : atomes d'O gazeux, de Fe solides



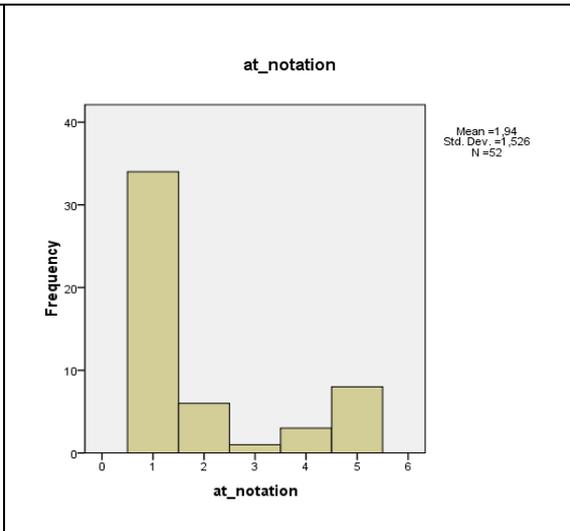
Graphe 14.70 : at. de carbone, noir et d'or, jaune



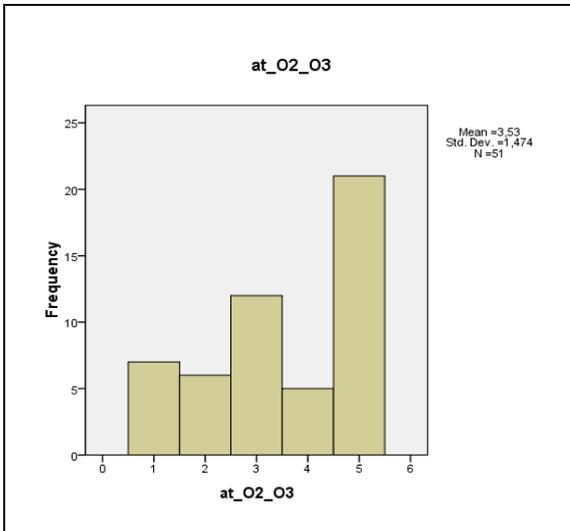
Graphe 14.71 : 10^6 at. dans une goutte d'eau



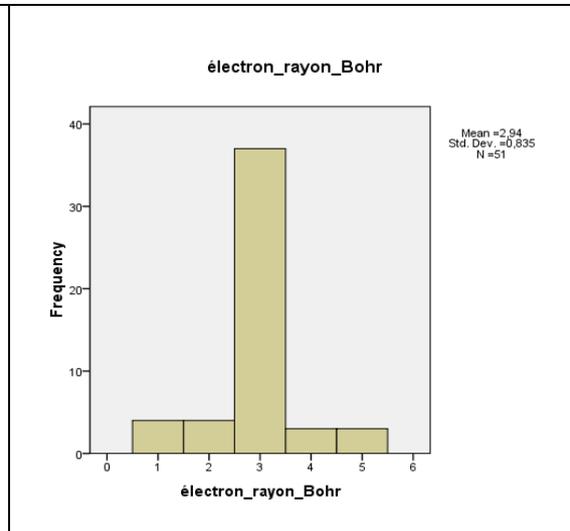
Graph 14.72 : analogie, balle de ping-pong



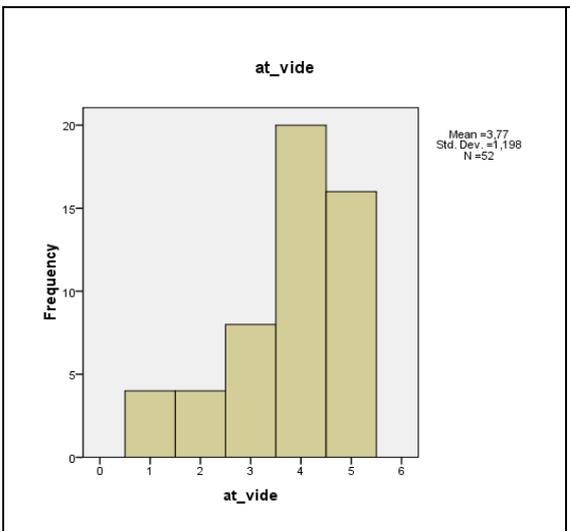
Graph 14.73 : notation de l'at. d'aluminium



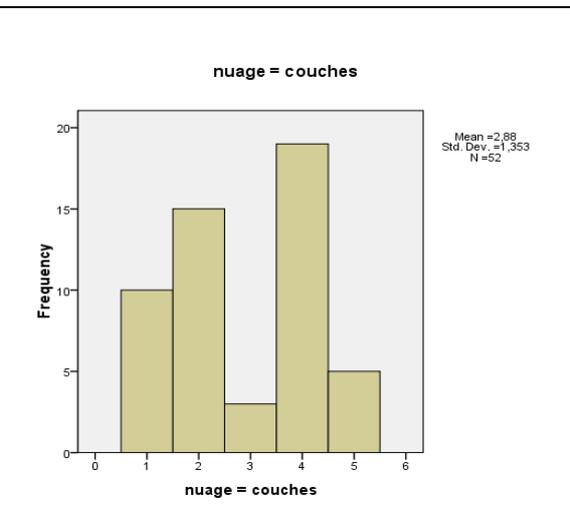
Graph 14.74 : mêmes at. dans dioxygène, ozone



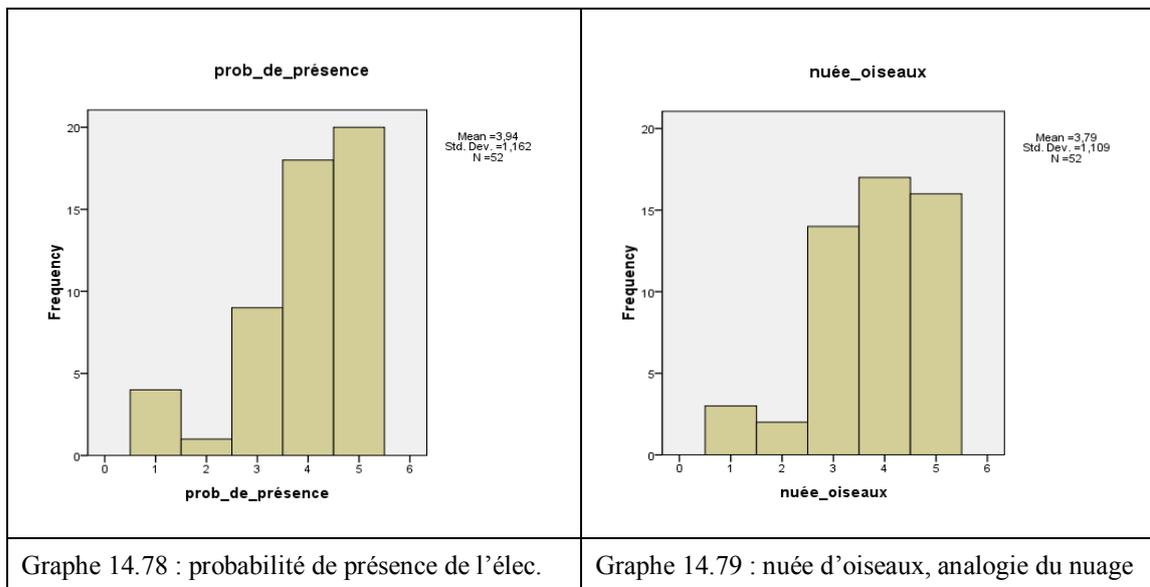
Graph 14.75 : électron en dehors de la 1^{ère} orbite



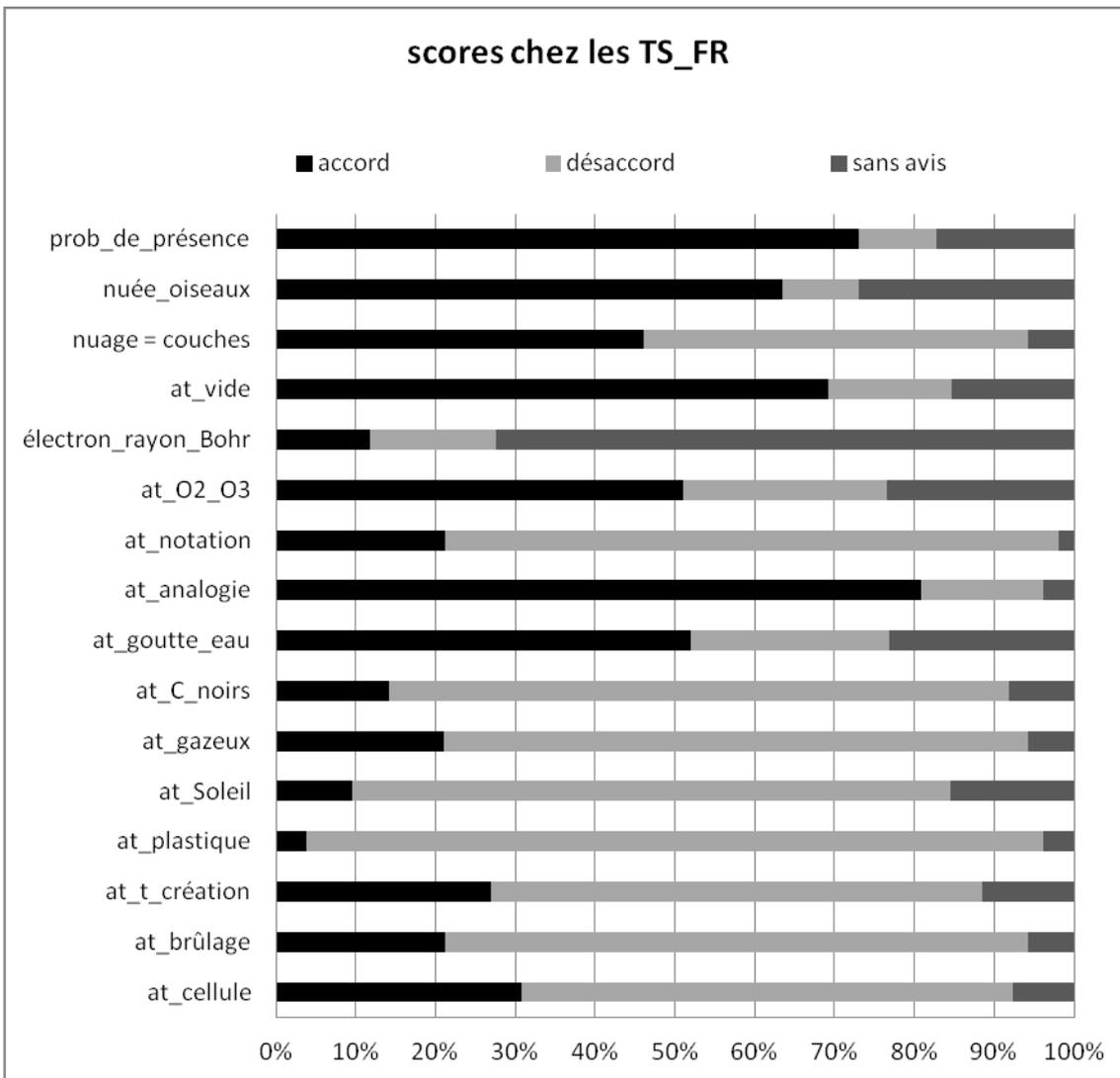
Graph 14.76 : atome presque vide



Graph 14.77 : nuage él. = ensemble des couches



Leurs réponses s'avérant clairement plus performantes que celles des grecs, les français en effet réussissent à toutes les propositions, sauf les 8 et 15, où la plupart d'entre eux se trompent. Quant aux phrases 12 et 14, ils hésitent et se rangent massivement vers la modalité centrale neutre, ou se partagent en deux parties contradictoires. Toutefois, nous rappelons que les énoncés 12, 14, 15 et 16 relèvent du modèle ondulatoire de l'atome, qui est hors programmes français, malgré les quelques références passagères au « nuage électronique » à travers quelques manuels de physique-chimie. En nous référant au graphique d'à côté, les items qui obtiennent l'approbation des sujets la plus importante sont, par ordre décroissant, les suivants : 9, 16, 13, 15, 8 et 11. En revanche, autour des propositions 4, 10, 5, 7, 2 et 6, nous observons une opposition exprimée par plus de deux élèves sur trois. Enfin, les scores les plus élevés au sein de la modalité neutre sont atteints par les énoncés 12, 15, 11 et 8.



Graphe 14.80 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

Par ordre croissant, les écarts-types faibles, ou réciproquement les propositions d'unanimité importante parmi les répondants sont les 4, 12, 5 et 15, tandis qu'aux antipodes se trouvent les 10, 3, 11 et 6, items pour lesquels les opinions présentent une dispersion accrue (cf. tableau 14.14, ci-dessous).

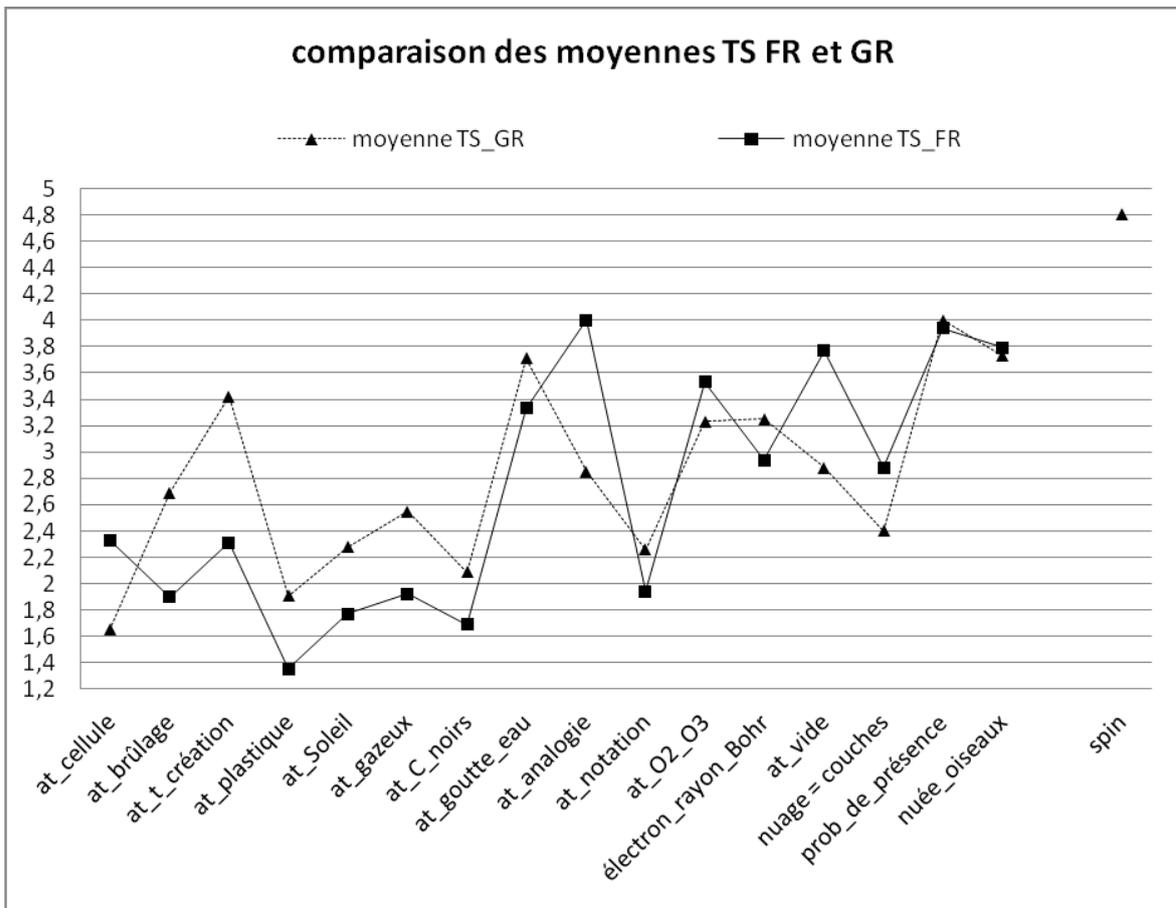
Tableau 14.14 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par variable, chez les français

TS

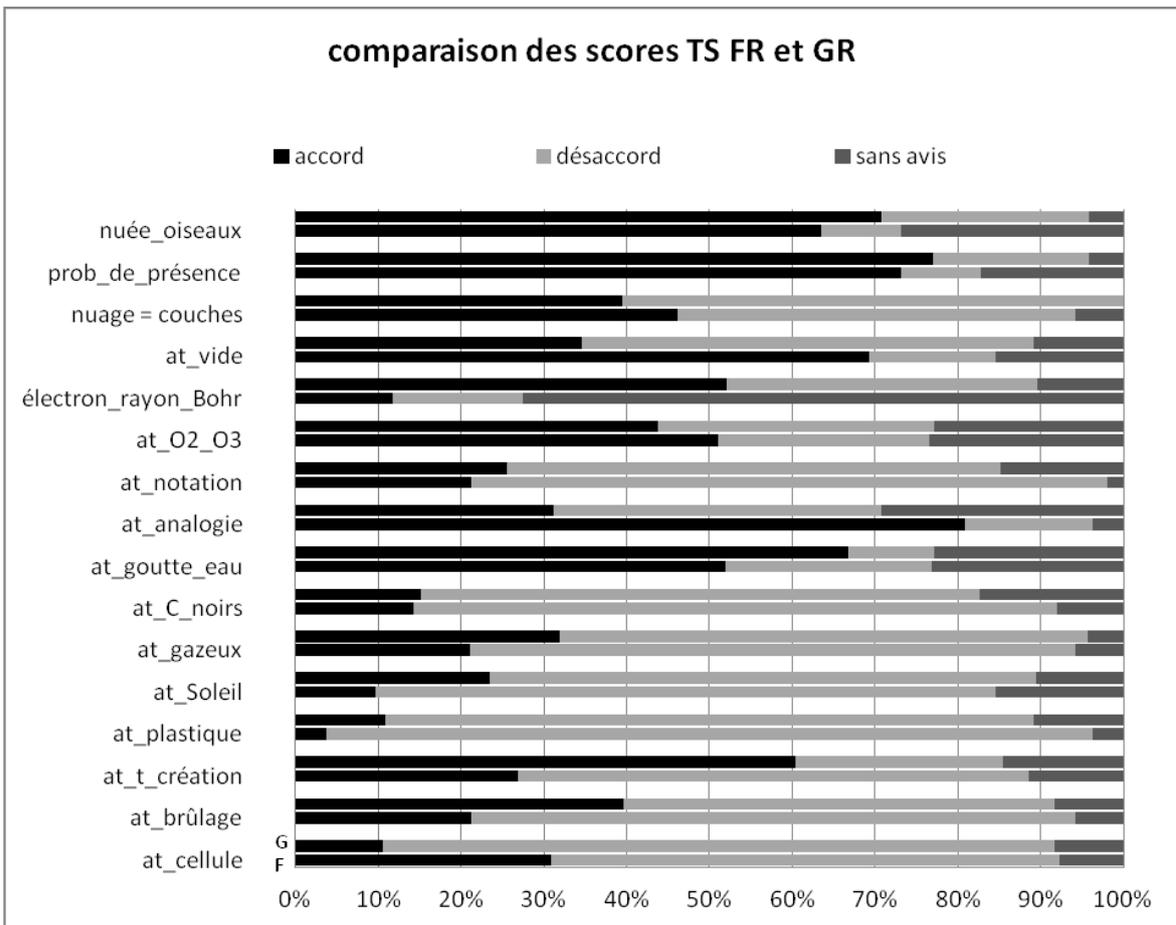
Statistics

	at_c ellule	at_br ûlage	at_t_c réatio n	at_pla stique	at_S oleil	at_g azeu x	at_C noir s	at_gou tte_ea u	at_an alogie	at_no tation	at_O 2_O3	électro n_rayo n_Bohr	at_vi de	nuage = couch es	nuée_ oiseau x	prob_d e_prés ence
N Valid	52	52	52	52	52	52	51	52	52	52	51	51	52	52	52	52
Missi ng	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Mean	2,33	1,90	2,31	1,35	1,77	1,92	1,69	3,33	4,00	1,94	3,53	2,94	3,77	2,88	3,79	3,94
Median	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	4,00	4,00	1,00	4,00	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00
Std. Deviation	1,43 8	1,361	1,476	,738	1,09 6	1,44 0	1,208	1,200	1,268	1,526	1,47 4	,835	1,19 8	1,353	1,109	1,162
Variance	2,06 7	1,853	2,178	,544	1,20 1	2,07 2	1,460	1,440	1,608	2,330	2,17 4	,696	1,43 6	1,830	1,229	1,350

Les graphes suivant nous offrent un point de vue comparatif entre les français et les grecs :



Graph 14.81 : Comparaisons des moyennes françaises et grecques. En général, plus la moyenne est forte, plus il y a accord avec la proposition concernée

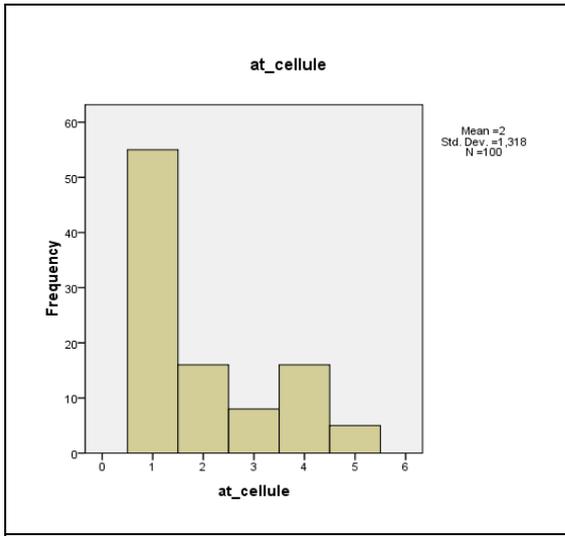


Graphe 14.82 : Résultats comparatifs après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

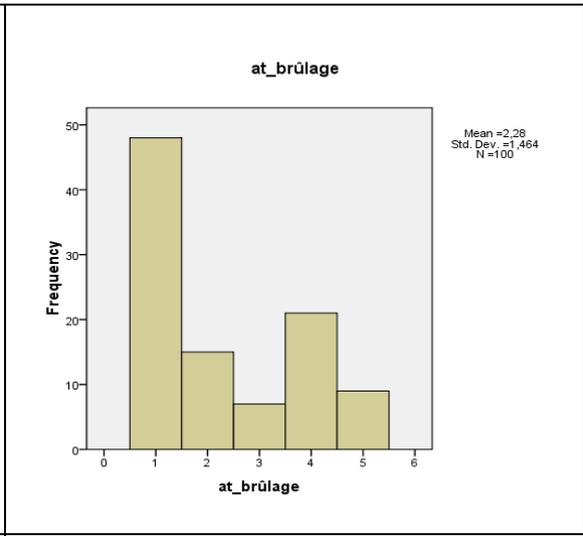
Pour construire un aperçu de l'ensemble des élèves en TS et pour ainsi calculer les Chi 2, nous avons fusionné les groupes français et grec et extrait, sur SPSS, les résultats donnés dans le paragraphe suivant.

14.4.3 Ensemble de TS (N = 100)

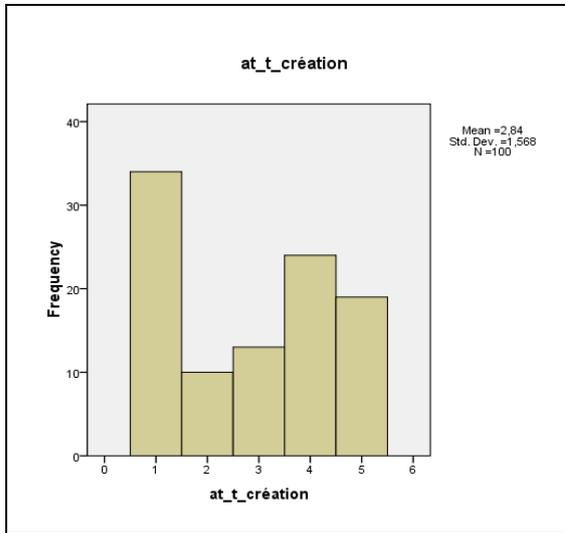
Les histogrammes visualisant les résultats du groupe de TS ou, selon l'appellation auparavant adoptée, de l'échantillon spécifique se présentent comme suit :



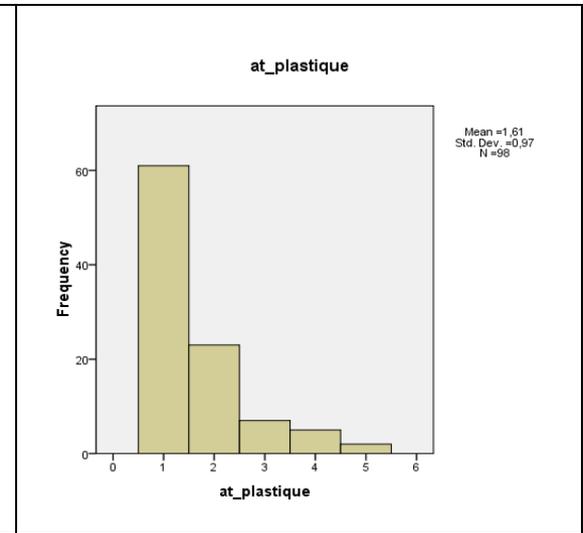
Graph 14.83 : inerte/atomes, vivant/cellules



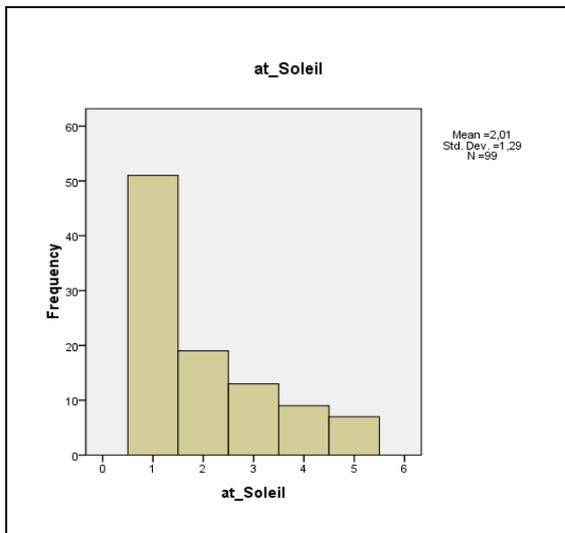
Graph 14.84 : brûlage, destruction d'atomes



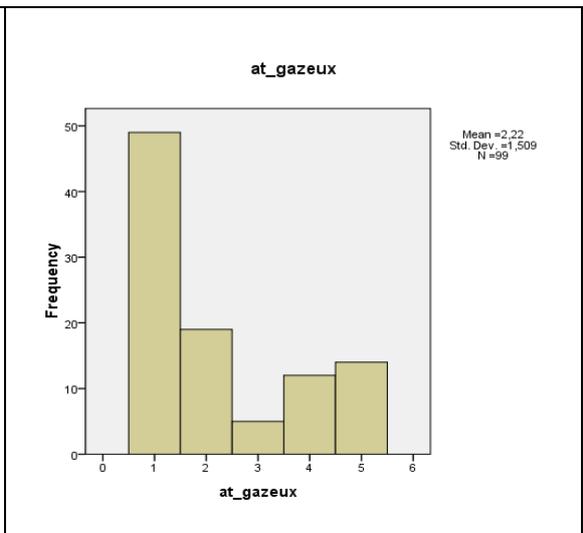
Graph 14.85 : temps de création d'atomes, fœtus



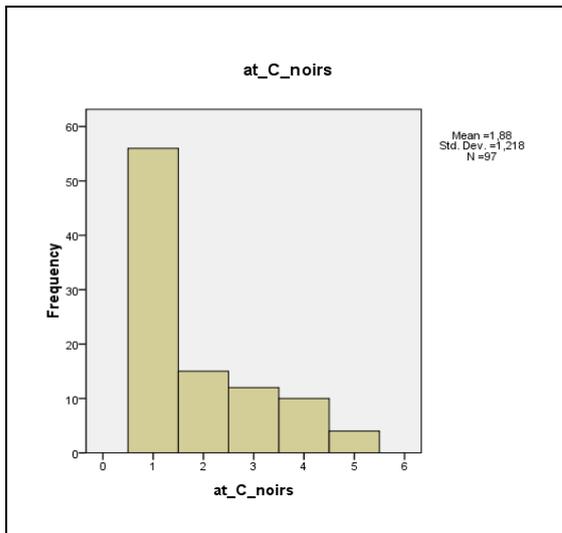
Graph 14.86 : atomes de verre, de plastique...



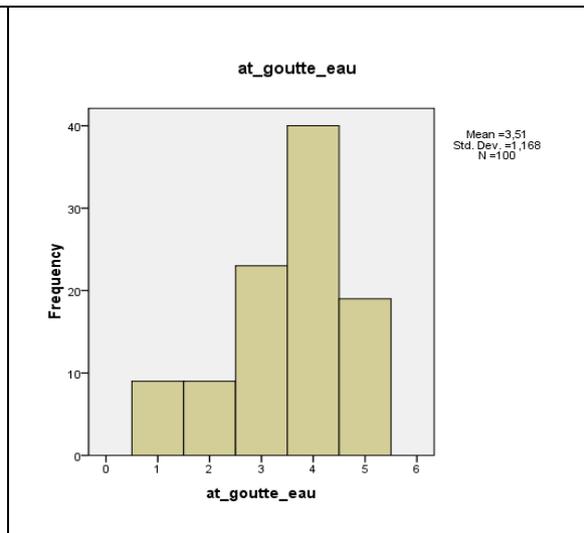
Graph 14.87 : pas d'atomes au Soleil



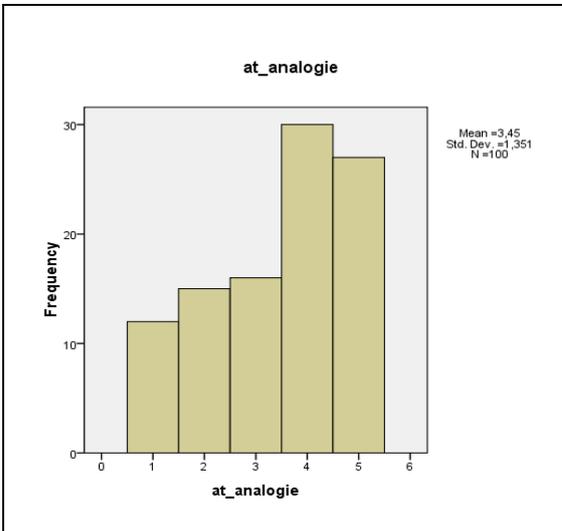
Graph 14.88 : atomes d'O gazeux, de Fe solides



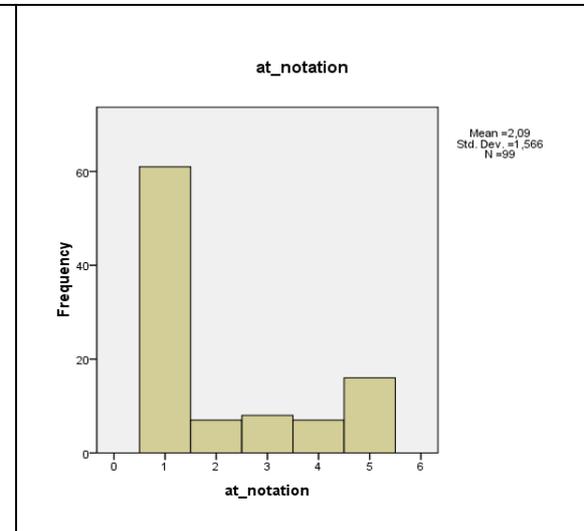
Graphe 14.89 : at. de carbone, noir et d'or, jaune



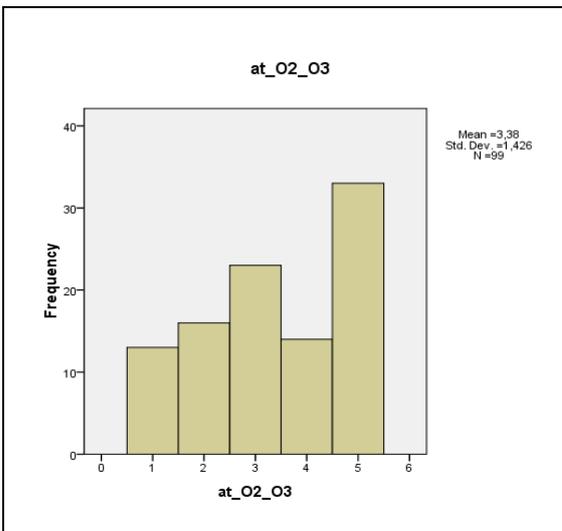
Graphe 14.90 : 10^6 at. dans une goutte d'eau



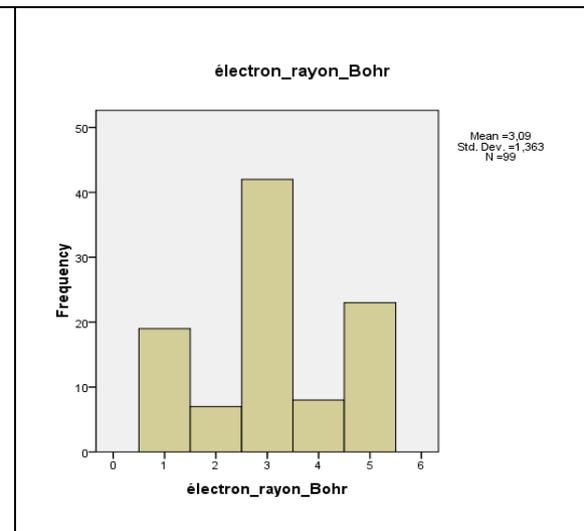
Graphe 14.91 : analogie, balle de ping-pong



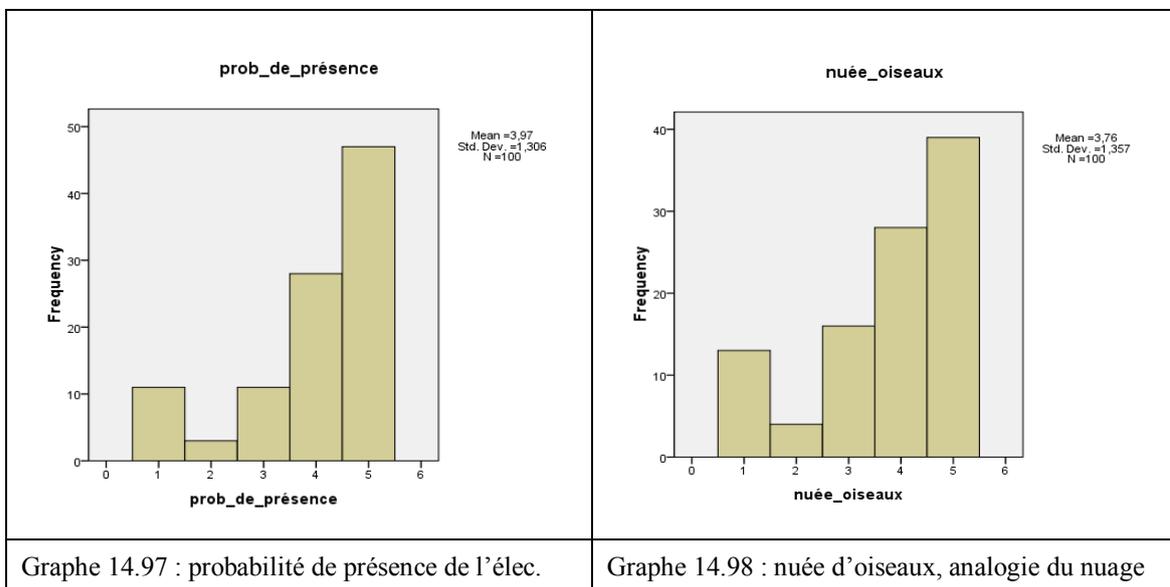
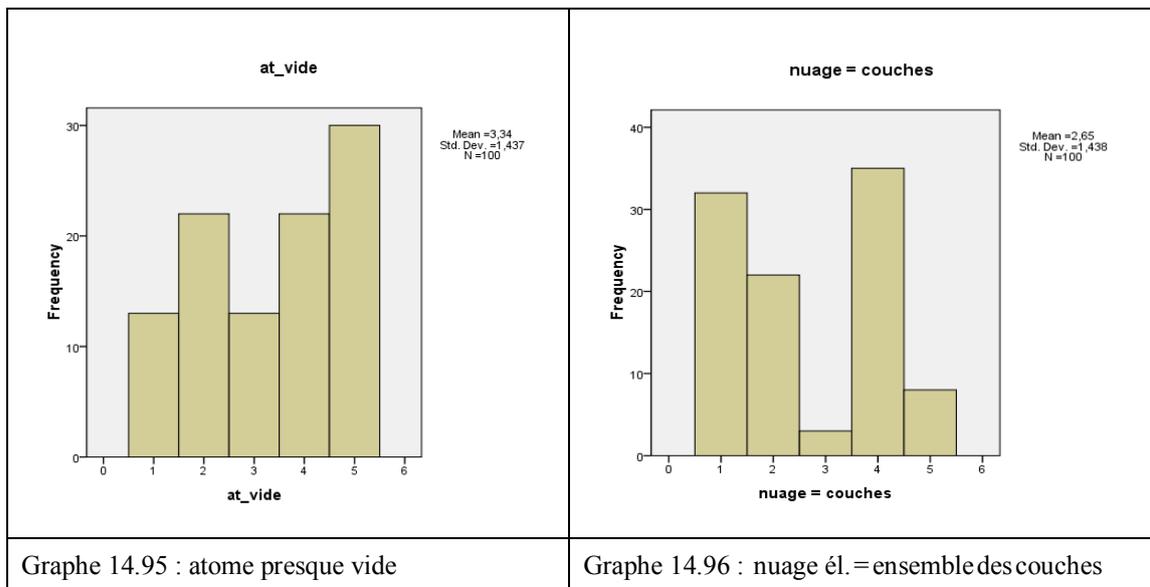
Graphe 14.92 : notation de l'at. d'aluminium



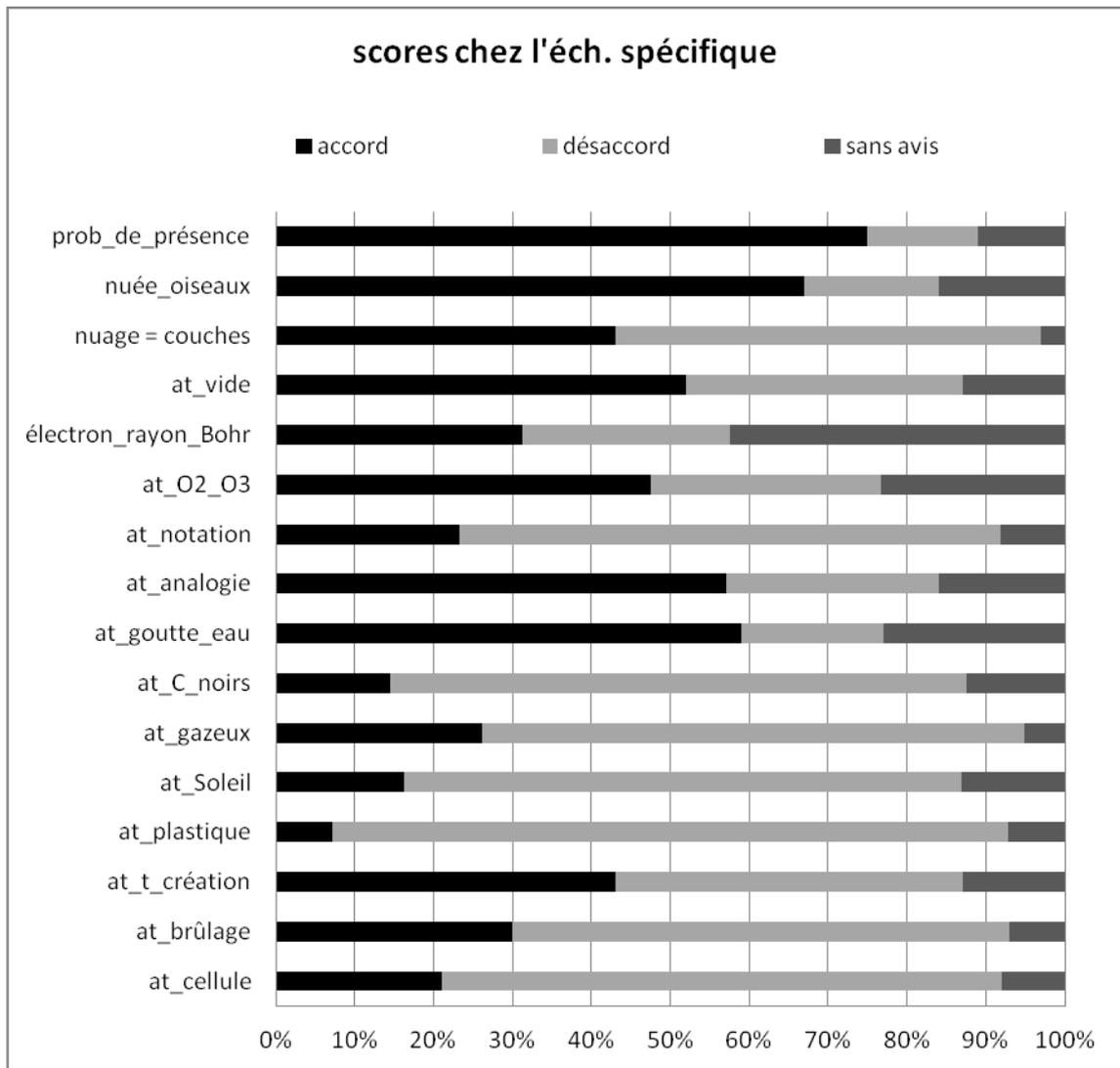
Graphe 14.93 : mêmes at. dans dioxygène, ozone



Graphe 14.94 : électron en dehors de la 1^{ère} orbite



Puisque ces graphes ne constituent qu'en fait une synthèse des graphes homologues grecs et français, que l'on a déjà commentés, nous procédons à la distribution des scores entre les trois modalités réduites, telle que visualisée par le graphique qui suit :



Graphe 14.99 : Résultats après fusion des deux modalités d'accord et des deux autres de désaccord

Pour clore la description statistique des réponses, nous fournissons ci-dessous le tableau nous informant principalement des valeurs de la moyenne et de l'écart-type. De fait, un consensus très solide parmi les opinions est observé à propos des items 4, 8 et 5, alors que face aux énoncés 3, 10 et 6 on peut repérer les jugements les plus divergents parmi les participants.

Tableau 14.15 : Moyenne, médiane, écart-type et variance par variable, chez l'échantillon spécifique

Statistics

	at_c ellule	at_br ûlage	at_t_c réatio n	at_pla stique	at_S oleil	at_g azeu x	at_C _noir s	at_gou tte_ea u	at_an alogie	at_no tation	at_O 2_O3	élec tro n_rayo n_Bohr	at_vi de	nuage = couch es	nuée_ oiseau x	prob_d e_prés ence
N Valid	100	100	100	98	99	99	97	100	100	99	99	99	100	100	100	100
Missin g	0	0	0	2	1	1	3	0	0	1	1	1	0	0	0	0
Mean	2,00	2,28	2,84	1,61	2,01	2,22	1,88	3,51	3,45	2,09	3,38	3,09	3,34	2,65	3,76	3,97
Median	1,00	2,00	3,00	1,00	1,00	2,00	1,00	4,00	4,00	1,00	3,00	3,00	4,00	2,00	4,00	4,00
Std. Deviation	1,31 8	1,464	1,568	,970	1,29 0	1,50 9	1,218	1,168	1,351	1,566	1,42 6	1,363	1,43 7	1,438	1,357	1,306
Variance	1,73 7	2,143	2,459	,941	1,66 3	2,27 7	1,485	1,364	1,826	2,451	2,03 5	1,859	2,06 5	2,068	1,841	1,706

Enfin, nous passons aux calculs du test Chi 2 sous le prisme desquels nous allons mesurer l'interdépendance ou non entre les variables indépendantes et les résultats extraits. Le tableau suivant synthétise ces résultats :

Tableau 14.16 : Influence des modalités des variables indépendantes sur les résultats

variable indépendante VI	variable dépendante VD	Chi 2	ddl	valeur de p
origine	at_brûlage	10,607	4	.031
	at_t_création	14,551	4	.006
	at_plastique	11,209	4	.024
	at_gazeux	14,864	4	.005
	at_analogie	30,125	4	.000
	élec_rayon_Bohr	43,907	4	.000
	at_vide	26,267	4	.000
	nuage = couches	11,024	4	.026
	nuée_oiseaux	15,176	4	.004
sexe	at_cellule	12,010	4	.017
	at_Soleil	12,755	4	.013
	at_goutte_eau	14,407	4	.006
	at_O2_O3	19,286	4	.001
	nuage = couches	9,645	4	.047

14.5 Question 5

Par ses quinze propositions cette question de type « caractérisation », exclusivement destinée aux élèves de TS, vise à détecter leurs conceptions relatives aux caractéristiques du modèle atomique qui est la leur bien après enseignement. Comme auparavant, nous présentons les scores correspondant à la moyenne et aux trois modalités, « plus caractéristique », « non choisi » et « moins caractéristique », pour les deux sous-ensembles, français et grec, et, pour l'échantillon spécifique d'ensemble.

14.5.1 Français TS (N = 52) et Grecs TS (N = 48)

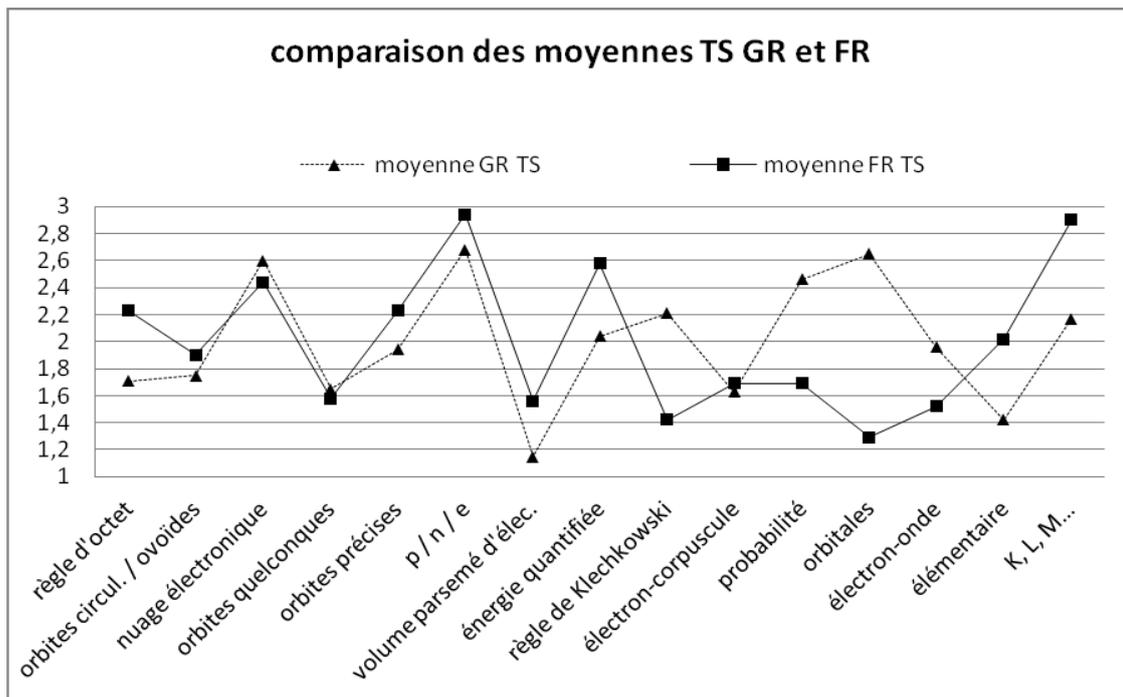
Dans le tableau 14.17 sont rassemblés, de manière comparative, les scores des modalités par item :

Tableau 14.17 : Représentativité des items de caractérisation, chez les grecs et français de

TS

items	plus caract.		non choisi		moins caract.		moyenne	
	GR	FR	GR	FR	GR	FR	GR	FR
règle de l'octet	20,8	42,3	29,2	38,5	50,0	19,2	1,71	2,23
orbites circul. / ovoïdes	25,0	28,8	25,0	32,7	50,0	38,5	1,75	1,90
nuage électronique	64,6	59,6	31,3	25	4,2	15,4	2,60	2,44
orbites quelconques	10,4	5,8	43,8	46,2	45,8	48,1	1,65	1,58
orbites précises	29,2	42,3	35,4	38,5	35,4	19,2	1,94	2,23
p / n / e	76,6	94,2	14,9	5,8	8,5	0,0	2,68	2,94
volume parsemé d'électrons	2,1	15,4	10,6	25,0	87,2	59,6	1,15	1,56
énergie quantifiée	29,2	67,3	45,8	23,1	25,0	9,6	2,04	2,58
règle de Klechkowski	38,3	1,9	44,7	38,5	17,0	59,6	2,21	1,42
électron-corpuscule	2,1	7,7	58,3	53,8	39,6	38,5	1,63	1,69
probabilité	54,2	9,6	37,5	50,0	8,3	40,4	2,46	1,69
orbitales	70,8	0,0	22,9	28,8	6,3	71,2	2,65	1,29
électron-onde	27,1	11,5	41,7	28,8	31,3	59,6	1,96	1,52
élémentaire	10,4	21,2	20,8	59,6	68,8	19,2	1,42	2,02
K, L, M...	35,4	92,3	45,8	5,8	18,8	1,9	2,17	2,90

Un aspect comparatif entre les valeurs associées aux moyennes grecque et française par item envisagé nous est donné par le graphe 14.100, ci-dessous :

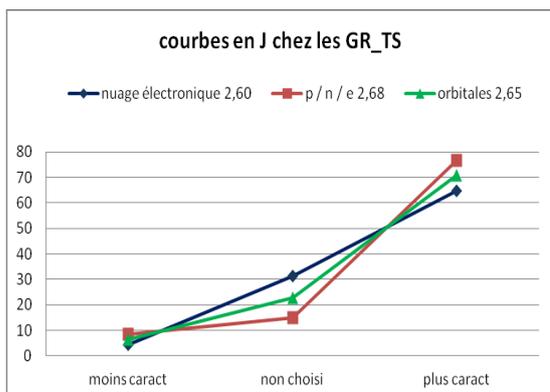


Graph 14.100 : Point de vue comparatif de la moyenne par item, chez les grecs et les français de TS

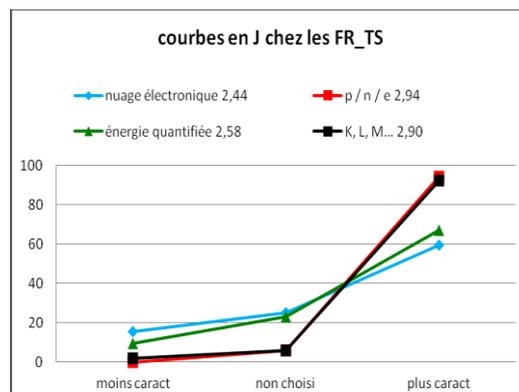
En règle générale, les deux groupes se positionnent de manière divergente à l'exception de quatre propositions, les 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème} et 10^{ème} pour lesquelles la différence des moyennes est inférieure à 0,2. Sur encore quatre items, les 1^{er}, 5^{ème}, 6^{ème} et 13^{ème}, les moyennes s'écartent au plus de 0,52. Pour ce qui concerne les décalages les plus grands, nous remarquons que :

1. Les deux items les plus saillants sont les 6^{ème} et 12^{ème} pour les grecs et, les 6^{ème} et 15^{ème} pour les français qui placent le 12^{ème} item en dernier rang. Dès cette première observation nous assistons à une démarcation de paradigme apparente quant à la modélisation de l'atome entre les grecs et les français, d'autant plus que parmi toutes les propositions issues du modèle ondulatoire (*i.e.* items 3, 11, 12 et 13, graphe 14.100) les moyennes grecques se trouvent systématiquement plus élevées. À l'inverse, les items 1, 5 et 15, liés au modèle classique, gagnent du terrain chez les français, alors qu'ils semblent être parmi les non choisis, chez les grecs ;
2. Pour les deux groupes, les modèles plus anciens (cf. items 2, 4^{et} 7 décrivant les modèles de Sommerfeld, Rutherford et Thomson respectivement) sont soit non choisis, soit très peu caractéristiques de l'atome.

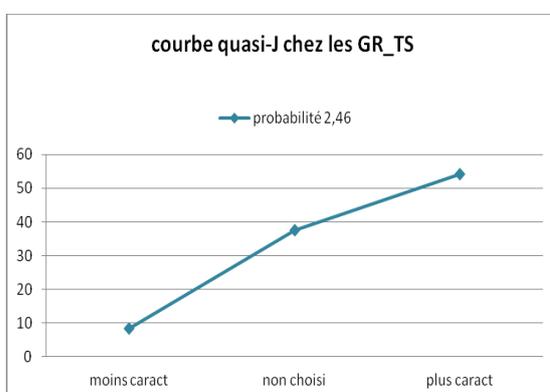
S'agissant des propositions fort représentatives ou jouant un rôle périphérique, les courbes de fréquence sont fournies dans les graphes suivants :



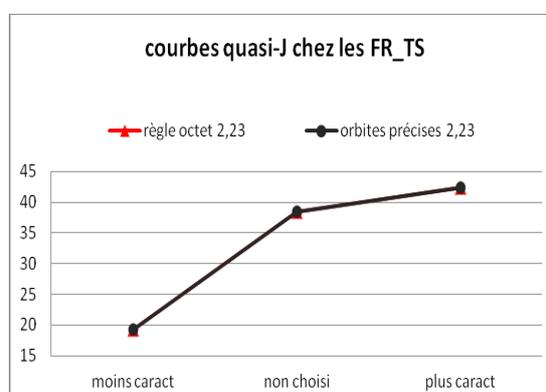
Graph 14.101 : éléments représentatifs



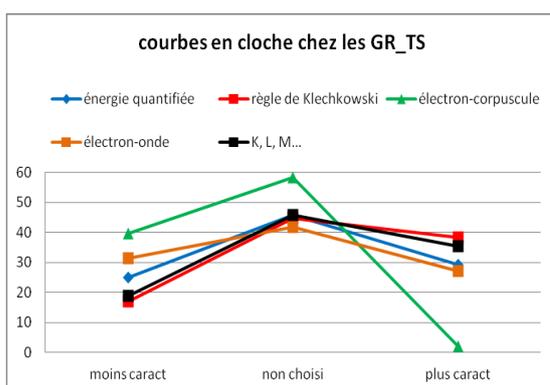
Graph 14.102 : éléments représentatifs



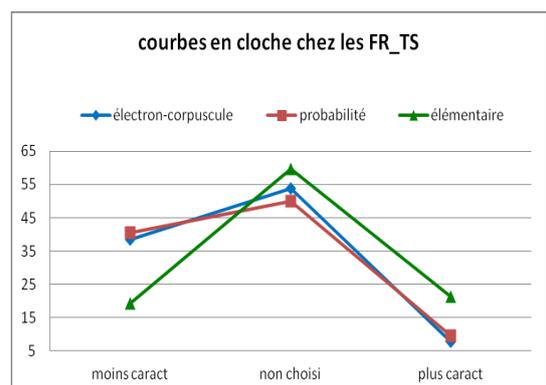
Graph 14.103 : élément plutôt représentatif



Graph 14.104 : éléments (coïncidents) plutôt représentatifs



Graph 14.105 : éléments périphériques



Graph 14.106 : éléments périphériques

Il ressort de ces graphes que les constituants de l'atome et la notion de nuage électronique font l'objet d'éléments caractéristiques pour les deux groupes. En outre, les items également « ondulatoires », les 11 et 12, mais non pas le 13, viennent compléter la

selection des traits caractéristiques de l'atome, notamment chez les grecs. Par ailleurs, le paradoxe que l'item 13, « électron-onde », constitue un élément périphérique ou bien sans rapport avec l'atome, nous laisse inférer que, le cas échéant, le « nuage électronique » donnant des courbes en J (cf. graphes 14.101 et 14.102) fonctionne, même chez les grecs, comme leitmotiv, c'est-à-dire, dénué du sens probabiliste qu'il peut assurer au sein de l'approche ondulatoire. Ces courbes illustrent, encore une fois, l'ancrage des français sur des éléments du modèle de Bohr, tandis que chez les grecs priment les traits atomiques étudiés par la mécanique quantique moderne. En résumé, la coexistence de conceptions d'une part, classiques et, d'autre part, ondulatoires, comme on le voit dans les courbes de représentativité, témoignent de l'élaboration par les élèves d'un modèle atomique hybride nourri d'éléments disparates.

Passons maintenant aux résultats obtenus après avoir fusionné les deux groupes, bien que cette opération ne permette pas de tirer des conclusions pratiques, compte tenu de l'hétérogénéité forte entre les deux groupes d'élèves (séparés dans la pérennité) causée par les différences dévoilées.

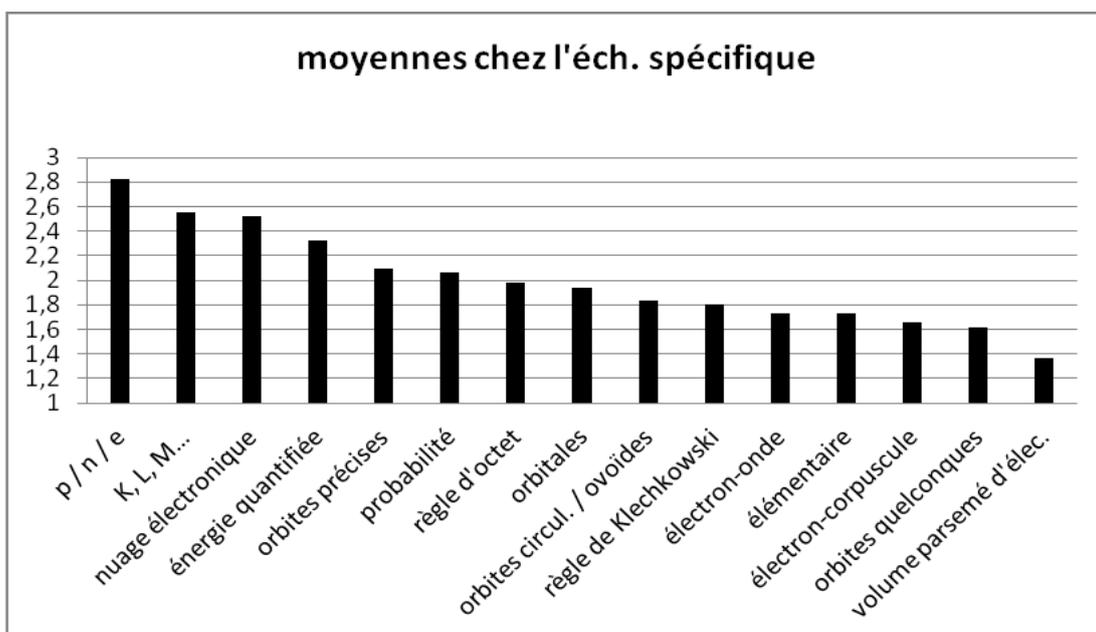
14.5.2 Ensemble de TS (N = 100)

Les résultats de la démarche statistique pour l'intégralité de l'échantillon spécifique apparaissent dans le tableau 14.18, ci-dessous :

Tableau 14.18 : Représentativité des items de caractérisation, chez l'ensemble spécifique

items	plus caract.	non choisi	moins caract.	moyenne
règle de l'octet	32,0	34,0	34,0	1,98
orbites circul. / ovoïdes	27,0	29,0	44,0	1,83
nuage électronique	62,0	28,0	10,0	2,52
orbites quelconques	8,0	45,0	47,0	1,61
orbites précises	36,0	37,0	27,0	2,09
p / n / e	85,9	10,1	4,0	2,82
volume parsemé d'électrons	9,1	18,2	72,7	1,36
énergie quantifiée	49,0	34,0	17,0	2,32
règle de Klechkowski	19,2	41,4	39,4	1,80
électron-corpuscule	5,0	56,0	39,0	1,66
probabilité	31,0	44,0	25,0	2,06
orbitales	34,0	26,0	40,0	1,94
électron-onde	19,0	35,0	46,0	1,73
élémentaire	16,0	41,0	43,0	1,73
K, L, M...	65,0	25,0	10,0	2,55

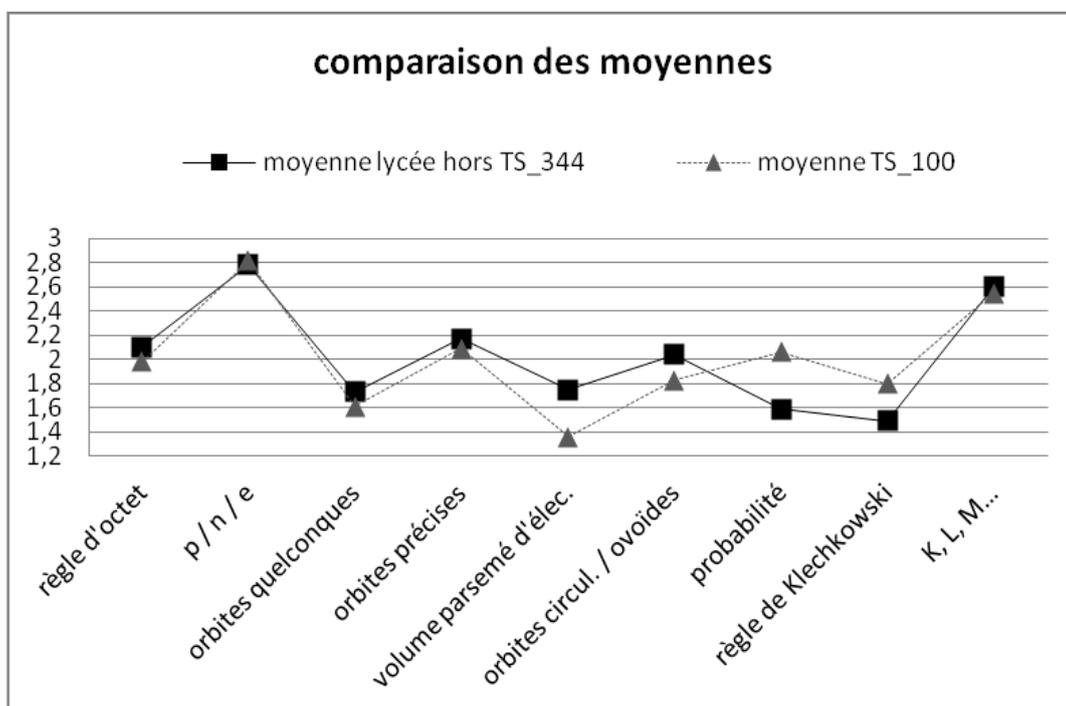
Le graphe suivant représente en histogramme les moyennes par ordre de décroissance en ce qui concerne l'échantillon spécifique auprès duquel la question 5, que nous abordons dans ce paragraphe, à été uniquement posée :



Graphe 14.107 : Moyennes par item triées par ordre décroissant, pour l'échantillon spécifique

Nous assistons donc à une course de concurrence entre deux conceptions à propos de l'atome : l'approche classique dont l'item « couches K, L, M... » arrive à peine devant le « nuage électronique » qui est issu de l'approche probabiliste. Néanmoins, ce dernier syntagme se trouve assez médiatisé au sein de la transposition aussi bien française que grecque – notamment par des figures illustrant une sphère aux nuances de gris –, sans pour autant, dans les manuels, que soit suffisamment explicite pour l'électron, son rapport physique avec l'idée de dualité corpuscule-onde. C'est pour cela que l'item 13, « électron-onde », recule vers la zone de faible représentativité.

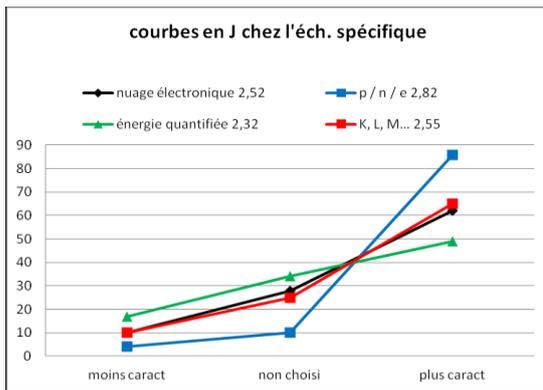
À partir des neuf items qui sont communément proposés aux élèves à la fois de l'échantillon lycée hors TS et de l'échantillon spécifique (composé de 100 élèves de TS), nous tentons de comparer les moyennes, puis les courbes de représentativité. Ainsi, le graphe 14.108 illustre la juxtaposition des moyennes :



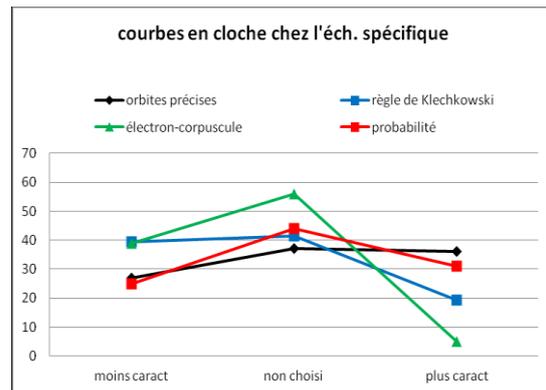
Graphe 14.108 : Aspects comparatifs entre les moyennes d'un même item

En effet, nous retrouvons les items leaders, « p / n / e », « couches K, L, M... » et, secondairement, « orbites précises », obtenant les valeurs les plus élevées chez l'échantillon spécifique. La montée importante des items « probabilité » et « règle de Klechkowski », relativement à leurs moyennes à l'intérieur de l'échantillon lycée hors TS, est principalement due aux réactions des grecs de TS qui étudient des éléments de physique quantique moderne. Par rapport à certaines propositions de la liste destinée aux lycéens hors TS, mais non mentionnées dans la version « Terminale S », comme par exemple, « tableau périodique » ou « transitions électroniques », nous regrettons d'avoir choisi de les retirer au profit d'autres qui, en définitive, n'ont pas été assez fécondes du point de vue de la recherche, comme les items 2 et 14 (cf. annexe 3, question 5).

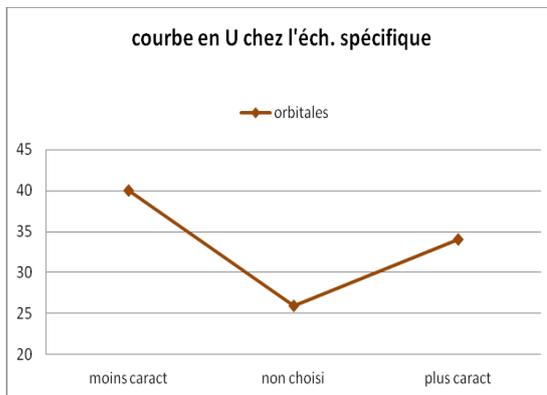
Enfin, les graphes suivants fournissent les courbes de fréquence discernant ainsi les éléments caractérisant le mieux l'atome des autres, peu caractéristiques, ou sans rapport avec l'objet en question, ou encore dichotomiques :



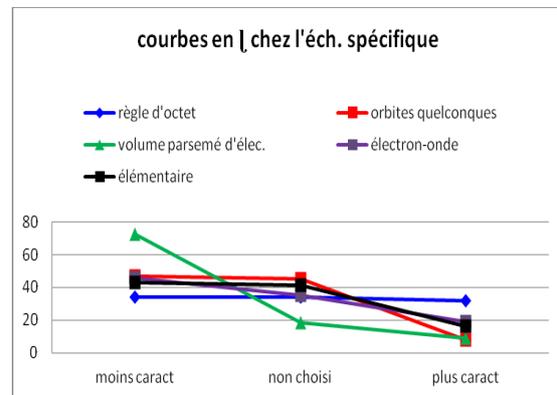
Graph 14.109 : éléments représentatifs



Graph 14.110 : éléments périphériques



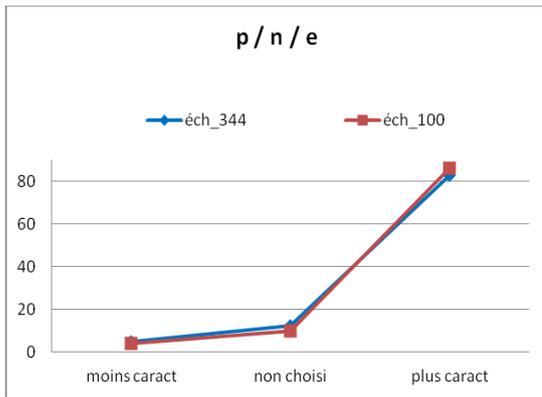
Graph 14.111 : élément dichotomique



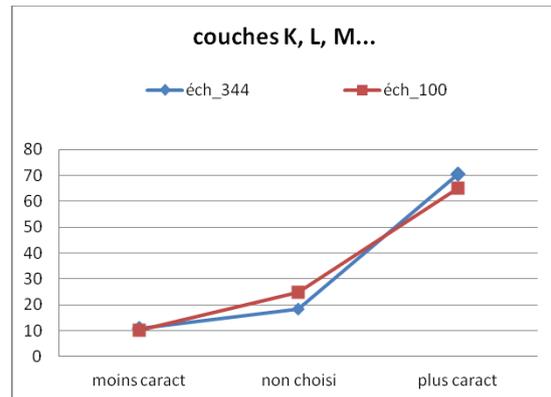
Graph 14.112 : éléments sans rapport

Les éléments représentatifs et périphériques étant plus ou moins attendus, d'après l'analyse des graphes des grecs et des français, nous commentons la courbe du graph 14.111 : cette forme en U témoigne de l'existence d'un sous-groupe qui fait de cet item un élément représentatif de la représentation. Effectivement, il s'agit des grecs dont 70 % l'ont choisi parmi les plus caractéristiques.

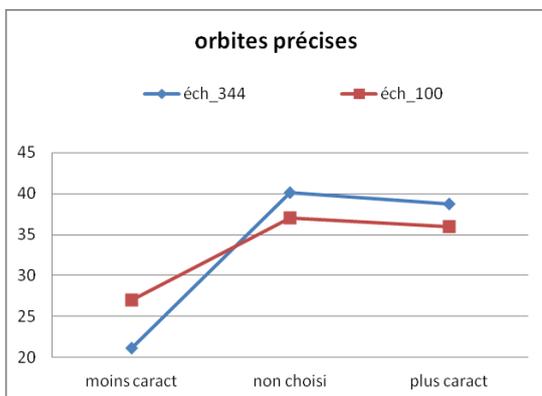
Par la suite, nous portons notre attention sur les graphes de représentativité concernant certains items, communément proposés aux élèves des échantillons lycée hors TS (344 élèves) et spécifique (100 élèves), qui nous offrent un aperçu de l'évolution effectuée :



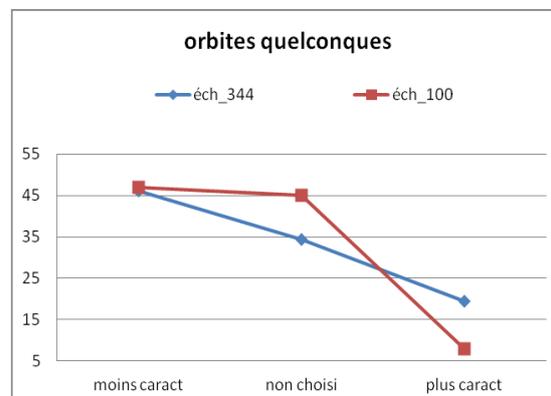
Graph 14.113 : courbes en J, élément représentatif



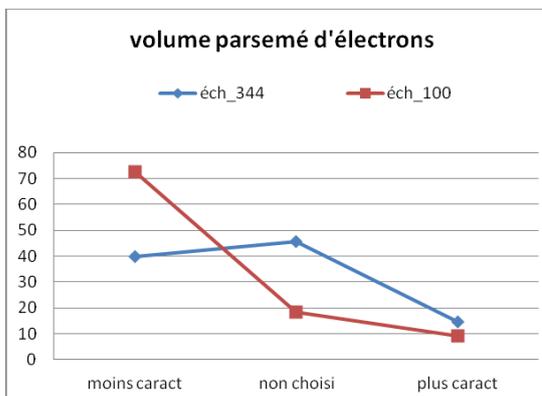
Graph 14.114 : courbes en J, élément représentatif



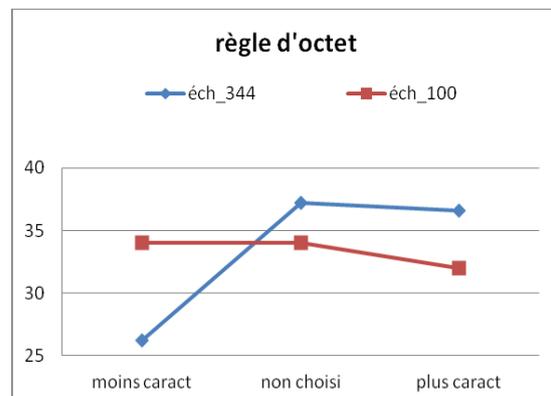
Graph 14.115 : courbes en cloche, élément périphérique



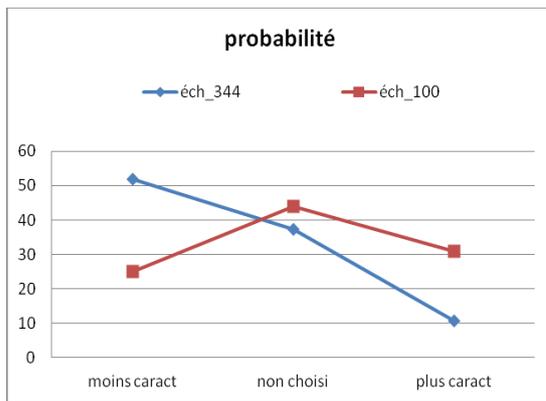
Graph 14.116 : courbes en J, élément sans rapport



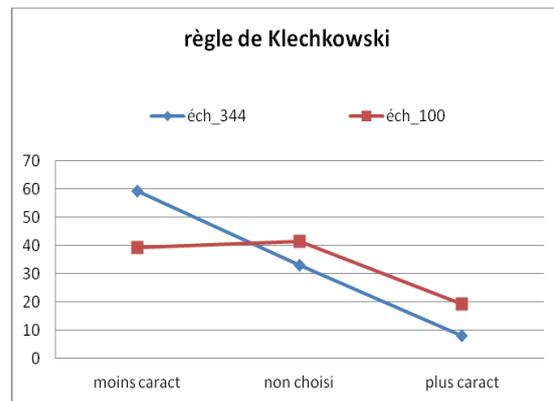
Graph 14.117 : courbes en cloche / en J, élément périphérique / élément sans rapport



Graph 14.118 : courbes en cloche, élément périphérique



Graphe 14.119 : courbes en \lfloor / en cloche, élément sans rapport / él. périphérique



Graphe 14.120 : courbes en \lfloor / en cloche (à la limite), élément sans rapport / él. périphérique

En effet, on peut tirer la conclusion que l'atome est, pour tous, considéré comme une entité physique non pas élémentaire, mais structurée à la base par des protons, neutrons et électrons répartis en couches, appelées K, L, M, etc. Le critère de répartition des électrons reste un élément périphérique, hors du contenu sémantique immédiat. Enfin, la conception probabiliste, opposée à la conception mécaniste d'un « système solaire » miniaturisé, commence à émerger chez ceux des élèves de TS qui sont initiés à la physique moderne. Le graphe 14.119 illustre la manière dont l'item « probabilité de présence de l'électron » change progressivement de statut : d'un élément sans rapport il devient un élément périphérique, susceptible de porter ensuite transformation du noyau de la représentation. Effectivement, si l'on se centre sur le sous-ensemble grec de l'échantillon spécifique, cet élément donne une courbe quasi-J (cf. graphe 14.103).

CHAPITRE 15 : RÉSULTATS ISSUS DE L'ANALYSE DES MANUELS

Le dernier chapitre est consacré à la présentation des résultats de la double analyse des manuels de physique-chimie : à l'aide du logiciel Alceste et à l'aune de la grille expressément élaborée. Une typologie de manuels peut ainsi émerger.

15.1 Résultats selon Alceste[®]

Concernant le corpus des manuels, Alceste distingue cinq classes lexicales inhérentes à différentes caractéristiques du thème d'enseignement « atome ». Le tableau 15.1 donne la portion du contenu significatif (en pourcentage) qu'occupe chaque classe, ainsi que la valeur Chi 2 des modalités de chacune des variables qui dominent au sein de cette classe. Pour rappel, ces modalités sont les suivantes :

- 5, 4^et 3 pour les classes du collège, et, 2, 1, 1S, T (terminale toutes séries confondues), TS (série S) et TST (séries grecques S et T), pour le lycée ;
- p / c / pc pour physique / chimie / physique - chimie, respectivement ;
- F / G pour les manuels français / grecs ;
- a / m / r pour périodes ancienne (1942 - 70) / moyenne (1971 - 90) / récente (1991 - 2014).

Pour décrypter les résultats statistiques présentés dans le tableau suivant, les thématiques de la classe 1 (cf. première colonne) couvrent 31,55 % du contenu global de notre corpus. La comparaison entre les Chi 2 liés aux variables détermine le(s) type(s) d'appartenance caractérisant chaque classe. À propos de la classe 1, nous remarquons, principalement, une « appartenance disciplinaire » (cf. pc, physique-chimie) et une autre, « originelle » (cf. F, manuels français). En d'autres termes, les thématiques de la classe 1 sont rencontrées dans les manuels de physique-chimie, et cela de manière indépendante de leur ancienneté (le Chi 2 de la modalité « m » étant négligeable). Secondairement, une « appartenance de niveau de classe » peut être mentionnée (cf. 4, classe de 4^e). Enfin, en bas du tableau sont indiquées les valeurs du Chi 2 d'appartenance pour les traits lexicaux les plus typiques, par classe.

Tableau 15.1 : Classes de contenu issues de l'analyse Alceste sur le corpus des manuels

(N = 72)

Classe 1 31,55 % du contenu	Classe 2 25,54 % du contenu	Classe 3 22,04 % du contenu	Classe 4 13,19 % du contenu	Classe 5 7,68 % du contenu
<p>4 Chi 2 = 13,06 1S Chi 2 = 7,50 pc Chi 2 = 25,87 F Chi 2 = 19,70 m Chi 2 = 4,14</p>	<p>TS Chi 2 = 48,33 p Chi 2 = 12,96 c Chi 2 = 6,42 G Chi 2 = 33,96</p>	<p>T Chi 2 = 51,13 TST Chi 2 = 11,38 p Chi 2 = 117,71 G Chi 2 = 9,69 r Chi 2 = 12,74</p>	<p>2 Chi 2 = 78,05 pc Chi 2 = 11,22 F Chi 2 = 7,35</p>	<p>5 Chi 2 = 19,95 4 Chi 2 = 18,76 pc Chi 2 = 10,50 F Chi 2 = 10,23 m Chi 2 = 7,75</p>
<p>Formules chim. et maquettes : eau, formule, liaison, compact, éclaté, mod. de cristal...</p> <p>Réactions ch. : réaction, équation ch., décomposition, NH₃, combustion, CO₂...</p> <p>États physiques : états de la matière, vapeur, solide, liquide, mouvement brownien, mélange...</p>	<p>Mod. atomiques du 20e siècle : Thomson, Rutherford, Bohr, configuration électronique, couche, nombre quantique, nuage élect., orbitale...</p> <p>Principes : remplissage, exclusion, Pauli, Hund, incertitude...</p> <p>Tableau périodique : période, familles, sys. périodique...</p>	<p>Spectres électromagnétiques : raie, émission, photon, absorption, série de Balmer, rayons X...</p> <p>Nucléaire : Curie, alpha, bêta, gamma, centrale, fission, réacteur, uranium...</p>	<p>Lois fondamentales : Proust, Dalton, proportions définies, proportions multiples...</p> <p>Stoichiométrie : nombre d'Avogadro, Lavoisier, mol, ion, atome-gramme...</p> <p>Règle de l'octet : octet, duet, valence, gaz nobles, stabilité chim., éléments, classification périodique...</p>	<p>Approche microscopique de la matière : discontinuité de la matière, hypothèse atomiste, vide, éléments d'Empédocle...</p> <p>Mod. atomiques grec et daltonien : insécable, éternel, plein, crochus, théorie atomique...</p>
Valeurs les plus importantes dans le Chi 2 des traits lexicaux par classe				
Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
modèle+ 108,13	électron 150,97	nuclé+ 120,78	mol+ 89,90	Démocrite 105,98
moléculaire 96,27	m_Bohr 100,87	radioacti+ 78,12	nb Avogad 72,65	petit+ 101,62
eau+ 86,29	probab 77,61	spectre 68,99	qu de matiè 52,62	disc/té 86,48
eclat+er 82,35	m_Ruth. 72,14	absorption 60,37	chim+ 43,18	Empédocle 85,00
molécule 73,40	couche+ 58,73	émission 49,46	volume+ 42,47	éléments 85,00
			octet 47,47	Leucipe 72,87

D'une manière globale, il résulte de ces données que les thématiques des classes 1, 4 et 5 se trouvent plus développées (mais, non pas « exclusivement » développées) dans les manuels français, alors que celles des classes 2 et 3, le sont dans les manuels grecs, sans que cela signifie que le thème, par exemple, du nucléaire (classe 3) ne soit pas abordé par les premiers. (Plus le Chi 2 d'une variable est faible moins ses modalités sont déterminantes. C'est le cas de la modalité G, de la classe 3 et de la F, pour la 4). En outre, les savoirs relevant de l'atome ou, d'après le langage d'Alceste, les « u.c.e. » (unité de

contexte élémentaire, cf. §10.3.1) prises en compte dans les calculs statistiques sont significativement originelles des manuels de physique grecs, plutôt que de chimie. Cependant, l'analyse effectuée à la base des indicateurs considérés (cf. §11.1 et annexe 4) montre que ce sont les manuels de chimie qui traitent du modèle probabiliste de l'atome et des notions connexes (nuage, orbitale, spin, etc.). Cette remarque est en plein accord avec la valeur importante du Chi 2 TS (cf. classe 2), puisqu'en terminale S grecque l'atome est enseigné en chimie. Le facteur « niveau de classe » influe sur les classes 4^e et 5 (manuels français de 2^e et de collège), ainsi que sur les 2 et 3 (manuels grecs de TS et de T, toutes séries confondues). Enfin, la chronologie des manuels semble ne pas manifester des effets notables, aux exceptions des manuels récents : grecs (cf. classe 3) et français (cf. classe 4, où les deux tiers du corpus des manuels français de 2^e sont récents). Par exemple, le modèle de Dalton est relaté autant par des manuels vieux et récents ; sauf que dans les seconds il ne fait pas partie des connaissances livresques, des savoirs « à évaluer » pour ainsi dire, mais en encadré historique, comme le montre notre analyse didactique (cf. annexe 4).

Pour passer au dendogramme, c'est-à-dire la division du corpus en classes lexicales, nous montrons le graphe suivant produit par le logiciel, où nous avons indiqué les thématiques inhérentes aux différentes classes :

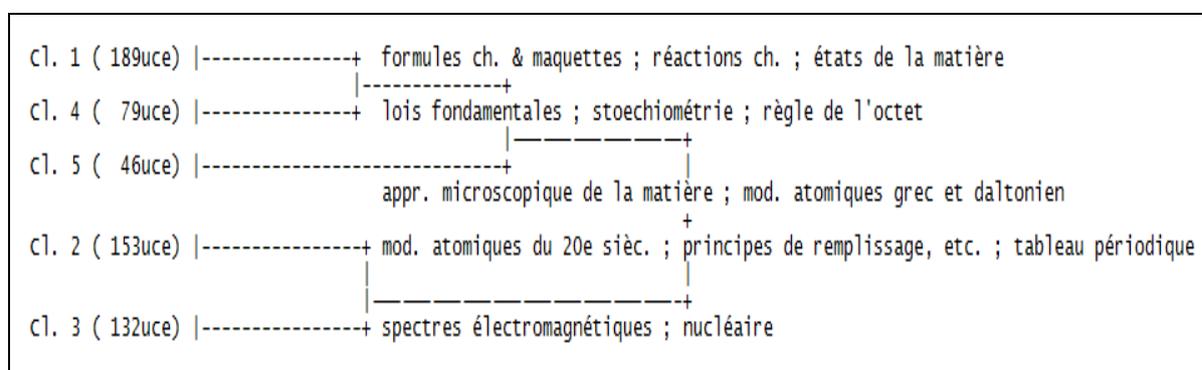
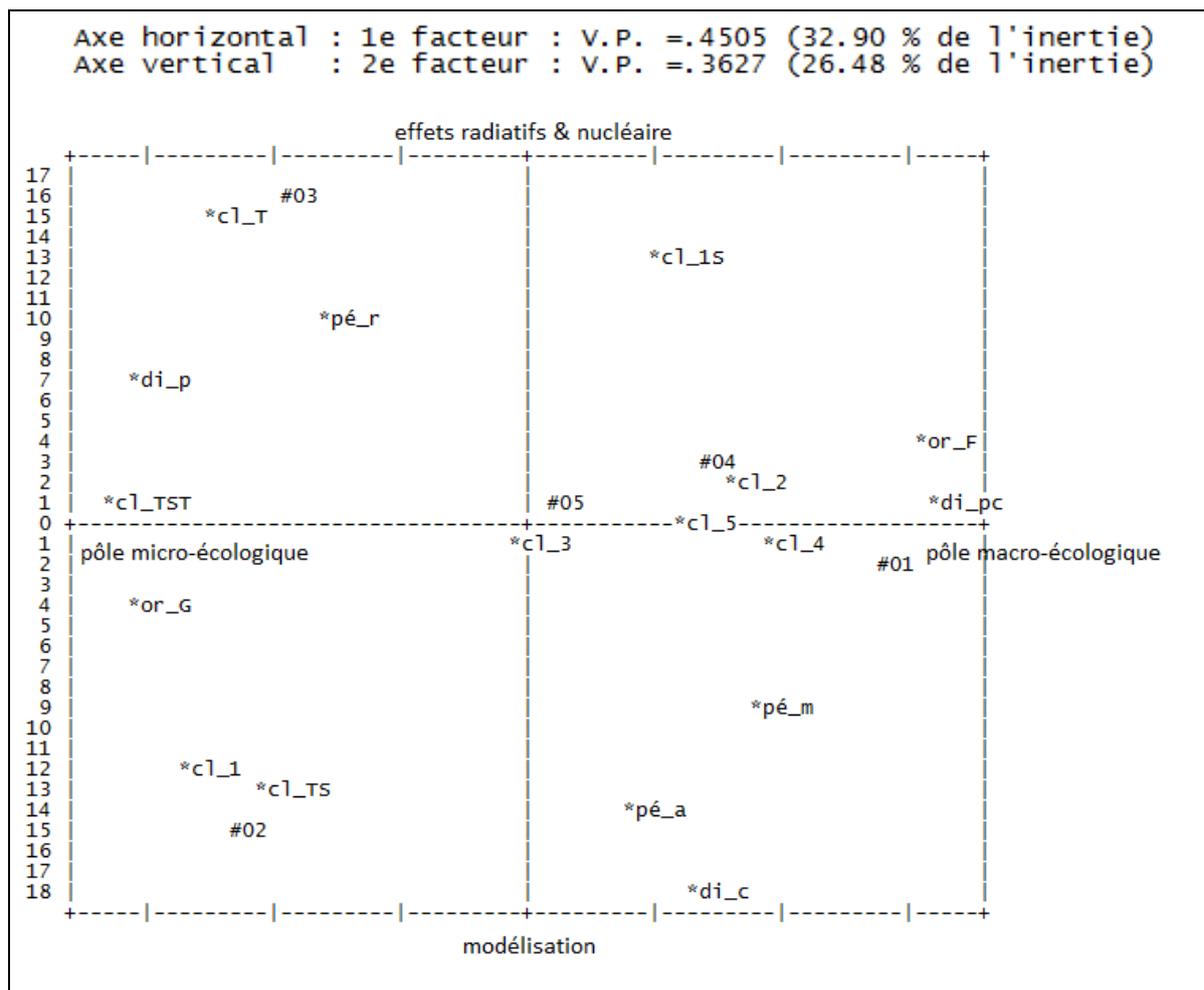


Schéma 15.1 : Des partitions successives du corpus issu des manuels scolaires

Les traits longs (de droite à gauche du schéma) illustrent une première partition opposant deux univers sémantiques, d'une part, les classes 1, 4^e et 5 couvrant 52 % du contenu et, d'autre part, les classes 2 et 3 en occupant 48 %. Suite à une deuxième partition à l'intérieur du premier bloc, les classes 1 et 4 (comportant notamment des savoirs environnant le thème de l'atome) se rapprochent entre elles et se distinguent de la cinquième, qui touche ce savoir lui-même.

Poursuivant l'objectif d'identifier les deux facteurs qui émergent de l'analyse factorielle conduite par Alceste (cf. graphe 15.1, ci-après), on peut considérer que les classes 2 et 3 coïncident dans une approche micro-écologique (plusieurs éléments constitutifs du savoir « atome » sont étudiés), opposée à l'approche macro-écologique caractérisant les trois autres. Cependant, la classe 2 est spécifique de la modélisation atomique, tandis que la troisième a trait aux effets de radiation (spectres, radioactivité) et du nucléaire.



Graphe 15.1 : Projection des cinq classes lexicales (# 01, # 02...) et des modalités des variables considérées. Les valeurs propres des deux facteurs explicatifs excèdent cumulées 59 % d'inertie

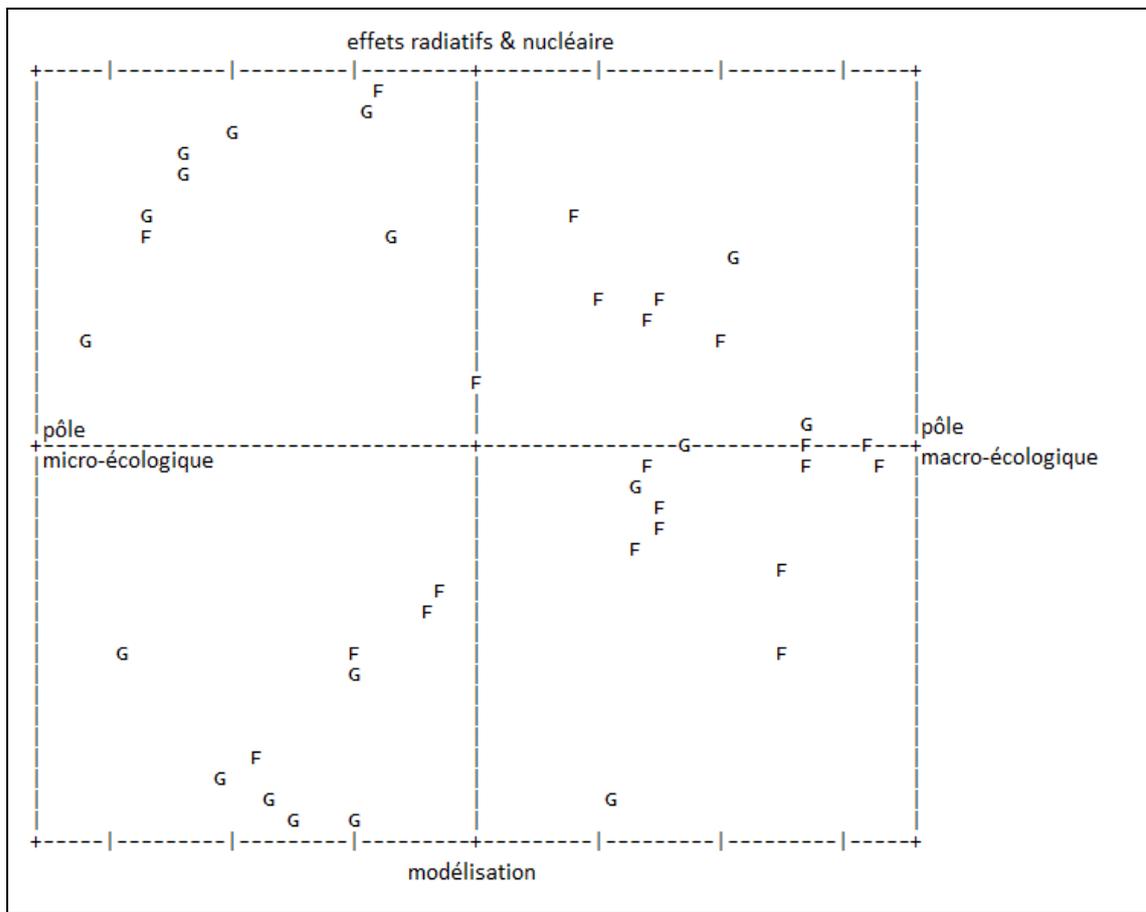
Le pôle micro-écologique désigne l'enseignement de l'atome post-daltonien, à savoir doté d'une structure interne. De ce fait, son enseignement nécessite l'étude, prescrite par les programmes puis l'apprentissage par les élèves d'un nombre important de « petits

éléments », pour emprunter à Tiberghien, Malkoun, Buty, Souassy et Mortimer (2007). Au contraire, le pôle macro-écologique appréhende ce concept dans sa totalité et s'intéresse à d'autres connaissances, basées sur le modèle corpusculaire de la matière. À partir du graphique précédent, nous pouvons constater :

1. une opposition diamétrale entre les modalités d'origine (cf. or_G et or_F, graphe 15.1), les manuels grecs promouvant l'approche micro-écologique et la modélisation, alors que les manuels français adoptent l'approche macro-écologique et mettent l'accent plutôt sur les effets de radiation et du nucléaire ;
2. une opposition diamétrale entre, d'une part, les manuels récents et, d'autre part, les plus anciens (les modalités « pé_a » et « pé_m » étant, elles, très proches). Il semble que les programmes (et, par extension, les manuels) s'harmonisent au cours du temps avec la question relativement récente du nucléaire ;
3. les classes du collège et la 2^{de} se situent tout au long de l'axe horizontal, sans prédominance ni de la modélisation ni du nucléaire, dans les manuels correspondants⁵² ;
4. la modélisation semble être le sujet principal des manuels de chimie grecs, alors qu'en physique les effets de rayonnement couvrent une partie plus importante.

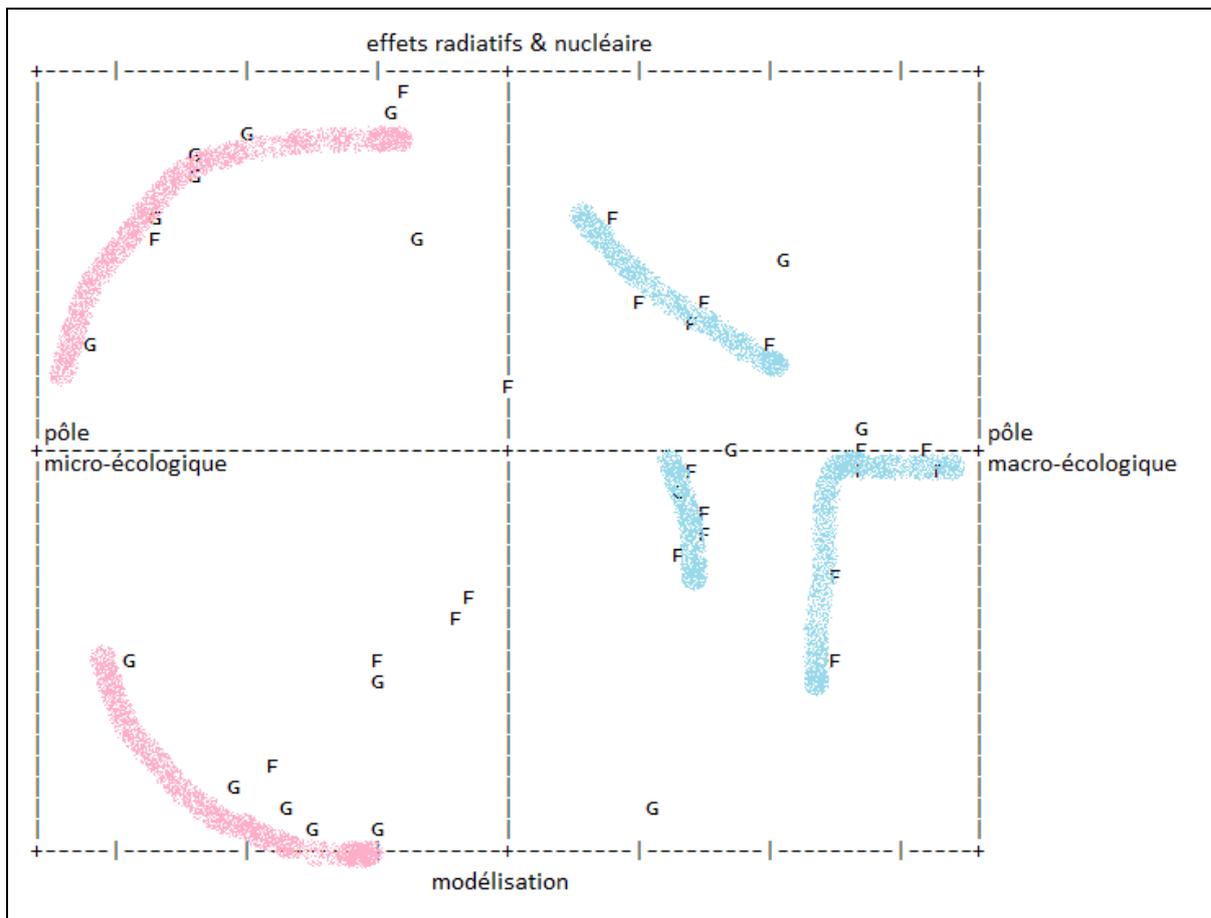
La distribution de la plupart des manuels du corpus est établie par Alceste en sortie de l'analyse factorielle, comme suit :

⁵² Certes, ce corollaire rompt avec le tableau 15.1 (cf. classe 3, sous-thème nucléaire). Par ailleurs, il ne faut pas perdre de vue que la réussite des facteurs interprétatifs qu'introduit le graphe 15.1 reste partielle.



Grphe 15.2 : Projection des manuels grecs et français (G et F)

Dans les limites de cette approche – à remarquer que ce graphe n’affiche que les positions de 40 manuels, les manuels manquants appartenant plutôt aux périodes ancienne et moyenne –, on peut identifier les typologies de manuels suivantes, illustrées, dans le graphe 15.3 ci-dessous, par les zones rosées (demi-plan à gauche) et bleues (demi-plan à droite) :

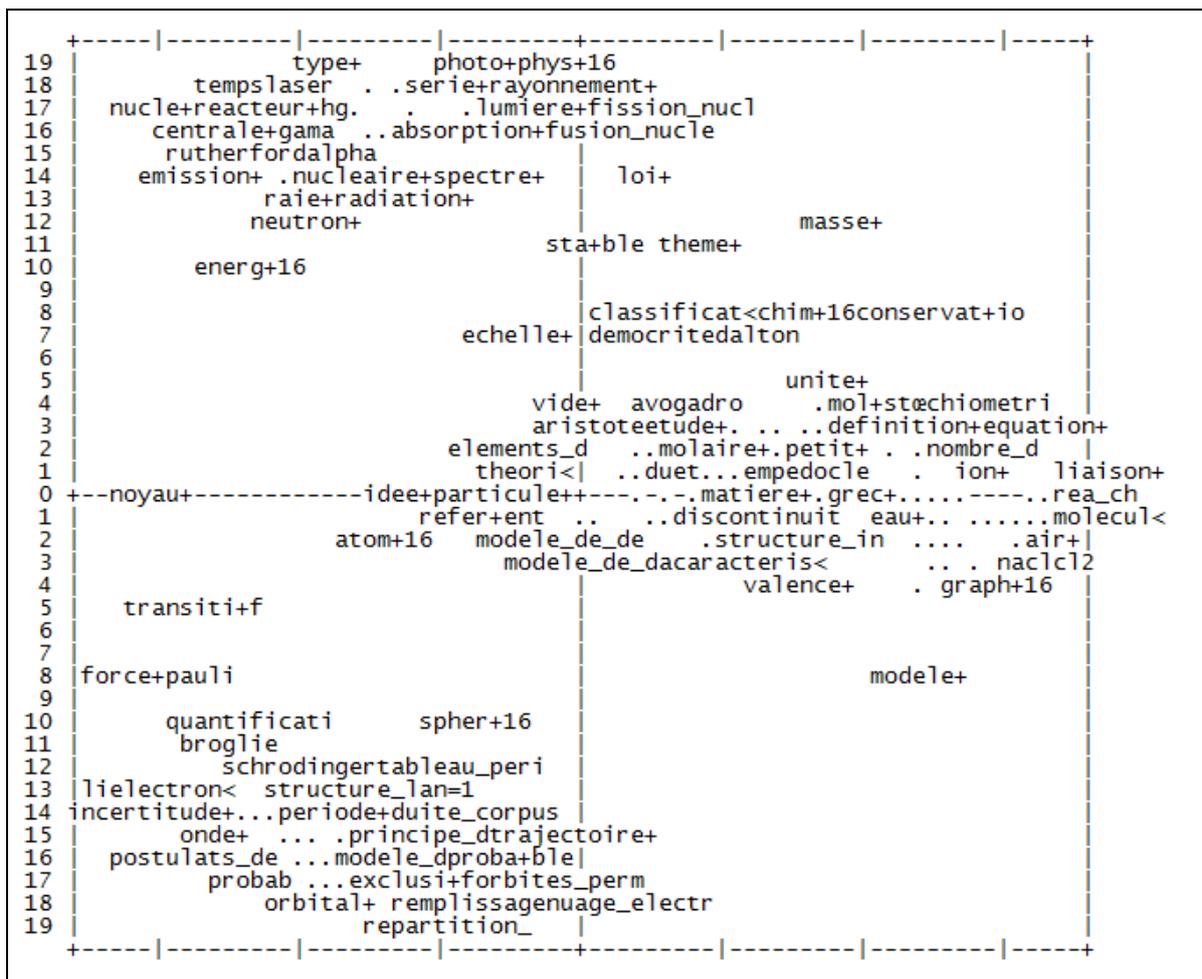


Graphe 15.3 : Les trois typologies de manuels

Effectivement, tout au long des deux arcs en rose nous retrouvons des manuels grecs. En traversant l'axe vertical, nous réperons les espaces en bleu occupés principalement par des manuels français. Encore une fois, les arcs « grecs » tentent de converger autour du pôle micro-écologique, mais ils divergent nettement dans le sens perpendiculaire, c'est-à-dire, entre la modélisation de l'atome (tâche à la charge des manuels de chimie) et l'aspect de radiation atomique (attribuable aux manuels de physique). Tout au contraire, il semble que les manuels français convergent doublement entre eux : vers le pôle macro-écologique et vers le milieu de l'axe vertical, modélisation - radiation, les deux dimensions étant autant abordées. Si nous considérons, ensuite, la distribution des « mots »⁵³ analysés telle que produite suite à une analyse factorielle qu'effectue Alceste et figurée par le graphe ci-dessous, nous pouvons aisement distinguer trois blocs. Or, nous remarquons qu'ils sont situés aux mêmes espaces qu'occupent les zones tracées dans le graphe précédent. Le bloc

⁵³ Il s'agit de mots du vocabulaire formant le corpus textuel et qui donnent du sens aux unités de contexte élémentaire (cf. §10.3.1). Alceste sépare ces mots d'autres mots-outils, tels que : dans, dont, pourquoi, comme...

de mots autour du demi-axe positif horizontal renvoie à une approche macro-écologique du thème d'enseignement d'atome. Par ailleurs, les nuages de mots dans le demi-plan gauche, placés en haut et en bas, définissent des thématiques liées, le premier aux effets radiatifs et au nucléaire, et, le second à la modélisation de l'atome. En conséquence, le graphe 15.4 fournit la vérification de notre interprétation à propos des deux facteurs, discutée auparavant (cf. graphe 15.1).



Graphe 15.4 : Projection des mots analysés sur le plan factoriel

Il est à noter qu'outre ces agrégats de mots, il existe encore 90 mots recouverts ou superposés, qui ne sont pas marqués sur ce graphe. Le logiciel en calcule les coordonnées (x, y) dont nous ne citons que quelques-unes, à titre indicatif :

Tableau 15.2 : Coordonnées de mots recouverts ou superposés (le premier chiffre donne l'abscisse x et le deuxième l'ordonnée y)

-17	17	conducteur+			-24	-14	sous_couche	
-17	17	histoire+	17	0	gaz_nobles	-23	-14	sens
-17	17	rubrique<	23	0	etat+	-22	-14	rayon_atomiq
-17	17	curie	24	0	structure+	-21	-15	modele_de_th
-15	18	energie_nucl	25	0	liquide+	-20	-15	probabil+
-13	18	uranium	26	0	solid+e	-19	-15	modele_plane
-16	17	radioacti+f	27	0	format+ion	-17	-15	pres+ent
-12	17	temperature+	32	0	decompositio	-20	-16	couche+
-8	17	univers	33	0	reactions_ch	-19	-16	modele_de_ru
-15	16	beta				-18	-16	place+
						-19	-17	modele_de_bo
						-18	-17	celibataire+
						-17	-17	modele_quant

Encore une fois, le classement de ces mots selon leurs coordonnées semble confirmer la pertinence du sens attribué aux axes du plan factoriel et donc la typologie initialement dégagée.

En résumé, le développement du thème de l'atome dans les manuels retenus se présente de façon différente, selon le pays d'origine. L'homogénéité parmi les livres français est beaucoup plus forte (les # 01, # 04 et # 05 étant proches) qu'entre les livres grecs, la physique et la chimie envisageant, chacune, les aspects qui relèvent de sa propre épistémologie.

15.2 Résultats selon l'analyse didactique

L'analyse didactique menée à l'aide d'une grille élaborée à cet effet nous semble indispensable, en parallèle avec les résultats issus du logiciel. Et cela, parce qu'Alceste rend compte des u.c.e. pour effectuer des calculs, mais il n'en traite pas sous l'optique du savoir disciplinaire physique et chimique. Par exemple, les syntagmes « liaison covalente », « liaison ionique » et « liaison sigma » sont regroupés ensemble, par le logiciel. Cependant, du point de vue de la théorie physique, le dernier rompt avec les deux autres, car se référant au modèle probabiliste de l'atome et non plus planétaire, ce qui est le cas des deux premiers.

Compte tenu des indicateurs de la grille d'analyse didactique, nous procédons aux inférences suivantes. Dans les pages des 14 manuels issus de la période ancienne, le modèle atomique de Dalton prévaut, suivi de l'hypothèse de discontinuité de la matière,

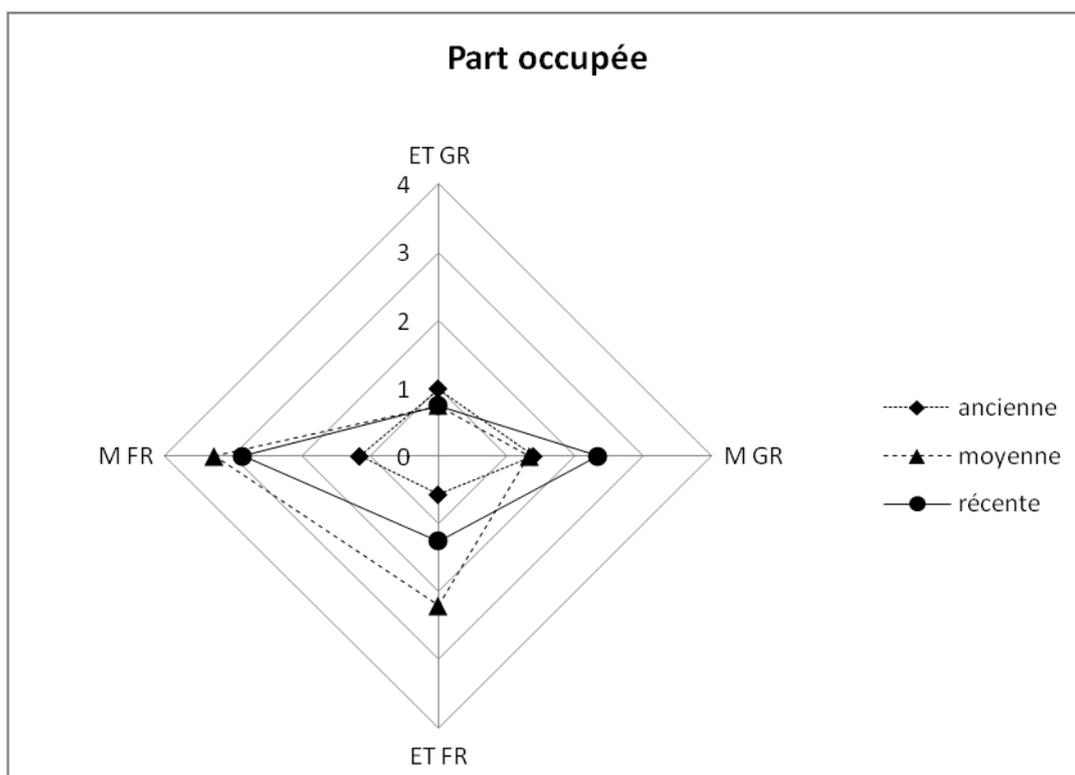
qui remonte à l'Antiquité. Les références aux modèles liés à la structure interne de l'atome (de Thomson, planétaire, etc.) sont plus rares. Cependant, elles deviennent courantes dans les 27 manuels de la période moyenne. Effectivement, les modèles planétaires (notamment, ceux de Rutherford et de Bohr) sont repris dans presque la totalité de cette cohorte de manuels, alors que le modèle de Dalton, qui persiste, n'est évoqué que par la moitié. Le modèle antique, élaboré par les atomistes grecs, se trouve également commenté dans les deux familles de manuels, mais figurant plutôt dans des encadrés pour les français. Enfin, le modèle ondulatoire commence à entrer en scène, mentionné par deux manuels français et autant de manuels grecs. S'agissant des manuels récents, ils développent le modèle planétaire, principalement de Bohr, avec ses postulats, et secondairement celui de Rutherford, avec la description de l'expérience homonyme. Des éléments de connaissances sur les modèles vieux (grec et daltonien) sont suffisamment évoqués, tandis que le modèle moderne quantique concentre huit références sur les 14 manuels grecs et sept sur les 17 manuels français. Les lacunes des modèles élaborés puis remplacés par d'autres sont très peu discutées parmi les manuels. Quant aux français, trois d'entre eux rélatent les échecs du modèle de Rutherford et autant de manuels grecs exposent les échecs du modèle de Bohr, ainsi que les réussites du modèle de Rutherford qui remplaça le modèle de Thomson et les succès du modèle de Bohr qui améliora le modèle de Rutherford.

En règle générale, si le modèle planétaire est récurrent dans le corpus des manuels, il l'est sous une forme hybride : en réalité, il s'agit d'un modèle de l'atome de Bohr simplifié, déchargé de la théorie physique de son origine et de ses aspects mathématisés. Ce modèle a subi ou est toujours soumis à un processus transpositif au cours du temps, afin que le savoir soit adéquat pour un usage scolaire. À titre d'exemple, le remplissage des électrons dans les couches est régi par la simple règle de l'octet (et du duet) et non pas par le principe de stabilité, dit principe d'Aufbau, unifiant les deux principes (celui d'exclusion de Pauli et de l'énergie minimale) et la règle de Hund. Certes, la règle de l'octet ne constitue qu'une réduction du principe d'Aufbau – qui, à son tour en constitue une autre de en mécanique quantique –, néanmoins inopérante pour certains métaux de transition, etc. Il en est de même pour les postulats de Bohr qui sont réduits à la condition d'« orbites permises ». (Parmi les manuels examinés un seul, un manuel de chimie grec de TS, expose le principe d'Aufbau, et un autre encore, un manuel de physique grec des terminales, cite les postulats de Bohr). Or, nous assistons à un phénomène de transposition didactique d'un savoir intermédiaire, à usage scolaire.

En somme, les manuels grecs, notamment ceux de physique, insistent sur le modèle de Bohr, sur les spectres d'émission et d'absorption de la lumière et sur l'exégèse atomique de l'électricité et du magnétisme. Dans les manuels de chimie grecs dominent la configuration électronique, la conjonction atome - élément - tableau périodique, la modélisation de la réaction chimique (y compris les liaisons chimiques) et, en TS, l'interprétation probabiliste de l'atome. Il en est de même pour les manuels français, sauf quelques exceptions : nombres quantiques, postulats de Bohr, principe d'incertitude, orbitales atomiques et moléculaires, principe d'exclusion de Pauli, règle de Hund. De plus, les manuels français soulignent la structure lacunaire de l'atome.

Dans l'enseignement grec, le double traitement de l'atome semble être plus méticuleux (par rapport au cas français), mais compartimenté (Grivopoulos, 2013). En effet, l'atome sert en chimie à la compréhension de la réorganisation de la matière au cours des transformations chimiques, à la conjonction atome - élément - tableau périodique, donc à l'interprétation de la périodicité des éléments et, aussi, à la géométrie moléculaire. En physique, sont étudiés les modèles atomiques introduisant une structure interne (constituants de l'atome, forces de Coulomb et forces nucléaires, niveaux d'énergie) et certains phénomènes associés (conductivité électrique, résistance électrique, spectres d'émission et d'absorption, nucléaire, etc.) dont les exégèses reposent sur le modèle corpusculaire de la matière. Ainsi, la physique scolaire s'intéresse à la modélisation de l'atome, tandis que la chimie l'appréhende comme la matérialisation du concept d'élément chimique. Par ailleurs, quelques-uns de ces aspects se trouvent également abordés dans l'enseignement français, mais présentés de manière nettement plus sommaire, ce que nous avons qualifié d'« approche macro-écologique ». Contrairement aux manuels français, les manuels grecs optent pour une présentation micro-écologique de l'atome, puisque développant davantage d'éléments de savoir particuliers. Ces constats corroborent notre interprétation pour les deux axes, dans le graphe 15.2.

Nous nous intéressons maintenant à l'indicateur quantitatif « part occupée » (nombre d'images / nb de pages). À partir des valeurs qu'il prend, nous calculons les moyennes et les écarts-types pour les manuels appartenant aux trois périodes considérées. Les résultats se présentent sur le graphe suivant :



Graph 15.5 : Moyennes (M) et écarts-types (ET) pour les manuels grecs (GR) et français (FR), selon les périodes de mise en œuvre

Nous remarquons que les auteurs français adoptent plus tôt l'utilisation d'éléments imagés, dans la rédaction des manuels scolaires depuis les années '70 et '80. Leurs homologues grecs, plus traditionnels sur la présentation textuelle du savoir, n'ont recours à l'image qu'après les années '90. Ainsi, le rapport image / texte devient de nos jours équilibré entre les deux corpus de manuels (français et grec). En tout état de cause, plus les traits dans ce graphe forment un losange (au sens géométrique du terme), plus les manuels grecs et français convergent par rapport à cet indicateur.

Enfin, les indicateurs liés au contenu d'enseignement exposé par les manuels, permettent de construire la carte conceptuelle que fournit le schéma ci-après. Notons auparavant que ce concept, initié par Novak (1990), désigne

une représentation spatiale d'une base de connaissances de type déclaratif. Pour cela le chercheur isole et choisit les concepts pertinents, les hiérarchise par niveaux ordonnés, puis il relie les concepts entre eux par des ponts ou des liens homogènes. Enfin il ordonne et lisse la carte. (Jacobi, Boquillon, Prévost, 1994, p. 14).

Pour ces auteurs, l'étape préliminaire à la construction d'une carte conceptuelle s'appuie sur la textualisation du savoir, au sens de Chevallard (1985), c'est-à-dire sur l'effet selon lequel « les connaissances scientifiques prennent nécessairement la forme de discours échangés dans la classe ou celle de textes édités dans des manuels. » (Jacobi *et al.*, 1994, p. 20). Suivent les étapes d'étiquetage, de sériation et de hiérarchisation, de mise en relation des étiquettes et, enfin, le travail cartographique en représentations arborescentes hiérarchisées, en réseaux autocentrés, en dispositions élégantes et équilibrées, pyramidales, etc. explicitent ces auteurs. Quant aux fonctionnalités pratiques de cartes conceptuelles, Tochon (1990) distingue trois orientations dans leur utilisation : les cartes créées par les apprenants, les cartes créées par un expert ou un enseignant et, enfin, les cartes de concepts utilisées dans la recherche. La carte figurée ci-dessous appartient au deuxième genre et correspond à une représentation arborescente, avec les clones ou nœuds fils découlant du concept-clé, l'atome, matérialisant sa niche écologique telle qu'elle apparaît à l'analyse des manuels examinés dans notre approche.

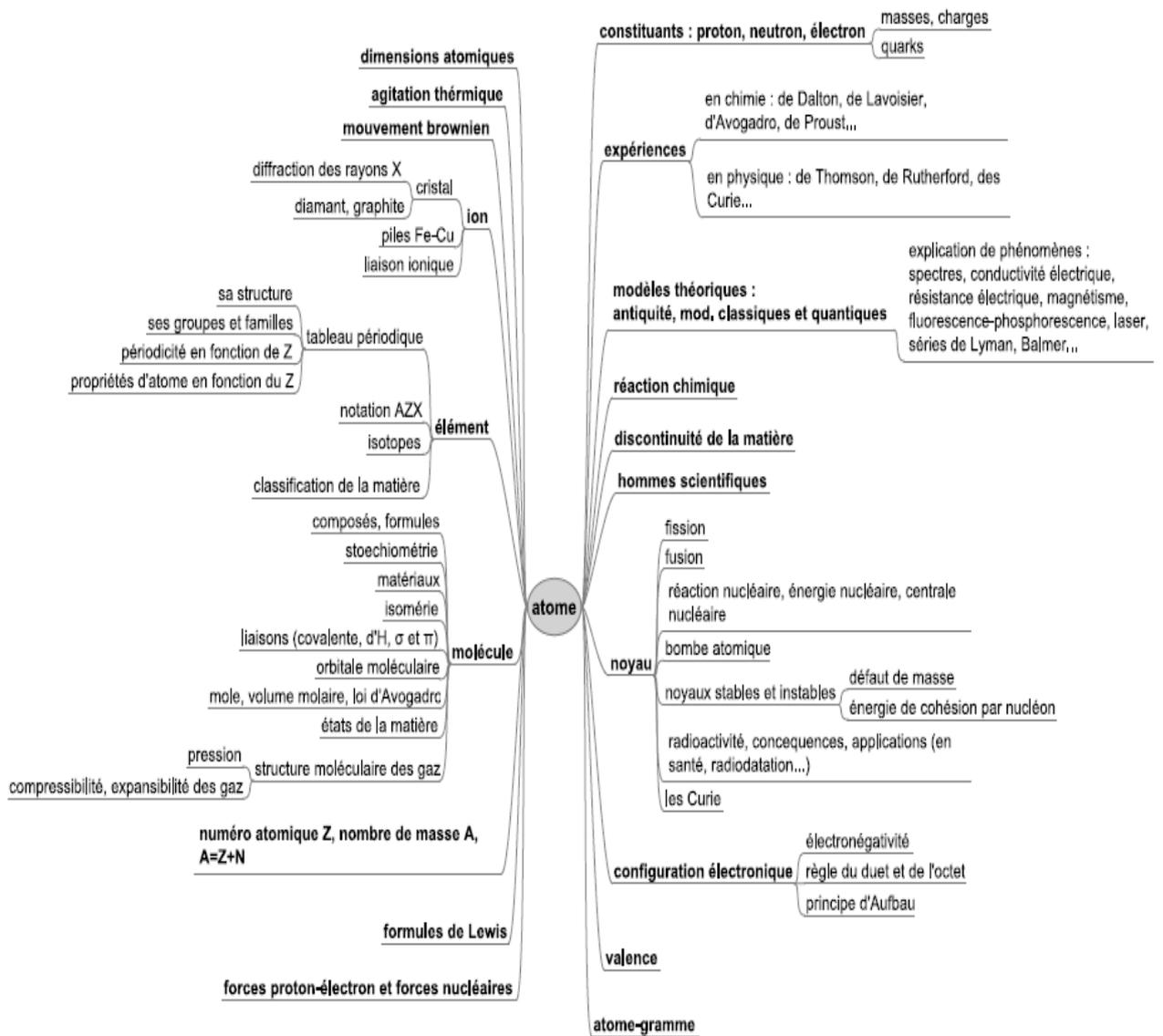


Schéma 15.2 : Carte conceptuelle pour le concept d'atome

Tout élément de savoir associé par un nœud fils avec la cible « atome » est développé dans l'ensemble des manuels retenus. C'est le cas des éléments en gras avec, bien évidemment, les modèles d'atome théoriques qui occupent une place primordiale. Les autres éléments de savoirs, appelés aussi des sujets de savoirs, se trouvent abordés de manière occasionnelle.

CONCLUSION DE LA QUATRIÈME PARTIE

À propos de la première question, les collégiens grecs et français placent, de manière comparable, l'item molécule dans la zone des éléments candidats à être centraux dans la structure de la représentation. Nous remarquons aussi que les grecs citent les constituants de l'atome et la notion d'élément chimique (en case 2, périphérie proche), tandis que chez les français apparaît le terme « nucléaire ». Ceci peut trouver son explication à partir de l'orientation transpositive différente des manuels français et grecs (cf. tableau 1.2, « Corpuscules subatomiques »), à ce niveau de classe. Le contraste vis-à-vis du « nucléaire » constitue un trait marquant, si nous comparons les deux distributions des notions prototypiques (cf. graphes 13.1 et 13.2). Cependant, l'esquisse d'une structure type qui – cela mérite d'être relevé –, prend une forme comparable auprès de deux groupes d'élèves, en Grèce et en France, débutant un apprentissage sur la matière physique et sa structure, permet de vérifier, croyons-nous, notre première hypothèse (cf. §9.3.4).

Si la molécule se trouve détrônée de la case 1 (zone du noyau de la RS), c'est le mot « cellule » qui y entre chez les grecs de seconde. Au contraire, les français ne la citent guère ; à la fois, ils maintiennent la molécule dans cette case, où le « noyau » figure maintenant aussi comme nouvel élément et ils enrichissent les éléments périphériques. Ce dernier comportement, constaté aussi parfois chez leurs camarades grecs, montre l'impact de l'enseignement du thème de l'atome, en seconde, sur le système représentationnel pour, au premier abord, modifier le système périphérique. Cet effet s'intensifie même chez les lycéens français de terminales, avec une multitude d'induits autour du sujet du nucléaire. Chez eux, nous pouvons repérer la molécule dans la zone du noyau, en compagnie de « noyau » et de « matière ». Les grecs ne retiennent, en effet, que le « noyau ». Mais, pour certains, le « vivant » arrive au premier rang, avec « noyau » et « base ». Comme les dessins le montrent également, la confusion entre l'atome et les structures biologiques (cellule, spermatozoïde, etc.) semble être plus répandue chez les grecs. Par contre, les français, surtout les collégiens, manquent de clarté sur la différence à faire entre atome et molécule qu'ils considèrent comme des synonymes. Notons que les manuels français consacrent davantage d'éléments iconiques sur la présentation des microscopes électroniques, à effet tunnel, etc., ce qui n'est pas le cas en Grèce. Dans ces mêmes manuels, les maquettes moléculaires sont légion, et le terme « théorie moléculaire » est parfois utilisé pour décrire la modélisation particulière de la matière. Enfin, la place des notions prototypiques « électron » et « proton » est identique dans les distributions grecque

et française (cf. graphes 13.5 et 13.6), le premier terme « électron » étant systématiquement mis en exergue, en raison de la niche écologique le caractérisant, plus importante au sein de la physique atomique. Compte tenu de ces inférences, l'hypothèse 2 ne s'avère qu'en partie confirmée : le « noyau atomique » « cohabite » avec la « cellule », dans la zone centrale grecque, et avec la « molécule », dans la zone centrale française.

Nous restons sur la première question pour commenter les résultats obtenus auprès de l'échantillon spécifique. Les deux répartitions (cf. tableaux) sont assez comparables. Cependant, si le « nucléaire » pèse pour les français, dans la représentation qu'ils se font de l'atome, chez les grecs se sont plutôt des éléments de modélisation qui interviennent dans la leur. Ce constat est en accord avec le graphe 15.3 et plus particulièrement avec l'arc rosé en bas, relatif aux manuels de chimie grecs : pour cette cohorte d'élèves enquêtés, cette discipline – à l'opposé de la physique de culture générale, matière quasiment non représentative dans le concours du baccalauréat, cf. §1.3.1.12 – est centrale dans leur parcours.

Le tableau suivant synthétise les résultats qualitatifs issus de la question de caractérisation. Les éléments plutôt représentatifs sont séparés par les éléments représentatifs qui précèdent, par une ligne pointillée. Aussi, les éléments manquants, par groupe d'élèves, sont-ils considérés sans rapport avec l'objet représenté, atome.

Tableau 1 : Récapitulatif des résultats qualitatifs (question 2)

Cohortes d'élèves	Éléments représentatifs et quasi-représentatifs	Éléments périphériques
GR_4e	indivisible ; pullulent espace ; compose tout	molécule ; identique ; pas élémentaire ; créé sur Terre
	énergie ; contient molécules ; taille cellulaire	
FR_4e	molécule ; énergie ; compose tout	indivisible ; pullulent espace ; créé sur Terre
	contient molécules ; taille cellulaire ; pas élémentaire	
GR_2de	énergie ; compose tout ; pullulent espace ; contient molécules	molécule ; identique ; taille cellulaire ; créé sur Terre ; émet lumière
	pas élémentaire	
FR_2de	énergie ; pas élémentaire ; indivisible ; compose tout	pullulent espace ; contient molécules ; taille cellulaire ; créé sur Terre
	molécule	

GR_terms	énergie ; indivisible ; pas élémentaire ; compose tout ; bombe	molécule ; identiques ; contient molécules ; taille cellulaire ; créé sur Terre
	-	
FR_terms	énergie ; indivisible ; compose tout ; bombe	molécule ; identiques ; contient molécules ; taille cellulaire ; créé sur Terre ; pullulent espace ; émet lumière
	-	
GR_313	énergie ; indivisible ; compose tout	molécule ; identiques ; taille cellulaire ; créé sur Terre
	pas élémentaire ; pullulent espace ; contient molécules	
FR_303	énergie ; indivisible ; compose tout ; pas élémentaire ; contient molécules	molécule ; pullulent espace ; taille cellulaire ; créé sur Terre
	-	
GR_TS	énergie ; indivisible ; compose tout ; bombe ; émet lumière	identiques ; contient molécules ; taille cellulaire ; créé sur Terre
	pas élémentaire ; pullulent espace	
FR_TS	énergie ; pas élémentaire ; compose tout ; bombe ; rond	molécule ; pullulent espace ; contient molécules ; émet lumière ; indivisible ; identiques ; créé sur Terre
	-	
Échantillon général (N=616)	énergie ; indivisible ; compose tout	molécule ; identiques ; taille cellulaire ; créé sur Terre ; pullulent espace
	pas élémentaire ; contient molécules	
Échantillon spécifique (N=100)	énergie ; pas élémentaire ; compose tout ; bombe	pullulent espace ; contient molécules ; identiques ; taille cellulaire ; créé sur Terre
	émet lumière ; indivisible	

Il est notable que la proposition « l'atome, c'est le composant de tout » (cf. annexe 3, question 2) soit jugée par tous comme représentative de l'atome. Il en est de même pour la phrase « l'atome contient de l'énergie ». De plus, l'écrasante majorité des élèves accordent à la phrase « l'atome est composé d'autres constituants » un caractère représentatif ou quasi-représentatif. En outre, tous situent l'item « l'atome, c'est la molécule » parmi les éléments périphériques, sauf les deux groupes FR_4^e et FR_2^{de}, mais nous remarquons une rupture chez les FR_terms et FR_TS. À l'égard de l'affirmation fautive que « l'atome est formé par des molécules », les élèves se partagent : ceux en terminales se positionnent négativement, mais les plus jeunes et les grecs de seconde hésitent pour affirmer si vraiment l'atome est dans la molécule ou bien l'inverse. En effet, nous croyons que l'obstacle d'identification entre les deux notions réside dans l'ordre d'emboîtement. Nous

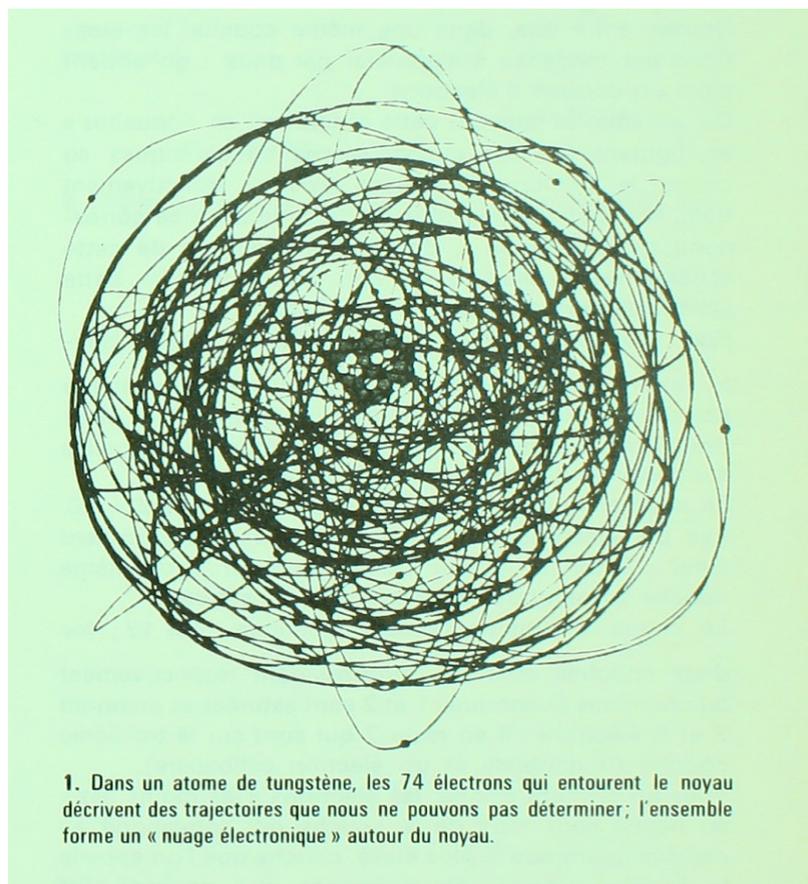
postulons que l'effet de transposition didactique, selon lequel la première notion enseignée est celle de molécule – de la matière macroscopique, les manuels de collège passent à des molécules simples, telles que l' H_2O , le CO_2 , etc. (cf. §1.3.1.3 et §1.3.2.3) –, a une influence qui mériterait d'être plus spécifiquement étudiée. Enfin, on peut souligner une différenciation entre les grecs et français, en TS : l'atome émet de la lumière, pour les uns, tandis que cet item est indifférent pour les autres. Il résulte de l'analyse didactique des manuels que ceux de physique, notamment et conformément aux recommandations noosphériques grecques, discutent à partir d'illustrations les mécanismes d'émission et d'absorption de lumière par l'atome. Y sont également abordées les succès du modèle de Bohr relatifs à l'explication des principales séries de raies spectrales de Lyman, Balmer, etc.

En ce qui concerne la question 3, les collégiens des deux pays répondent de manière homogène. Pour l'essentiel, ils se différencient seulement à propos du septième énoncé (cf. annexe 3 et graphe 13.68). En seconde de lycée, les différences entre élèves grecs et français s'étendent aux items 2, 4, 6, 7 et 8 (cf. graphe 13.97). Attachés à la conception que l'atome relève du vivant, les grecs sont plus nombreux à croire et à penser à l'existence d'une membrane enveloppant l'atome, à la manière de la cellule. La même image de divergence se maintient quant aux terminales (cf. graphe 13.126). Chez les élèves de TS exclusivement, les deux groupes se distinguent sur les variables 2, 5, 6, 7 et 8. Là aussi, l'atome « est » plutôt plein et « relève » du vivant, pour les grecs. A la suite de l'analyse didactique que nous avons menée à la base d'une analyse de contenu, les manuels français « parlent » expressément de « structure lacunaire » de l'atome et, cela, de façon récurrente. Au contraire, les manuels grecs ne semblent pas insister sur ce point. Dans la comparaison entre les échantillons général ($N = 616$) et spécifique ($N = 100$), ce dernier obtient les meilleures performances. Cependant, plus de 3 élèves sur 10, en TS, retiennent la conception d'un atome plein et vivant, ce qui constitue un véritable obstacle didactique à franchir. L'évolution des idées, à l'intérieur des groupes (cf. graphe 13.150), montre que les grecs en seconde et en terminales (hors TS) pensent, plus que les collégiens, croire à un atome vivant. L'acquisition du savoir autour de l'agitation thermique des atomes peut expliquer cet effet par l'inférence suivante : l'atome « bouge », un mouvement qui évoque le déplacement des spermatozoïdes, devenu une image classique, très médiatisée par la télévision grecque, chaque fois qu'il y a une émission sur les progrès de la génétique. Dans l'évolution interclasse de leur comportement à l'égard des variables de la troisième question (cf. graphe 13.152), on peut relever l'effet suivant chez les français : ceux de

seconde pensent à un atome quasi-vide, mais la conception d'un atome - boule se rétablit, auprès des terminales, où il n'y a pas de cours dispensé en la matière.

Les sept phrases qui composent la question 4 (cf. annexe 3, version « 4^e de collège ») ont été rédigées selon le sens commun, afin de se rapprocher de raisonnements de l'ordre du sens commun. Les réponses des collégiens convergent à l'exception des deux dernières. Effectivement, la conception qu'un état physique peut caractériser un atome, ou qu'un atome se trouve au même état physique que la matière macroscopique qu'il constitue, est plus largement diffusée chez les grecs. Par ailleurs, à peu près un tiers des français (et 20 % des grecs) tentent d'attribuer des couleurs aux atomes, suite à une pratique de transposition, selon laquelle les atomes sont représentés, dans les manuels, avec des couleurs conventionnelles : l'atome de carbone « est » noir, celui d'oxygène blanc, etc. Avec l'ajout de quatre propositions supplémentaires (cf. annexe 3, version « 2^{de} & Terminales hors TS »), les divergences commencent à paraître entre les réponses des deux groupes. Ces énoncés étant « hors contrat didactique », c'est-à-dire, qu'ils ne relèvent pas en eux-mêmes d'un savoir enseigné, les participants sont perplexes ; ce que pourrait en partie interpréter les résultats comparatifs du graphe 13.205. Enfin, les grecs de TS se retrouvent avec leurs pairs français sur seulement six énoncés dans l'ensemble des seize qui leur étaient adressés. Il est à remarquer l'ancrage des concepts relevant des modèles classiques⁵⁴ (des catégories familières, déjà signifiantes, d'après le langage des RS) pour l'interprétation du modèle ondulatoire atomique. Ainsi, le nuage électronique est identifié aux couches (selon 40 % des sujets), ou bien il désigne les trajets dédaléens d'électrons, qui sont pensés de manière classique (*i.e.* comme des particules). Cette conception problématique (et génératrice d'obstacle) est retrouvée dans un manuel de physique-chimie français des années '60 :

⁵⁴ Par opposition au modèle quantique moderne (probabiliste) ou ondulatoire.



Source : cf. manuel F05, annexe 4

Figure 1 : Interprétation classique du nuage électronique, une notion uniquement quantique

En général, il apparaît que la majorité des grecs, qui sont initiés au modèle probabiliste de l'atome, réussissent relativement mieux à donner des réponses satisfaisantes, à propos des énoncés L et O. Au contraire, d'autres propositions leur posent problème, comme la Q, concernant le spin électronique. Les scores qu'obtiennent les français sont comparables, sauf pour l'item L, car la transposition française permet de créer du sens uniquement autour d'un électron - corpuscule. Enfin, les français sont deux fois plus nombreux à penser à la structure lacunaire de l'atome que leurs homologues grecs.

Pour la question 5, une autre question de type « caractérisation », destinée aux lycéens (cf. annexe 3, « 2^{de} & Terminales hors TS »), nous avons questionné des aspects plus particuliers, inhérents à la modélisation de l'atome. Nous rappelons que cet enseignement est dispensé aux élèves des classes de seconde, aussi bien selon les programmes français que grecs. Or, nous assistons à une harmonisation des réponses,

puisque les deux groupes attribuent le caractère central aux mêmes items : « proton, neutron et électron », « couches K, L, M... » et « tableau périodique ». Le premier se trouve en accord avec le rôle central des induits « noyau », et secondairement « électron », comme l'a montré la question d'évocation. La prépondérance des « couches » témoigne du succès du modèle planétaire, en tant que comme conception forte chez les élèves, d'après une analogie mécaniste entre le micromonde et le macromonde, en l'occurrence le système Solaire. En ce sens, l'hypothèse 4 semble être bouleversée, au profit de notre troisième l'hypothèse : en effet, ce n'est pas le modèle daltonien qui reste présent à l'esprit, mais le modèle planétaire. Il est bien connu que cette analogie a marqué l'histoire de la physique en ce qui concerne la compréhension de l'atome. Comme le souligne Leconte (2012),

Cette image eut beaucoup plus de succès que celle du pudding de Thomson. [...]. C'est l'image qui est devenue l'image commune, habituelle et simple de l'atome. [...] elle repose sur un principe simple à retenir, fortement valorisé par l'imagination et pourtant totalement étranger à la science moderne : celui de l'identité entre microcosme et macrocosme [...] Cette thèse alchimique et astrologique est un désir très puissant de la connaissance : le monde prendrait la même forme au bout des deux infinis. » (*ibid.*, p. 68).

À titre indicatif, l'ordre de grandeur du rapport entre le rayon du noyau de l'or et le rayon de l'atome d'or est du même ordre que le rapport du rayon solaire au rayon du système solaire : de l'ordre de 10^{-4} , explique l'auteur. Enfin, le troisième item, « tableau périodique » (étroitement lié du point de vue sémantique à la « règle de l'octet », item quasi-central), correspond à un objet de savoir qui est central pour la matière physique-chimie au lycée français, tout comme en chimie au lycée grec, étant donné que la configuration électronique détermine la position des éléments dans le tableau périodique. Il faut également remarquer la différence de statut à propos des « orbites précises » (cf. graphes 13.225 et 13.228). Comme l'enseignement grec aborde cet axiome de Bohr par deux registres sémiotiques différents et coordonnés – couches électroniques K, L... et nombre quantique principal $n = 1, 2... -$, cette congruence sémantique (Duval, 1993) favorise la création de sens et, en dernier ressort, la construction des connaissances. L'image n'est que très légèrement différente chez les élèves des terminales, autres que S. Désormais, la « règle de l'octet » semble être devenue un savoir moribond, autant pour les grecs que pour les français de cette cohorte. En tant qu'élément de savoir de nature plutôt technique, il s'est trouvé hors du noyau de la RS, en vertu d'un effet d'objectivation (tri sélectif d'informations cf. §6.3).

Passant à la discussion du comportement des élèves appartenant à l'échantillon spécifique envers leur « question 5 » (cf. annexe 3, version « Terminale S »), on peut

relever que les termes qui leur font autant écho l'un que l'autre sont : « proton, neutron et électron » et « nuage électronique ». Bien que les programmes français ne traitent pas de l'aspect probabiliste de l'atome, les manuels récents de physique-chimie de seconde y font référence (par des encadrés) au deuxième terme ; cet aspect probabiliste est en quelque sorte un leitmotiv lorsqu'on parle de « physique quantique ». Il en va tout au contraire dans l'enseignement de chimie, en TS grecque. Le modèle ondulatoire et ses concepts connexes sont fortement enseignés (approche micro-écologique), la niche écologique propre au « nuage électronique » étant importante, puisque ce concept sert de base à l'explication de la formation des liaisons moléculaires ; un sujet d'enseignement qui fait partie des programmes. Cependant, ce terme ne figure pas dans les manuels des classes inférieures, comme le montre notre analyse didactique (cf. annexe 4). À titre indicatif, la figure suivante donne deux exemples issus de manuels français et grecs :

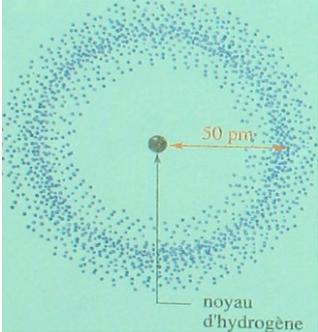
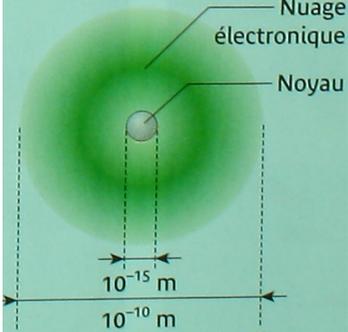
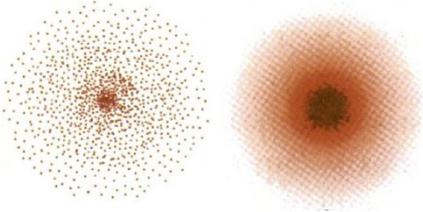
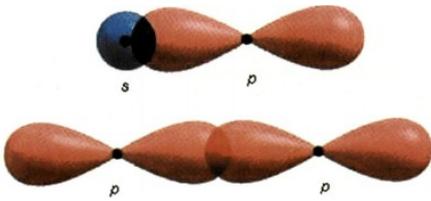
	
<p>« Représentation probabiliste de l'atome d'hydrogène : on représente [...] son unique électron par un nuage de points. » Physique-chimie de 2^{de}, Nathan, 2000</p>	<p>La non localisation des électrons « conduit à parler de nuage électronique [...] ». » Physique-chimie de 3^e, Hatier, 2008</p>
	
<p>« Représentation figurative de la densité du nuage électronique de l'atome d'hydrogène [...] par des points et par densité de couleur. » Chimie de Γ' de Lykeion, TS (OEDB, 2000)</p>	<p>« La liaison σ se produit par recouvrement axial d'une orbitale s et d'une orbitale p ou entre deux orbitales p. » Chimie de Γ' de Lykeion, TS (OEDB, 2000)</p>

Figure 2 : Occurrences du concept quantique de nuage électronique

Bien que la « probabilité de présence de l'électron » se place parmi les éléments caractéristiques de l'atome pour les grecs (chez les français, il est jugé comme périphérique), l'éviction en périphérie des items « énergie quantifiée » et « électron - onde », remet en cause la réussite de l'enseignement du modèle quantique moderne. Cette remarque vient en fait confirmer l'hypothèse 5. De manière analogue, les français, initiés aux principes de la mécanique quantique (quantification, dualité particule - onde, cf. §1.3.2.7), semblent, eux aussi, ne pas se les être vraiment appropriés. Effectivement, l'« électron - onde » reste sans relation avec leur représentation, tandis que les « couches K, L, M... » se trouvent dans le noyau central. En général, opérer un changement de paradigme par l'enseignement nécessite de concevoir une ingénierie didactique importante et longitudinale qui reposerait, entre autres, sur le dépassement du modèle de Bohr (par une discussion sur ses échecs et lacunes) en faveur du nouveau modèle. Les programmes français ne s'y prêtent pas encore, au niveau de lycée. Les programmes grecs qui recommandent cette rupture épistémologique, portent une contradiction interne : cette rupture est assumée par la chimie, mais en même temps les élèves étudient le modèle de Bohr, en physique de culture générale (cf. §1.3.1.12).

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail de thèse a pour objectif de transférer au champ de la didactique des sciences le concept psychosocial des représentations sociales. L'épistémologie qui le soutient renvoie au socio-cognitivism, c'est-à-dire, à une articulation entre le cognitif et le social (conflits sociocognitifs chez Vygotski, sociogenèse des contenus représentationnels et dynamique de construction en fonction des dynamiques sociales et de communication, en référence à Moscovici). Suivant l'hypothèse phénoménologique, interactionniste, la réalité est socialement construite, partagée et transformée dans les pratiques et les interactions quotidiennes, multiple et éphémère, à savoir modelée par un système représentationnel dynamique qui régit le fonctionnement de l'individu (subjectivité de la réalité) et de son groupe d'appartenance, dans un contexte social, historique, culturel et physique donné. Des démarches inductive et compréhensive qui s'intéressent aux modalités de la pensée sociale et des connaissances pratiques, nous permettent d'interpréter et de maîtriser l'environnement et d'orienter nos conduites en société. Lorsque l'on interroge les RS, on s'intéresse à la façon dont les sujets pensent et rendent « l'étrange familier » et non pas à la façon dont ils devraient penser.

En reliant l'individuel au collectif, l'apport en didactique des RS réside dans une meilleure compréhension des systèmes de représentations - connaissances. Elles peuvent à la fois servir d'appui à l'enseignement - apprentissage ou même dévoiler des obstacles le freinant. Par exemple, la mise en exergue de l'élément « nucléaire » dans la RS des élèves français favoriserait une éducation citoyenne vis-à-vis du développement durable. En outre, l'étude des RS a permis le repérage d'un certain nombre d'obstacles, comme l'obstacle de l'« image scientifique », concernant le modèle planétaire de l'atome, qui témoigne d'un homomorphisme entre le micromonde et le macromonde ou entre structures inertes et structures organiques.

L'application des démarches de recherche sur la RS d'un objet épistémique au champ didactique s'avère d'autant plus intéressante et prometteuse que le milieu scolaire constitue un levier de transformation du système représentationnel, élaboré hors classe, vers le savoir institutionnel souhaité.

En ce qui concerne les limites méthodologiques et les contraintes survenues dans le déroulement de notre recherche, nous pouvons répertorier les suivantes :

1. L'approche du noyau central, à propos de laquelle s'inscrit cette recherche, permet le repérage des éléments consensuels qui composent la représentation sociale

étudiée. Cependant, elle ne nous informe pas sur les éléments qui entraînent la prise de position des individus, et donc la dissension. Cet aspect nécessite une autre analyse basée sur la technique des principes organisateurs ;

2. Afin d'identifier avec quelque sûreté le caractère central d'un élément de représentation qui se situe dans la case 1 (cf. tableau 10.2), plusieurs techniques ont été élaborées : la « mise en cause », l'« induction par scénario ambigu », la technique de « reconnaissance de l'objet », etc. (Abric, 2007). Comme les deux premières techniques, les plus usitées dans les recherches du domaine, exigent le retour sur le terrain, après le traitement de la question d'évocation – une éventualité impossible dans notre cas, puisque les enseignants des classes ne pouvaient pas nous concéder une deuxième séance –, nous avons opté pour la question de caractérisation (question 2, cf. annexe 3). En intégrant ce type de questionnaire dans la recherche, nous satisfaisons assez les conditions de la technique de reconnaissance de l'objet : parmi une liste d'items proposés aux sujets, sont considérés comme centraux ceux qui, statistiquement, caractérisent certainement l'objet. Bien que cette méthode soit plus simple et plus légère, son efficacité est jugée moins consolidée relativement aux autres techniques, car l'« interprétation [des résultats] est plus complexe », souligne Abric (*ibid.*, p. 73) ;
3. L'interprétation des résultats obtenus concernant le système représentationnel sondé doit être toujours pensée sous le prisme d'un effet de contexte : l'activation d'un effet de contrat didactique. Autrement dit, puisque l'objet de la représentation constitue un objet épistémique (un thème de savoir scolaire) et étant donné que le recueil des données a lieu en milieu scolaire, les élèves participants tentent d'anticiper les « bonnes réponses » aux questions qui leur sont adressées à travers l'entretien, les questionnaires et la tâche de dessin. Et cela, parce que d'après le contrat didactique établi, il est attendu d'eux d'exercer leur rôle d'élève, de sujet apprenant. Ainsi, le caractère spontané de leur réaction au stimulus « atome » se trouve en principe relativisé, par rapport à leur comportement hors école ;
4. Enfin, nous rappelons que l'interdiction d'interviewer à l'aide d'un dictaphone les élèves grecs, n'a pas permis d'avoir un corpus verbal grec. Ainsi, le graphe 12.2 reste incomplet et sans nous offrir un aspect comparatif entre les élèves grecs et français. Par conséquent, effectuer une rotation gauche de 90° dans ce graphe, pour ensuite le superposer au graphe 15.3 (étant donné que dans ce cas les axes « micro-

macroécologie » des deux graphes coïncideraient), reste pour l'instant une idée féconde, mais inefficace.

Dans la perspective d'ouvrir, à partir de nos résultats, une piste de recherche, nous allons concevoir une ingénierie d'éducation scientifique, de caractère interdisciplinaire. Son sujet porte sur l'obstacle didactique concernant la confusion repérée chez les élèves, notamment de collège, entre les structures de la matière inerte (atome et molécule) et les structures relevant des sciences naturelles (cellule, ADN, « hém-atome », etc.). Comme conséquence, l'atome est souvent pensé en tant qu'entité appartenant au règne animal, d'après nos constatations précédemment citées.

Étant donné que depuis la rentrée 2006, « les prescriptions institutionnelles françaises envisagent l'apprentissage des sciences et de la technologie par une démarche d'investigation considérée comme méthode d'enseignement privilégiée » (Boilevin et Brandt-Pomares, 2011, p. 52), l'expérimentation d'enseignement proposée ici repose sur l'approche des démarches d'investigation. Selon l'orientation pédagogique IBSE – *Inquiry Based Science Education* ou « enseignement des sciences basé sur l'investigation et la résolution de problèmes » –,

Inquiry est une activité à multiples facettes qui inclut : faire des observations, poser des questions, examiner des livres et d'autres sources d'information pour voir ce que l'on sait déjà, planifier des investigations, revoir ce que l'on sait déjà à la lumière de la preuve expérimentale, utiliser des outils pour rassembler, analyser et interpréter des données, construire des réponses, des explications et des prévisions, et communiquer des résultats. *Inquiry* requiert l'identification des problèmes, l'usage d'une pensée critique et logique et la prise en considération d'explications alternatives. (Lebeaume, 2011, p. 32).

S'agissant de l'usage du substantif « investigation », Triquet, Grandit et Guillaud (2012) soulignent qu'il :

correspond à une démarche de type hypothético-déductive qui entre quant à elle par la complexité et se donne pour enjeu le dépassement d'un obstacle. Par ailleurs, elle accorde à chaque étape une large place à la confrontation et au débat. (*ibid.*, p. 117).

L'important, pour Boilevin et Pomares (2011), tient en ce que les élèves aient plus d'autonomie pour construire des connaissances à partir de tâches plus ouvertes et d'activités de plus haut niveau cognitif. En outre, ces auteurs relatent les sept étapes composant une séquence d'investigation, telles que décrites par les documents noosphériques (*ibid.*, p. 52) :

- 1) Le choix d'une situation-problème par l'enseignant ;
- 2) L'appropriation du problème par les élèves ;
- 3) La formulation d'hypothèses explicatives, la conception de protocoles possibles ;
- 4) L'investigation / résolution du problème conduite par les élèves ;
- 5) Le débat argumenté autour des propositions élaborées ;
- 6) L'acquisition et la structuration des connaissances ;
- 7) L'opérationnalisation des connaissances.

Dans le cadre de l'enseignement des sciences physiques et chimiques (SPC), des sciences de la vie et de la Terre (SVT), de la technologie et des mathématiques, on peut repérer, avec Monod-Ansaldi et Prieur (2011), quatre concepts clés articulant les démarches d'investigation : problème, hypothèse, expérience et modèle.

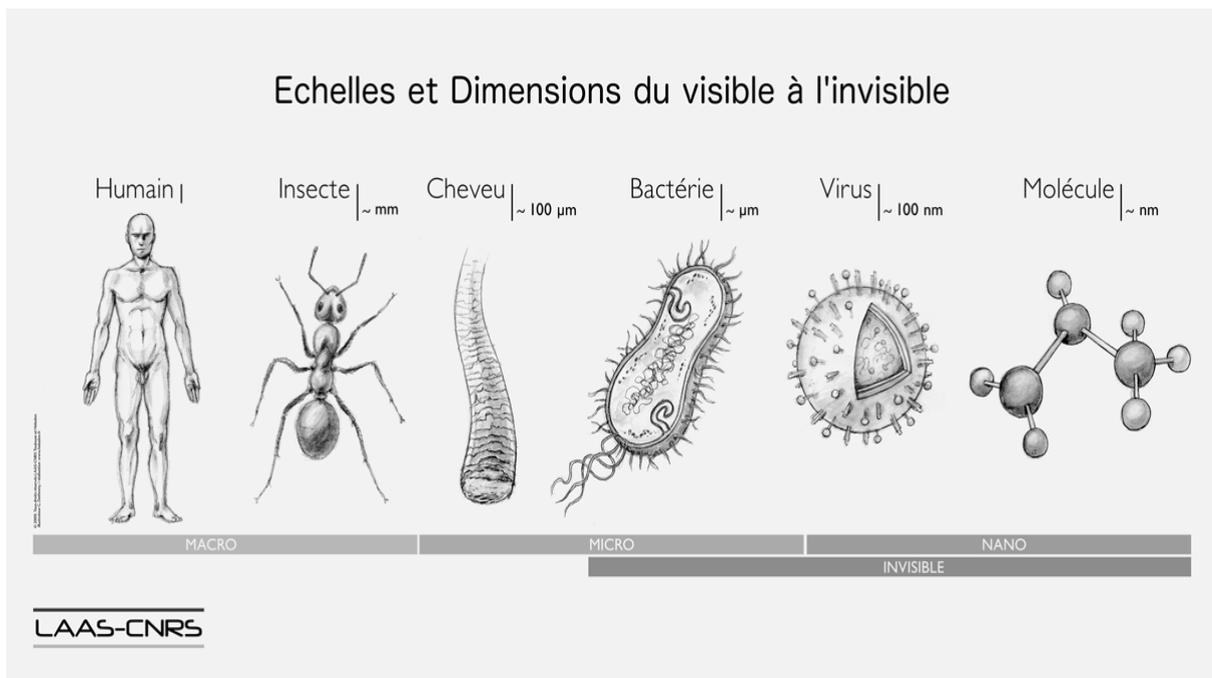
Le tableau suivant synthétise les caractéristiques de l'ingénierie d'éducation scientifique que nous appelons « rapport inerte / vivant » et que nous proposons pour la classe de troisième ou bien en début de lycée, aussi bien pour l'école française que grecque :

Tableau 2 : Principales phases de l'ingénierie didactique « rapport inerte / vivant »

Classe	Troisième de Collège / Seconde de Lycée
Nature du projet	un cours théorique ; des expériences en laboratoire ; un débat de classe
Disciplines impliquées	Physique-Chimie, Sciences de la Vie, Mathématiques
Objectifs	<ul style="list-style-type: none">- Appréhender les dimensions des différentes échelles du micromonde (mm, μm, nm) ;- Distinguer les différents niveaux de complexité dans l'organisation de la matière ;- Connaître les caractéristique du vivant (évolution, métabolisme, reproduction, etc.) ;- Faire vivre une interdisciplinarité entre matières scientifiques
Durée	2 ou 3 séances ordinaires
Produits	<ul style="list-style-type: none">- Analogies illustrant le rapport entre de différentes échelles d'espace ;- Opérations algébriques pour la comparaison de différentes dimensions ;- Modélisation de l'atome et de la cellule (eucaryote et procaryote)⁵⁵

Plus précisément, la notion d'atome, en SPC et celle de cellule, en SVT, sont abordées dès le collège, dans les deux systèmes d'enseignement, français et grec. Et, en seconde, les élèves acquièrent plus de connaissances sur la structure atomique et cellulaire. Ainsi, un cours visant à confronter les deux architectures et à distinguer le noyau de l'atome et le noyau de la cellule, tout comme les nucléons et les nucléotides, pourrait servir d'activité d'introduction à l'ingénierie didactique. Dans un deuxième temps, les élèves s'approprient, à l'aide du microscope optique de biologie, avec les différentes échelles de mesure d'objets microscopiques, notamment ceux qui sont invisibles à l'œil nu : un virus, une cellule végétale, etc. Cette activité vise à leur faire prendre conscience de l'échelle pertinente pour mesurer telle ou telle structure, par exemple le millimètre ($1\text{mm} = 10^{-3}\text{ m}$) pour les plus grosses bactéries d'une longueur jusqu'à 0,5mm (cf. sitographie, lien 13), ou le micromètre ($1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{ m}$) pour un gros virus pouvant mesurer 0,9 μm (cf. sitographie, lien 14). Par rapport à ces tailles, une macromolécule, comme l'ADN, ne mesure que 2nm de diamètre ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$). Les élèves sont invités de construire une frise d'objets, comme la suivante :

⁵⁵ Les cellules eucaryotes contiennent un noyau bien formé, alors que les procaryotes n'en disposent pas.



Source : Brossais et Panissal (2013)

Figure 3 : Frise de différents objets physiques

Partant de ces principes, cette approche permet de déterminer le seuil d'échelle au-delà duquel la matière obtient, dans son organisation, la complexité nécessaire pour que le phénomène de la vie apparaisse. C'est-à-dire, repérer la frontière entre la matière inerte et la matière organique. À cet égard, il nous paraît fécond d'invoquer le concept d'auto-organisation, lié à la compréhension du vivant, de « la machine vivante (auto-organisatrice) [opposée à] la machine artefact (simplement organisée). » pour emprunter à Morin (1991). La différence fondamentale entre le vivant et le non vivant, explique le philosophe, n'est pas dans la matière – l'un et l'autre sont des éléments matériels –, elle est dans le type d'organisation, dans la complexité de l'organisation du vivant. Et, il poursuit :

En effet, la machine artefact est constituée d'éléments extrêmement fiables [...]. Toutefois, la machine, dans son ensemble, est beaucoup moins fiable que chacun de ses éléments pris isolément. [...] Par contre, il en va tout autrement de la machine vivante (auto-organisée). Ses composants sont très peu fiables : ce sont des molécules qui se dégradent très rapidement, et tous les organes sont évidemment constitués de ces molécules ; du reste, on voit que dans un organisme, les molécules, comme les cellules, meurent et se renouvellent, à ce point qu'un organisme reste identique à lui-même [...]. (*ibid.*, p. 44).

Nous citons un compte rendu d'entretien qu'a donné Morin au site Web Philagora (cf. [sitographie](#), lien 15) : l'être vivant dispose d'un certain nombre de qualités et de propriétés

qui tiennent à son organisation. Les premières qualités concernent l'auto-éco-organisation, c'est-à-dire que le vivant trouve en lui-même la capacité permanente de se réparer, de se régénérer. Comme le vivant est toujours en activité, il doit puiser de l'énergie dans son environnement. Morin parle d'auto-éco-organisation, pour expliquer qu'il n'y a pas d'autonomie sans dépendance. Ce trait donne des qualités émergentes qui n'existeraient pas sans cette organisation : ce sont les qualités qu'on appelle vie (métaboliser, se reproduire, être en relation active avec son environnement).

Au cours de la dernière étape du projet, les élèves sont incités à concevoir des analogies pour illustrer l'ordre de grandeur entre un atome léger (comme l'hydrogène), un atome lourd (par exemple, l'uranium), une molécule (tels NO, CH₄, etc.), une molécule biologique (acide ribonucléique, protéine, etc.). À titre d'exemple, si les atomes d'azote dans un nucléotide sont simulés par les grains de lentille (d'un diamètre de 2mm), il s'agirait d'estimer les dimensions de la molécule d'ADN, puis celles du noyau de la cellule la contenant, enfin, le diamètre de la cellule elle-même. Ce type de tâches nécessite une révision de connaissances en physique-chimie, en biologie également, tout comme la maîtrise des propriétés des puissances, en algèbre.

En conclusion, un débat en classe peut être lancé dans l'objectif d'inciter les élèves à délimiter les structures organiques des structures inorganiques et d'argumenter sur les particularités des unes et des autres.

BIBLIOGRAPHIE

(Les références grecques sont données aussi en grec).

- Abric, J.C. (1987). *Coopération, compétition et représentations sociales*. Cousset : DelVal.
- Abric, J.C. (1987). *Psychologie de la communication. Théories et méthodes*. Paris : Armand Colin.
- Abric, J.C. (1989). L'étude expérimentale des représentations sociales. Dans D. Jodelet (dir.), *Les représentations sociales* (p. 205-223). Paris : Presses Universitaires de France.
- Abric, J.C. (1994). *Pratiques sociales et représentations*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Abric, J.C. (2001). L'approche structurale des représentations sociales : développements récents. *Psychologie et société*, 4(2), 81 -104.
- Abric, J.C. (2007). La recherche du noyau central et de la zone muette des représentations sociales. Dans J.C. Abric (dir.), *Méthodes d'étude des représentations sociales* (p. 59-80). Ramonville Saint-Agne : érès.
- Abric, J.C. et Guimelli, C. (1998). Représentations sociales et effets de contexte. *Connexions*, 72, 31-42.
- Akrivos, P. (2010). *Éléments d'histoire des sciences et d'épistémologie. Chimie*. Thessalonique : Ziti.
- Ακρίβος, Π. (2010). *Στοιχεία ιστορίας των επιστημών και επιστημολογίας. Χημεία*. Θεσσαλονίκη: Ζήτη.
- Albe, V. (2009). L'enseignement de controverses socioscientifiques. Quels enjeux sociaux, éducatifs et théoriques ? Quelles mises en forme scolaires ? *Éducation et didactique*, 3(1), 45-76.
- Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
- Apostolidis, T. (2007). Représentations sociales et triangulation : enjeux théorico-méthodologiques. Dans J.C. Abric (dir.), *Méthodes d'étude des représentations sociales* (p. 13-35). Ramonville Saint-Agne : érès.
- Arsac, G., Develay, M. et Tiberghien, A. (1989). *La transposition didactique en mathématique, en physique et en biologie*. IREM de Lyon et LIRDIS.

- Artaud, M. (1997). Introduction à l'approche écologique du didactique. L'écologie des organisations mathématiques et didactiques. Dans M. Bailleul (dir.), *Actes de l'11^{ème} École d'été de didactique des mathématiques* (p. 101-139). Rennes : IUFM de Rennes.
- Assude, T. (1992). *Un phénomène d'arrêt de la transposition didactique : écologie de l'objet « racine carrée » et analyse du curriculum*. Thèse de doctorat. Université Joseph Fourier, Grenoble.
- Assude, T. (1996). De l'écologie et de l'économie d'un système didactique : une étude de cas. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, 16(1), 47-72.
- Assude, T. et Margolinas, C. (2005). Aperçu sur les rôles des manuels dans les recherches en didactique des mathématiques. Dans E. Bruillard (dir.), *Manuels scolaires, regards croisés* (p. 213-241). Caen : CRDP de Basse-Normandie.
- Astolfi, J.P. et Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16, 103-141.
- Auberlet, A., Bataille, X., Bourgeois, A., Carrié, H., Frajman, P. et Warin, S. (2006). *Chimie PCSI 2^{de} période, option PC*. Paris : Nathan.
- Bachelard, G. (1938 / 2004). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- Bachelard, G. (1940 / 2002). *La philosophie du non*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Bachelard, G. (1951). *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Bangenrter, A. (2008). *La diffusion des croyances populaires. Le cas de l'effet Mozart*. Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- Bardin, L. (1977). *L'analyse de contenu*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Barlet, R. et Plouin, D. (1997). La dualité microscopique-macroscopique un obstacle sous-jacent aux difficultés en chimie dans l'enseignement universitaire. *Aster*, 25, 143-169.
- Ben Abderrahman, M.L. (2000). Pertinence et limites de la notion de « rapport au savoir » en didactique des sciences. Dans A. Chabchoub (dir.), *Rapports aux savoirs et apprentissage des sciences* (p. 187-194). Actes du 5^e colloque international de didactique et d'épistémologie des sciences. Sfax : Association tunisienne des recherches didactiques.
- Bensaude-Vincent, B. (2004). *Se libérer de la matière ? Fantômes autour des nouvelles technologies*. Paris : Institut national de la recherche agronomique.

- Berdot, P., Blanchard-Laville, C. et Camara Dos Santos, M. (1997). La construction de l'espace psychique dans la classe. Dans C. Blanchard-Laville (dir.), *Variations sur une leçon de mathématiques* (p. 217-258). Paris : L'Harmattan.
- Bernard, S., Clément, P. et Carvalho, G. (2007). *Méthodologie pour une analyse didactique des manuels scolaires, et sa mise en œuvre sur un exemple*. Récupéré de : https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/7082/1/BNQ_Method-Manuels.pdf
- Bêty, M.N. (2010). Pont théorique entre les principaux modèles de changement conceptuel et l'enseignement des sciences au primaire. *Revue canadienne des jeunes chercheuses et chercheurs en éducation*, 3(1), 1-13.
- Boilevin, J.M. et Brandt-Pomares, P. (2011). Démarches d'investigation en sciences et en technologie au collège : les conditions d'évolution des pratiques. Dans M. Grangeat (dir.), *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves* (p. 50-62). Lyon : École Normale Supérieure.
- Bonardi, C. et Roussiau, N. (1999). *Les représentations sociales*. Paris : DUNOD.
- Bonnec, Y., Roussiau, N. et Vergès, P. (2003). L'analyse prototypique et catégorielle : une étude sur la démarche qualité en institution hospitalière. *European Review of Applied Psychology*, 52(3-4), 293-304.
- Bosch, M et Chevallard, Y. (1999). La sensibilité de l'activité mathématique aux ostensifs. *Recherches en didactique des mathématiques*, 19(1), 77-124.
- Brossais, E. et Panissal, N. (2013). Nouvelles formes d'interaction science-société au collège : le cas de l'éducation citoyenne aux nanotechnologies. *Les dossiers des sciences de l'éducation*, 29, 81-108.
- Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, 7(2), 33-115.
- Brousseau, G. (1988). Le contrat didactique : le milieu. *Recherches en didactique des mathématiques*, 9(3), 309-336.
- Brousseau, G. (1996). Cours 2 : Les stratégies de l'enseignant et les phénomènes typiques de l'activité didactique. Dans R. Noirfalise et M.J. Perrin-Glorian (dirs.), *Actes de l'8^e École d'Été de didactique des mathématiques* (p. 16-30). Clermont-Ferrand : IREM.
- Brousseau, G. (2004). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La pensée sauvage.

- Bruillard, E. (2005). Les manuels scolaires questionnés par la recherche. Dans E. Bruillard (dir.), *Manuels scolaires, regards croisés* (p 13-36). Caen : CRDP de Basse-Normandie.
- Budde, M., Niedderer, H., Scott, P. and Leach, J. (2002). 'Electronium': a quantum atomic teaching model. *Physics education*, 37(3), 197-203.
- Caillot, M. (2001). Y a-t-il des élèves en didactique des sciences ? Ou quelles références pour l'élève. Dans A. Terrisse (dir.), *Didactique des disciplines, les références au savoir* (p. 141-155). Bruxelles : De Boeck.
- Cappiello, P. et Venturini, P. (2009). L'approche socio-anthropologique du rapport au savoir en sciences de l'éducation et en didactique des sciences. *Communication orale au 1^{er} colloque international de didactique comparée*, Genève, Suisse.
- Catel, L., Coquidé, M. et Gallezot, M. (2002). « Rapport au savoir » et apprentissage différencié de savoirs scientifiques de collégiens et de lycéens : quelles questions ? *Aster*, 35, 123-148.
- Charlet-Brehelin, D. (1999). *Contribution à l'enseignement - apprentissage du concept d'atome au collège*. Thèse de doctorat. Université de Montpellier 2.
- Charlot, B. (1997). *Du rapport au savoir. Éléments pour une théorie*. Paris : Anthropos.
- Charlot, B. (1999). *Le rapport au savoir en milieu populaire*. Paris : Anthropos.
- Charlot, B., Bautier, E. et Rochex, J.Y. (1992). *École et savoir dans les banlieues et ailleurs*. Paris : Armand Colin.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique - Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée sauvage.
- Chevallard, Y. (1988). Esquisses d'une théorie formelle du didactique. Dans C. Laborde (dir.), *Actes du 1^{er} colloque franco-allemand de didactique des mathématiques et de l'informatique* (p. 97-106). Grenoble : La Pensée sauvage.
- Chevallard, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 19, 77-124.
- Chevallard, Y. (1994). *Ostensifs et non-ostensifs dans l'activité mathématique*. Récupéré de : http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php3?id_article=125
- Chevallard, Y. (1994). Les processus de transposition didactique et leur théorisation. Dans G. Arsac, Y. Chevallard, J.L. Martinand, A. Tiberghien (dirs.), *La transposition didactique à l'épreuve* (p. 135-180). Grenoble : La Pensée sauvage.

- Chevallard, Y. (1996). *La transposition didactique et l'avenir de l'École*. Récupéré de : http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php3?id_article=6
- Chevallard, Y. (1997). Les savoirs enseignés et leur forme scolaire de transmission : un point de vue didactique. *Skholê*, 7, 45-64.
- Chevallard, Y. (2002). *Approche anthropologique du rapport au savoir et didactique des mathématiques*. Récupéré de : http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php3?id_article=6
- Chevallard, Y. (2002). *Organiser l'étude : 3. Écologie et régulation*. Récupéré de : http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php3?id_article=53
- Chevallard, Y. (2003). Approche anthropologique du rapport au savoir et didactique des mathématiques. Dans S. Maury et M. Caillot (dirs.), *Rapport au savoir et didactiques* (p. 81-104). Paris : Fabert.
- Chevallard, Y. (2006). *La théorie anthropologique des faits didactiques devant l'enseignement de l'altérité culturelle et linguistique Le point de vue d'un outsider*. Récupéré de : http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php3?id_article=70
- Chevallard, Y. (2007). *Trois leçons sur les Parcours d'Étude et de Recherche*. Récupéré de : http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php3?id_article=133
- Chevallard, Y. (2009). *La notion de PER : problèmes et avancées*. Récupéré de : http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php3?id_article=161
- Chevallard, Y. (2010). La didactique, dites-vous ? *Éducation et didactique*, 4(1), 136-143.
- Chevallard, Y. (2011). *Les problématiques de la recherche en didactique à la lumière de la TAD*. Récupéré de : http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php3?id_article=208
- Christidis, T. (1997). *Chaos et causalité probabiliste : entre déterminisme et hasard. Une étude des concepts et principes de physique*. Thessalonique : Vaniias.
- Χρηστίδης, Θ. (1997). *Χάος και πιθανολογική αιτιότητα: μεταξύ προκαθορισμού και τύχης. Μια σπουδή των φυσικών εννοιών και αρχών*. Θεσσαλονίκη: Βάνιας.
- Clément, P. (1998). La biologie et sa didactique. Dix ans de recherches. *Aster*, 27, 57-93.
- Clément, P. (2010). Conceptions, représentations sociales et modèle KVP. *Skholê*, 16, 55-70.
- Çökelez, A. (2005). *Le registre des modèles (atome, molécule, ion, liaison chimique) dans l'enseignement de la matière et ses transformations au lycée. Du savoir de référence au savoir appris*. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux 2.

- Cros, D., Fayol, M., Maurin, M., Chastrette, M., Amouroux, R. et Leber, J. (1984). Atome, acides-bases, équilibre. Quelles idées s'en font les étudiants arrivant à l'université. *Revue française de pédagogie*, 88, 49-60.
- Dany, L. (2006). *La drogue et le cannabis. Approche psychosociale*. Thèse de doctorat. Université d'Aix-Marseille.
- De Vos, W. and Verdonk, A.H (1987). A new road to reactions, Part 4-5. *Journal of Chemistry Education*. 64(8), 692-694.
- De Vos, W. and Verdonk, A.H. (1996). The particulate nature of matter in science education and in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 657-664.
- De Vries, E. (2011). *Technologie, conception, représentation*. Conférence présentée au séminaire de l'équipe de recherche GESTEPRO (Groupe de recherche en Éducation Scientifique, Technologique et Professionnelle – EA 4671-ADEF, Aix-Marseille Université), Marseille.
- Doise, W. (1990). Les représentations sociales. Dans R. Ghiglione, C. Bonnet et J.F. Richard (dirs.), *Traité de psychologie cognitive, vol. 3. Cognition, représentation, communication* (p. 111-174). Paris : Dunod.
- Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11, 481-490.
- Dumon, A. et Çökelez, A. (2006). La cohésion de la matière. Une approche historique. *L'actualité chimique*, 297, 49-56.
- Duval, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives de l'IREM de Strasbourg*, 5, 37-65.
- Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine. Registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*. Berne : Peter Lang.
- El Bouazzaoui, H. (1988). *Conceptions des élèves et des professeurs à propos de la notion de continuité d'une fonction*. Thèse de doctorat. Université Laval, Québec.
- Flament, C. (1987). Pratiques et représentations sociales. Dans J.L. Beauvois, R.V. Joule et J.M. Monteil (dirs.), *Perspectives cognitives et conduites sociales, tome 1. Théories implicites et conflits cognitifs* (p. 143-150). Cousset : Delval.
- Flament, C. (1989). Structure et dynamique des représentations sociales. Dans D. Jodelet (dir.), *Les représentations sociales* (p 224-239). Paris : Presses Universitaires de France.

- Flament, C. (1994). Structure, dynamique et transformation des représentations sociales. Dans J.C. Abric (dir.), *Pratiques sociales et représentations* (p. 37-58). Paris : Presses Universitaires de France.
- Flament, C. (1994). Aspects périphériques des représentations sociales. Dans C. Guimelli (dir.), *Structures et transformations des représentations sociales* (p. 85-118). Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Flament, C. et Rouquette, M.L. (2003). *Anatomie des idées ordinaires. Comment étudier les représentations sociales*. Paris : Armand Colin.
- Fourez, G. (2002). Les sciences dans l'enseignement secondaire. *Didaskalia*, 21, 107-122.
- Frechengues, P. (1999). *Transposition didactique et complexification conceptuelle : contribution à l'étude du cas de l'électron*. Thèse de Doctorat. Université de Montpellier 2.
- Garnett, P.J. and Hackling, M.W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.
- Georgoussi, K. et Tsaparlis, G. (2007, mars). *Concepts, grandeurs et équations communs en physique et chimie scolaires – Idées d'élèves de lycée sur les points communs, les ressemblances et les différences*. Communication présentée au 5^e colloque de didactique des sciences et des TICE, Ioannina, Grèce.
- Γεωργούση, Κ. και Τσαπαρλής, Γ. (2007, μάρτιος). *Έννοιες, μεγέθη, εξισώσεις που είναι κοινά στη σχολική Φυσική και Χημεία. Ιδέες των μαθητών λυκείου για την κοινότητα, τις ομοιότητες και τις διαφορές*. Ανακοίνωση στο 5^ο συνέδριο Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Ιωάννινα, Ελλάδα.
- Gilly, M. (1994). Les représentations sociales dans le champ éducatif. Dans D. Jodelet (dir.), *Les représentations sociales* (p. 363-386). Paris : Presses Universitaires de France.
- Giordan, A (1999). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Paris : Belin.
- Griffiths, K.A. and Preston, R.K. (1992). Grade-12 students. misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 611-628.
- Grivopoulos, K. (2013, août). *L'enseignement de l'atome vu par la physique-chimie en France et, par la physique et la chimie en Grèce*. Communication présentée au

- congrès de l'actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF), Montpellier, France.
- Grivopoulos, K. (2014, mai). *Obstacles épistémologiques et didactiques dans l'enseignement du spin électronique*. Communication affichée à la 3^e Journée Épistémologie « Épistémologie et Didactique », Montpellier, France.
- Guimelli, C. (1993). Locating the central core of social representations: towards a method. *European Journal of Social Psychology*, 23(5), 555-559.
- Guimelli, C. (1999). *La pensée sociale*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Guimelli, C. et Rouquette, M.L. (1992). Contribution du modèle associatif des schèmes cognitif de base à l'analyse structurale des représentations sociales. *Bulletin de Psychologie*, 45(405), 196-202.
- Hannoun, P. (2008). La mécanique vue par les sciences de l'ingénieur et la physique. Des ancrages théoriques communs, des éclairages différents ; le cas du frottement. Dans A. Hasni et J. Lebeaume (dirs.), *Interdisciplinarité et enseignement scientifique et technologique* (p. 111-129). Lyon : INRP. Sherbrooke (Québec) : Éditions du CRP.
- Harman, P.M. (1980). *Energy, Force and Matter: The Conceptual Development of Nineteenth Century Physics*. Cambridge University Press.
- Harrison, A.G. and Treagust, D.F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80, 509-34.
- Harrison, A.G. and Treagust, D.F. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: a case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, 84, 352-381.
- Hoffmann, M., Dill, D., Garik, P., Golger, A. (2005). *Dispelling Myths and Misconceptions Through the Visualization of Quantum Concepts in General Chemistry*. Boston University.
- Howitt, D. and Cramer, D. (2008). *Introduction to SPSS in Psychology: for version 16 and earlier*. Pearson Education Limited.
- Jacobi, D. (1984). Figures et figurabilité de la science dans des revues de vulgarisation. *Langage*, 75, 23-42.
- Jacobi, D. (1986). *Diffusion et vulgarisation. Itinéraires du texte scientifique*. Paris : Les belles lettres.
- Jacobi, D. (1987a). *Textes et images de la vulgarisation scientifique*. Berne : Peter Lang.
- Jacobi, D. (1987b). Quelques formes du savoir savant dans les discours de vulgarisation scientifique. *Aster*, 4, 91-118.

- Jacobi, D., Boquillon, M. et Prévost, P. (1994). Les représentations spatiales de concepts scientifiques : inventaire et diversité. *Didaskalia*, 5, 11-24.
- Jodelet, D. (1984). Représentation sociale : phénomènes, concept et théorie. Dans S. Moscovici (dir.), *Psychologie sociale* (p. 361-382). Paris : Presses Universitaires de France.
- Jodelet, D. (1991). Représentations sociales. Dans *Le grand dictionnaire de la psychologie* (p. 668-672). Paris : Larousse.
- Johnston, K. (1988). Learning and teaching about the particulate theory of matter: a report on a teaching scheme in action, in proceeding of a bi-national UK-Israel seminar: *Learning difficulties in chemistry* (p. 55-79), Jerusalem.
- Johsua, S. et Dupin, J.J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Jonnaert, P. et Laurin, S. (2001). *Les didactiques des disciplines, un débat contemporain*. Montréal : Presses de l'Université du Québec.
- Journal officiel de la République Grecque (1999). Programme de chimie du lycée. *Numéro spécial°343 du 13 avril 1999*. Athènes : Ministère de l'éducation nationale grec.
- Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας (1999). Αναλυτικά προγράμματα σπουδών Φυσικής και Χημείας λυκείου. *Αρ. Φύλλου 343 της 13^{ης} Απριλίου 1999*. Αθήνα: Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων.
- Journal officiel de la République Grecque (2003) Programme de physique du Lycée. *Numéro spécial°150 du 13 février 2003*. Athènes : Ministère de l'éducation nationale grec.
- Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας (2003). Αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών Φυσικής λυκείου. *Αρ. Φύλλου 150 της 13^{ης} Φεβρουαρίου 2003*. Αθήνα: Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων.
- Jurdant, B. (1969). Vulgarisation scientifique et idéologie. *Communications*, 14, 150-161.
- Kalampalikis, N. (2007). L'apport de la méthode Alceste dans l'analyse des représentations sociales. Dans J.C. Abric (dir.), *Méthodes d'étude des représentations sociales* (p. 147-163). Ramonville Saint-Agne : érès.
- Kalampalikis, N. (2009). Le processus de l'ancrage : l'hypothèse d'une familiarisation à l'envers. *Carnets du GRePS*, 1, 19-25.
- Kane, J. et Sternheim, M. (1995). *Physique*. (M. Delmelle, R. Evrard, L. Schmit et J.P. Vigneron, trad.). Paris : InterÉditions. (Ouvrage original publié en 1984 sous le titre *Physics, Second Edition*. New York : John Wiley and Sons, Inc.).

- Kontogeorgiou, A., Kotsis, K. et Mikropoulos, T. (2007, mars). *L'atome est-il quantique ? L'image mentale des étudiants*. Communication au 5^e colloque de Didactique des sciences physiques et des TICE, Ioannina, Grèce.
- Κοντογεωργίου, Α., Κώτσης, Κ. και Μικρόπουλος, Τ. (2007, μάρτιος). *Είναι κβαντικό το άτομο; Η νοητική εικόνα των φοιτητών*. Ανακοίνωση στο 5^ο συνέδριο Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Ιωάννινα, Ελλάδα.
- Kuhn, T. (2008). *La structure des révolutions scientifiques* (L. Meyer, trad.). Paris : Flammarion. (Ouvrage original publié en 1962 sous le titre *The structure of scientific revolutions*. Chicago : The University of Chicago Press).
- Kuzniak, A. (2004). La théorie des situations didactiques de Brousseau. *L'ouvert*, 110, 17-33.
- Lahlou, S. (1995). *Penser Manger. Les représentations sociales de l'alimentation*. Thèse de Doctorat. École des hautes études en sciences sociales, Paris.
- Lahlou, S. (2007). L'exploration des représentations sociales à partir des dictionnaires. Dans J.C. Abric (dir.), *Méthodes d'étude des représentations sociales* (p. 37-58). Ramonville Saint-Agne : érès.
- Laugier, A. et Dumon, A. (2003). Obstacles épistémologiques et didactiques à la construction du concept d'élément chimique : quelles convergences ? *Didaskalia*, 22, 69-97.
- Lautier, N. (2001). *Psychologie de l'éducation. Regard sur les situations d'enseignement*. Paris : A. Colin.
- Lebeaume, J. (2011). L'investigation pour l'enseignement des sciences : actualité des enjeux. Dans M. Grangeat (dir.), *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves* (p. 19-34). Lyon : École Normale Supérieure.
- Leconte, G. (2012). *Images verbales et images scientifiques dans « La Formation de l'Esprit Scientifique »*. Récupéré de : <http://www.implications-philosophiques.org/>
- Legardez, A. (2004). L'utilisation de l'analyse des représentations sociales dans une perspective didactique : L'exemple de questions économiques, *Revue des sciences de l'éducation*, 30(3), 647-665.
- Legardez, A. (2004). Transposition didactique et rapports aux savoirs : l'exemple des enseignements de questions économiques et sociales, socialement vives. *Revue française de la pédagogie*, 149, 19-27.

- Legardez, A. et Lebatteux, N. (2002). Entreprise et représentations dans les enseignements professionnels tertiaires. *Aster*, 34, 181-211.
- Lenoir, Y. (2008). L'interdisciplinarité dans l'enseignement scientifique : apports à privilégier et dérives à éviter. Dans A. Hasni et J. Lebeaume (dirs.), *Interdisciplinarité et enseignement scientifique et technologique* (p. 17-32). Lyon : INRP. Sherbrooke (Québec) : Éditions du CRP.
- Malafosse, D. et Lerouge, A. (2000). Ruptures et continuités entre physique et mathématique à propos de la caractéristique des dipôles électriques linéaires. *Aster*, 30, 65-85.
- Margolinas, C. (1998). Le milieu et le contrat, concepts pour la construction et l'analyse de situations d'enseignement. Dans R. Noirfalise (dir.), *Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques* (p. 3-16). La Rochelle : IREM Clermont-Ferrand.
- Matheron, Y. (2000). Analyser les praxéologies. Quelques exemples d'organisations mathématiques. *Petit x*, 54, 51-78.
- Matheron, Y. et Salin, M.H. (2002). Les pratiques ostensives comme travail de construction d'une mémoire officielle de la classe dans l'action enseignante. *Revue française de pédagogie*, 141, 57-66.
- Mercier, A. (2001). *Le temps didactique*. Récupéré de : <http://hchicoine.files.wordpress.com/2008/05/mercier-2001-temps-didactique.pdf>
- Mercier, A. (2002). La transposition didactique, une théorie de l'espace didactique. Note de synthèse. Vers une didactique comparée. *Revue Française de Pédagogie*, 141, 135-171.
- Mialaret, G. (2004). *Les méthodes de recherche en sciences de l'éducation*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Ministère de l'Éducation nationale. (2008). Projet de document d'accompagnement du 17 mars 2008 en physique-chimie de collège (classes de 5^e et de 4^e).
- Ministère de l'Éducation nationale. (2008). Bulletin officiel spécial n°6 du 28 août 2008, programmes de l'enseignement de physique-chimie de collège.
- Ministère de l'Éducation nationale. (2008). Ressources en physique-chimie (août 2008) de la classe de troisième de collège.
- Ministère de l'Éducation nationale. (2010). Bulletin officiel spécial n°4 du 29 avril 2010, programmes de physique-chimie en classe de seconde générale et technologique.

- Ministère de l'Éducation nationale. (2010). Ressources pour la classe de seconde générale et technologique du 20 juillet 2010. Physique-chimie, thème « Univers ».
- Ministère de l'Éducation nationale. (2010). Ressources pour la classe de seconde générale et technologique du 20 juillet 2010. Physique-chimie, thème « Sport ».
- Ministère de l'Éducation nationale. (2010). Ressources pour la classe de seconde générale et technologique du 20 juillet 2010. Physique-chimie, thème « Santé ».
- Ministère de l'Éducation nationale. (2010). Bulletin officiel spécial n°9 du 30 septembre 2010, programmes de physique-chimie en classe de première.
- Ministère de l'Éducation nationale. (2011). Ressources pour la classe de première générale et technologique (juillet 2011). Série S.
- Ministère de l'Éducation nationale. (2011). Ressources pour la classe de première générale et technologique (octobre 2011). Section ES et L.
- Ministère de l'Éducation nationale. (2011). Bulletin officiel spécial n°8 du 13 octobre 2011, programmes de l'enseignement spécifique et de spécialité de physique-chimie en classe de terminale, série scientifique.
- Ministère de l'Éducation nationale. (2012). Bulletin officiel spécial n°1 du 5 janvier 2012, programmes d'école primaire.
- Ministère de l'Éducation nationale. (2012). Ressources pour la classe terminale générale et technologique (juillet 2012). Physique-chimie, série S. Dualité onde-particule.
- Ministère de l'Éducation nationale. (2014). Ressources pour le cycle terminal – Série scientifique (février 2014).
- Moliner, P. (1988). *La représentation sociale comme grille de lecture. Étude expérimentale de sa structure et aperçu sur ses processus de transformation*. Thèse de Doctorat. Université d'Aix-Marseille.
- Moliner, P. (1989). Validation expérimentale de l'hypothèse du noyau central des représentations sociales. *Bulletin de Psychologie*, 42, 759-762.
- Moliner, P. (1993). Cinq questions à propos des représentations sociales. *Cahiers internationaux de psychologie sociale*, 20, 5-14.
- Moliner, P. (2008). Représentations sociales et iconographie. *Communication et organisation*, 34, 12-23.
- Monod-Ansaldi, R. et Prieur, M. (2011). *Démarches d'investigation dans l'enseignement secondaire : représentations des enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie*. Rapport de recherche. Lyon, France : Institut Français de l'Éducation – École Normale Supérieure de Lyon.

- Morin, E. (1991). *La méthode. 4. Les idées. Leur habitat, leur vie, leurs mœurs, leur organisation*. Paris : Seuil.
- Moscovici, S. (1961 / 1976). *La psychanalyse, son image et son public*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Moscovici, D. (1981). *L'âge des foules. Un traité historique de psychologie des masses*. Paris : Fayard.
- Moscovici, S. (1984). *Psychologie Sociale*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Moscovici, S. et Hewstone, M. (1984). De la science au sens commun. Dans S. Moscovici (dir.), *Psychologie sociale* (p. 539-572). Paris : Presses Universitaires de France.
- Μρampiniotis, G. (1998). *Dictionnaire du grec moderne*. Athènes : Centre de lexicologie.
- Μπαμπινιώτης, Γ. (1998). *Λεξικό της νέας ελληνικής γλώσσας*. Αθήνα: Κέντρο λεξικολογίας.
- Μρampiniotis, G. (2011). *Dictionnaire étymologique du grec moderne. L'histoire des mots*. Athènes : Centre de lexicologie.
- Μπαμπινιώτης, Γ. (2011). *Ετυμολογικό Λεξικό της Νέας Ελληνικής Γλώσσας. Ιστορία των λέξεων*. Αθήνα: Κέντρο λεξικολογίας.
- Nicoll, G. (2001). A report of undergraduates' bonding misconceptions. *International Journal of Science Education*, 23(7), 707-730.
- Niedderer, H. and Petri, J. (1998). A learning pathway in high-school level quantum atomic physics. *International Journal of Sciences Education*, 20(9), 1075-1088.
- Novak, J.D. (1990). Concept mapping: a useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 937-949.
- Novick, S., Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross age study. *Science Education*, 65(2), 187-196.
- Olenick, R.P. (2008). *Comprehensive Conceptual Curriculum for Physics (C3P) project. Misconceptions and preconceptions in introductory physics*. Récupéré de : <http://phys.udallas.edu/C3P/Preconceptions.pdf>
- Orange-Ravachol, D. et Orange, C. (2013). Le concept de représentations en didactique des sciences : sa nécessaire composante épistémologique et ses conséquences. *Recherches en éducation*, 17, 46-61.
- Osborne, R. and Freyberg P. (1985). *Learning in science: the implications of children's science*, Auckland: Heineman.
- Papafotis, G. et Tsaparlis, G. (2009). *Est-ce possible de trouver l'électron de l'atome d'hydrogène en état fondamental en dehors de l'espace défini par l'orbitale 1s ?*

Difficultés cognitives d'élèves de lycée à propos de notions quantiques de base et des efforts pour un changement conceptuel. Communication au 6^e colloque grec de la didactique des sciences et des TICE, Florina, Grèce.

- Παπαφώτης, Γ. και Τσαπαρλής, Γ. (2009, μάιος). *Είναι δυνατό να βρεθεί το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάστασή του έξω από τον χώρο που ορίζεται ως τροχιακό 1s; Νοηματικές δυσκολίες μαθητών λυκείου για βασικές κβαντοχημικές έννοιες και προσπάθειες εννοιολογικής αλλαγής.* Ανακοίνωση στο 6^ο συνέδριο Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Φλώρινα, Ελλάδα.
- Pelegrinis, T. (1998). *Les cinq époques de la philosophie.* Athènes : Lettres grecques.
- Πελεgrίνης Θ. (1998). *Οι πέντε εποχές της φιλοσοφίας.* Αθήνα: Ελληνικά γράμματα.
- Perrin, J. (2014). *Les atomes.* Paris : Flammarion.
- Pétroff, A.J. (1984). Sémiologie de la reformulation dans le discours scientifique et technique. *Langue française*, 64, 53-67.
- Petropoulou, A. (2012). *La première réforme éducative en Grèce, depuis le changement politique (1974-1997). Approches idéologiques, sociales et politiques.* Thèse de doctorat. Université d'Égée.
- Πετροπούλου, Α. (2012). *Η πρώτη εκπαιδευτική μεταρρύθμιση στη μεταπολιτευτική Ελλάδα (1974-1997): ιδεολογικές, κοινωνικές και πολιτικές προσεγγίσεις.* Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Piaget, J. (1947 / 2008). *La représentation du monde chez l'enfant.* Paris : Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. et Inhelder, B. (1966). *L'image mentale chez l'enfant.* Paris : Presses Universitaires de France.
- Popper, K. (1990). *Logique de la découverte scientifique.* Paris : Payot.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. et Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Pullman, B. (1995). *L'atome dans l'histoire de la pensée humaine.* Paris : Fayard.
- Quivy, R. et Van Campenhoudt, L. (1988). *Manuel de Recherche en Sciences Sociales.* Paris : Bordas.
- Rajoson, L. (1988). *L'analyse écologique des conditions et des contraintes dans l'étude des phénomènes de transposition didactique : trois études de cas.* Thèse de Doctorat. Université d'Aix-Marseille.

- Rateau, P. (1999). Les représentations sociales. Dans J.P. Pétard (dir.), *Psychologie sociale* (p. 161-211). Paris : Bréal.
- Reinert, M. (1990). Une méthode d'analyse des données textuelles et une application : Aurelia de G. de Nerval. *Bulletin de Méthodologie Sociologique*, 26, 24-54.
- Reinert, M. (1999). Quelques interrogations à propos de l'« objet » d'une analyse de discours de type statistique et de la réponse « Alceste ». *Langage et Société*, 90, 57-79.
- Renard, E. et Roussiau, N. (2007). Transformation des représentations sociales et persuasion (modèle ELM) : les effets de la crédibilité de la source. *Bulletin de psychologie*, 3, 211-224.
- Robert, A.D. et Bouillaguet, A. (2002). *L'analyse de contenu*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Rouquette, M.L. et Rateau, P. (1998). *Introduction à l'étude des représentations sociales*. Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- Roussiau, N. (2012). Cours de Nicolas Roussiau, 2012-2013. Master 2. Les représentations sociales – niveau 2. Récupéré de : <http://www.univ-nantes.fr/roussiau-n>
- Schizodimou, A. et Akrivos, P. (2013). *Idées alternatives des élèves des classes de seconde sur la formation et les propriétés chimiques des molécules. Étude de leur origine et des facteurs de permanence*. Récupéré de : http://www.sxbe.gr/wp-content/uploads/2014/07/shiz_akriv.pdf
- Σχιζοδήμου, Α. και Ακρίβος, Π. (2013). *Εναλλακτικές ιδέες των μαθητών της Α' τάξης του λυκείου όσον αφορά στο σχηματισμό και τις χημικές ιδιότητες των μορίων. Διερεύνηση της προέλευσης και των παραγόντων διατήρησής τους*. Ανασύρθηκε από: http://www.sxbe.gr/wp-content/uploads/2014/07/shiz_akriv.pdf
- Serway, R. (1990). *Physics for scientists & engineers with Modern Physics*. 3rdEd, Saunders College Publishing.
- Shiland, T. (1997). Quantum Mechanics and Conceptual Change in High School Chemistry Textbooks. *Journal of research in science teaching*, 34(5), 535-545.
- Simonneaux, J. (2011). *Les configurations didactiques des questions socialement vives économiques et sociales*. Habilitation à diriger des recherches. Université d'Aix-Marseille.
- Simonneaux, J. et Legardez, A. (2005). *Didactique de l'économie et de la gestion*. Récupéré de : http://oatao.univ-toulouse.fr/3686/1/Simonneaux_3686.pdf

- Simonneaux, L. et Legardez, A. (2011). La didactique des Questions Socialement Vives : un nouveau champ de recherche pour répondre aux besoins de formation dans la société post moderne. Dans L. Simonneaux et A. Legardez (dirs.), *Développement durable et autres questions d'actualité. Les Questions Socialement Vives dans l'enseignement et la formation* (p. 15-30). Dijon : Educagri.
- Tavignot, P. (1995). À propos de la transposition didactique en didactique des mathématiques. *Spirale*, 15, 31-60.
- Thuillier, P. (1997). *La revanche des sorcières. L'irrationnel et la pensée scientifique*. Paris : Belin.
- Tiberghien, A. (2011). Conception et analyse de ressources d'enseignement : le cas des démarches d'investigation. Dans M. Grangeat (dir.), *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves* (p. 185-212). Lyon : École Normale Supérieure.
- Tiberghien, A., Buty, C., Coquidé, M., Cordier, F., Cornuéjols, A., Veillard, L.,... Rogalski, J. (2002). *Des connaissances naïves au savoir scientifique. Synthèse commandée par le programme « École et sciences cognitives »*. UMR GRIC, CNRS – Université de Lyon 2.
- Tiberghien, A., Malkoun, L., Buty, C., Souassy, N. et Mortimer, E. (2007). Analyse des savoirs en jeu en classe de physique à différentes échelles de temps. Dans G. Sensevy et A. Mercier (dirs.), *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (p. 93-122). Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- Tiberghien, A. et Vince, J. (2005). Étude de l'activité des élèves de lycée en situation d'enseignement de la physique. Dans V. Pugibet et N. Gettliffe-Grant (dirs.), *Pluralité des langues et des supports : descriptions et approche didactiques* (p. 153-176). Lyon : École Normale Supérieure.
- Tochon V.F. (1990). Les cartes de concepts dans la recherche cognitive sur l'apprentissage et l'enseignement. *Perspectives documentaires en éducation*, 21, 87-105.
- Triquet, E., Grandit, M. et Guillaud, J.C. (2012). Démarches scientifiques, démarches d'investigation en sciences expérimentales et en mathématiques. Dans B. Calmettes (dir.), *Didactique des sciences et démarches d'investigation : références, représentations, pratiques et formation* (p. 214-234). Paris : L'Harmattan.
- Tsai, C.C. (1998). An analysis of Taiwanese eighth graders. science achievement, scientific epistemological beliefs and cognitive structure outcomes after learning basic atomic theory. *International Journal of Science Education*, 20, 413-425.

- Veillard, L., Tiberghien, A. et Vince, J. (2011). Analyse d'une activité de conception collaborative de ressources pour l'enseignement de la physique et la formation des professeurs : le rôle des théories ou outils spécifiques. *Activités*, 8(2), 202-227.
- Venturini, P. (2005). Rapports idéal-typiques à la physique d'élèves de l'enseignement secondaire. *Didaskalia*, 26, 9-32.
- Venturini, P. (2007, août). *Utilisation du rapport au savoir en didactique de la physique : un premier bilan*. Communication présentée au congrès de l'actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF), Strasbourg, France.
- Vergès, P. (1994). Approche du noyau central : propriétés quantitatives et structurales. Dans C. Guimelli (dir.), *Structures et transformations des représentations sociales* (p. 233-254). Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Vergès, P. (1995). Représentations sociales partagées, périphériques, indifférentes, d'une minorité : méthodes d'approche. *Cahiers internationaux de psychologie sociale*, 28, 77-95.
- Vergès, P. (2001). L'analyse des représentations sociales par questionnaires. *Revue française de sociologie*, 42(3), 537-561.
- Vergès, P., Scano, S. et Junique, C. (2002). *Ensemble des programmes permettant l'analyse des évocations. EVOG 2000. Programmes Windows (Delphi 2 et 3). Programmes Turbo-Pascal (Delphi 3)*. Document non publié. Aix-en-Provence : MMSH-LAMES.
- Vergès, P., Junique, C. et Zeligier, R. (2002). *Ensemble des programmes permettant l'analyse de similitude de questionnaires et de données numériques. Programme Windows (SIMI 2000). Programme AVRIL (version 3.0). Programmes Turbo-Pascal (Delphi 3)*. Document non publié. Aix-en-Provence : MMSH-LAMES-IRPEACS.

SITOGRAFIE

1. <http://guy-brousseau.com/>
2. <http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/>
3. <http://www.education.gouv.fr/>
4. <http://ebooks.edu.gr/2013/allcourses.php>
5. <http://eduscol.education.fr/>
6. <http://eduscol.education.fr/physique-chimie/>
7. <http://dschool.edu.gr/>
8. <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/atome/6132?q=atome#6110>
9. http://www.greek-language.gr/greekLang/modern_greek/tools/lexica/triantafyllides/index.html
10. http://pagesped.cahuntsic.ca/sc_sociales/psy/methosite/consignes/decision.htm
11. http://ask.liv.ac.uk/help/undergraduate/entry_reqs/A_Level_definition
12. <http://www.minedu.gov.gr/themata-eksetaseon/82-anakoinwseis-eksetasewn/9837-25-06-13-2013.html>
13. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Bacteria>
14. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Virus>
15. <http://www.philagora.net/philofac/edgar-morin/un-vivant.php>
16. http://sciences.univ-amu.fr/Licences_2014
17. <http://perso.fundp.ac.be/~clefebvr/chimie/fichesderevision/revision1/index.htm>
18. <http://vimeo.com/atlanticvideo>
19. <http://sobhanak.canalblog.com/archives/2008/02/02/7790705.html>
20. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lemery%27s_corpuscles.svg#mediaviewer/Fichier:Lemery%27s_corpuscles.svg
21. http://pegase.ens-lyon.fr/theme.php?rubrique=2&id_theme=23
22. http://media.education.gouv.fr/file/2011/01/4/DEPP-RERS-2011_190014.pdf

DOCTORAT D'AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ

ANNEXES DE THÈSE

de

Konstantinos GRIVOPOULOS

Sommaire des annexes

ANNEXE 1 : Questionnaire de la pré-enquête en France	519
ANNEXE 2 : Questionnaire de la pré-enquête en Grèce	530
ANNEXE 3 : Questionnaires de l'enquête principale	541
ANNEXE 4 : Tableaux d'analyse didactique des manuels	564
ANNEXE 5 : Analyse de contenu, à propos des entretiens	673
ANNEXE 6 : Décision de l'Institut Pédagogique de Grèce de non autorisation d'enregistrement audiovisuel des élèves enquêtés	679
ANNEXE 7 : Effectifs de lycéens grecs, en 2010-11	681
ANNEXE 8 : Démonstration de la condition des courbes quasi-J	683

ANNEXE 1 : Questionnaire de la pré-enquête en France

1A) Version « collègue » :

Université de Provence – Sciences de l'éducation
UMR P3 ADEF (Apprentissage, Didactique, Évaluation, Formation)

Mai 2010, Pré-enquête en France

1. « Dessine-moi un atome » :

2. Questionnaire

version 'collège'

Entretien N° : Date :mai / 2010.....

Établissement / Ville :

Fille Garçon Année de naissance :

1) Depuis quand l'homme a soupçonné l'existence des atomes ? (Souligne un des trois)

Antiquité 18^e siècle (1700-1800) 20^e siècle (1900-2000)

2) Depuis quand on a des véritables preuves expérimentales (incontestables) de l'existence des atomes ? (Souligne un des trois)

Antiquité 19^e siècle (1800-1900) 20^e siècle (1900-2000)

3) Depuis quand on dispose des connaissances sur la structure interne de l'atome ? (Souligne un des trois)

18^e siècle (1700-1800) 19^e siècle (1800-1900) 20^e siècle (1900-2000)

4) D'après toi, un ballon d'hélium contient combien d'atomes d'hélium ? (Souligne un des trois)

3	L'homme arrive-t-il à en fabriquer artificiellement ?				
4	Il en existe sur nous ?				
5	Les voit-on à l'aide du microscope optique ordinaire ?				
6	Peut-on les photographier avec un microscope extra puissant ?				
7	L'atome, est-il plein ?				
8	Est-ce que les atomes, ça se mange ?				
9	Est-ce que les atomes, ça s'aspire ?				
10	Dans les laboratoires, les scientifiques peuvent-ils couper un atome avec une lame extrêmement fine ?				
11	L'atome a-t-il de la masse ?				
12	Atome = molécule ?				
13	Atome = cellule ?				
14	Peut-on parler de prolifération, de division et de décomposition de l'atome à la manière de la cellule ?				
15	L'atome relève-t-il du Vivant, c'est du Vivant ?				
16	Avec la mort des cellules, les atomes se détruisent-ils ?				
17	Le fait que le sucre, la farine ou le sable sont formés de petits grains, nous permet-il d'inférer l'existence d'atomes de sucre, de sable, etc. ?				
18	Les atomes constituant le feuillage (verdure) sont-ils verts ?				
19	Est-ce que l'énergie emmagasinée dans le noyau atomique est-elle dangereuse, nuisible ?				
20	Les atomes, en général, restent-ils isolés (non assemblés) sur Terre ?				
21	Le cuivre par réchauffement se dilate ; est-il autant pour chacun de ses atomes ?				
22	Si on pouvait attraper un atome existant au cœur du soleil, serait-il très chaud, brûlant, comme des charbons ardents ?				
23	Lors du mélange des gaz, p.ex. He+Ne, les atomes d'hélium, ou ceux du néon, se convertissent-ils, changent-ils de nature ?				
24	En fait, l'atome est-il de la matière ?				

1B) Version « seconde » :

Université de Provence – Sciences de l'Éducation
UMR P3 ADEF (Apprentissage, Didactique, Évaluation, Formation)

Janvier 2011, Pré-enquête en France

1. « Dessine-moi un atome » :

2. Questionnaire

version 'seconde'

Entretien N⁰ : Date :

Établissement / Ville :

Fille Garçon Année de naissance :

1) Depuis quand l'homme a soupçonné l'existence des atomes ? (Souligne une des quatre propositions)

Antiquité époque de Galilée (~ 1600) époque de Newton (peu avant 1700) époque des Curie (~ 1900)

2) Depuis quand il existe des véritables preuves expérimentales (incontestables) de l'existence des atomes ? (Souligne une des quatre propositions)

Antiquité époque de Newton (peu avant 1700) époque des Lavoisier, Dalton (avant 1800) après 1900

3) Depuis quand on dispose des connaissances sur la structure interne de l'atome ? (Souligne une des trois propositions)

époque de Newton (avant 1700) époque des Lavoisier, Dalton (avant 1800) 20^e siècle (1900-2000)

13) En général, entre atomes et molécules :

lesquels sont les plus gros ?

lesquels sont les plus compliqués ?

lesquels ont été créés les premiers ?

lesquels ont le plus de masse ?

14) Coche avec un « x » la case de ton choix :

		non	plutôt non	plutôt oui	oui
1	Éternels, impérissables les atomes ?				
2	Actuellement, se créent-ils des atomes ?				
3	Il en existe sur nous ?				
4	Y a-t-il des atomes artificiellement créés par les scientifiques ?				
5	Les voit-on à l'aide du microscope optique ordinaire ?				
6	Peut-on les photographier avec un appareil photo extra puissant ?				
7	L'atome, est-il plein ?				
8	Est-ce que les atomes, ça se mange ?				
9	Est-ce que les atomes, ça s'aspire ?				
10	Dans les laboratoires, les scientifiques peuvent-ils couper un atome avec une lame extrêmement fine ?				
11	Les atomes commencent-ils à apparaître avec la vie, sur Terre ?				
12	L'atome a-t-il de la masse ?				
13	A-t-il de la charge électrique ?				
14	Atome = molécule ?				
15	Atome = cellule ?				
16	Peut-on parler de prolifération de l'atome, à la manière de la cellule ?				
17	L'atome relève-t-il du Vivant, c'est du Vivant ?				
18	Avec la mort des cellules, les atomes les constituant se détruisent-ils ?				

19	Le fait que le sucre, la farine ou le sable sont formés de petits grains, nous permet-il d'inférer l'existence d'atomes de sucre, de sable, etc. ?				
20	Les atomes constituant le feuillage (verdure) sont-ils verts ?				
21	Est-ce que l'énergie emmagasinée dans le noyau atomique est-elle dangereuse, nuisible ?				
22	Les atomes, en général, restent-ils isolés (non assemblés) sur Terre ?				
23	Le fer solide devient gazeux à 2861°C ; ses atomes disparaissent-ils alors ?				
24	L'azote liquide est le gaz diazote N ₂ refroidi en -200°C. Est-ce que chacun de ses atomes est-il alors froid ?				
25	On parle des atomes d'hydrogène, d'oxygène, etc. Y-a-t-il plus de trente différentes espèces ?				
26	Le cuivre par réchauffement se dilate ; en est-il autant pour chacun de ses atomes ?				
27	Si on pouvait attraper un atome existant au cœur du soleil, serait-il très chaud, brûlant, comme des charbons ardents ?				
28	Lors de la transformation du sodium de l'état solide à l'état gazeux, ses atomes se convertissent-ils, changent-ils de structure ?				
29	Lors du mélange des gaz, p.ex. He+Ne (pas de réaction), les atomes d'hélium, ou ceux du néon, se convertissent-ils, changent-ils de structure ?				
30	En fait, l'atome est-il de la matière ?				

Merci beaucoup ! Konstantinos Grivopoulos, doctorant en Sciences de l'Éducation

1C) Version « terminale » :

Université de Provence – Sciences de l'Éducation
UMR P3 ADEF (Apprentissage, Didactique, Évaluation, Formation)

Janvier 2011, Pré-enquête en France

1. « Dessine-moi un atome » :

2. Questionnaire

version 'terminale'

Entretien N⁰ : Date :

Série de baccalauréat :

Établissement / Ville :

Fille Garçon Année de naissance :

1) Depuis quand l'homme a soupçonné l'existence des atomes ? (Souligne une des quatre propositions)

Antiquité époque de Galilée (~ 1600) époque de Newton (peu avant 1700) époque des Curie (~ 1900)

2) Depuis quand il existe des véritables preuves expérimentales (incontestables) de l'existence des atomes ? (Souligne une des quatre propositions)

Antiquité époque de Newton (peu avant 1700) époque des Lavoisier, Dalton (avant 1800) après 1900

3) Depuis quand on dispose des connaissances sur la structure interne de l'atome ? (Souligne une des trois propositions)

époque de Newton (avant 1700) époque des Lavoisier, Dalton (avant 1800) 20^e siècle (1900-2000)

lesquels sont les plus gros ?

lesquels sont les plus compliqués ?

lesquels ont été créés les premiers ?

lesquels ont le plus de masse ?

14) Coche avec un « x » la case de ton choix :

		non	plutôt non	plutôt oui	oui
1	Éternels, impérissables les atomes ?				
2	Actuellement, se créent-ils des atomes ?				
3	Il en existe sur nous ?				
4	Y a-t-il des atomes artificiellement créés par les scientifiques ?				
5	Les voit-on à l'aide du microscope optique ordinaire ?				
6	Peut-on les photographier avec un appareil photo extra puissant ?				
7	L'atome, est-il plein ?				
8	Est-ce que les atomes, ça se mange ?				
9	Est-ce que les atomes, ça s'aspire ?				
10	Dans les laboratoires, les scientifiques peuvent-ils couper un atome avec une lame extrêmement fine ?				
11	Les atomes commencent-ils à apparaître avec la vie, sur Terre ?				
12	L'atome a-t-il de la masse ?				
13	A-t-il de la charge électrique ?				
14	Atome = molécule ?				
15	Atome = cellule ?				
16	Peut-on parler de prolifération de l'atome, à la manière de la cellule ?				
17	L'atome relève-t-il du Vivant, c'est du Vivant ?				
18	Avec la mort des cellules, les atomes les constituant se détruisent-ils ?				
19	Le fait que le sucre, la farine ou le sable sont formés de petits grains, nous permet-il d'inférer l'existence d'atomes de sucre, de sable, etc. ?				

20	Les atomes constituant le feuillage (verdure) sont-ils verts ?				
21	Est-ce que l'énergie emmagasinée dans le noyau atomique est-elle dangereuse, nuisible ?				
22	Les atomes, en général, restent-ils isolés (non assemblés) sur Terre ?				
23	Le fer solide devient gazeux à 2861°C ; ses atomes disparaissent-ils alors ?				
24	L'azote liquide est le gaz diazote N ₂ refroidi en -200°C. Est-ce que chacun de ses atomes est-il alors froid ?				
25	On parle des atomes d'hydrogène, d'oxygène, etc. Y-a-t-il plus de trente différentes espèces ?				
26	Le cuivre par réchauffement se dilate ; en est-il autant pour chacun de ses atomes ?				
27	Si on pouvait attraper un atome existant au cœur du soleil, serait-il très chaud, brûlant, comme des charbons ardents ?				
28	Lors de la transformation du sodium de l'état solide à l'état gazeux, ses atomes se convertissent-ils, changent-ils de structure ?				
29	Lors du mélange des gaz, p.ex. He+Ne (pas de réaction), les atomes d'hélium, ou ceux du néon, se convertissent-ils, changent-ils de structure ?				
30	Les électrons dans les atomes ne se comportent pas comme de petites billes, mais ils se « dissolvent » et deviennent des ondes, des nuages diffus. Êtes-vous d'accord avec cette représentation ?				
31	Est-il probable que l'électron de l'atome d'hydrogène, en état fondamental, se trouve à une distance au noyau supérieure à celle correspondant au premier rayon de Bohr r ₁ (première orbite) ?				
32	En fait, l'atome est-il de la matière ?				

Merci beaucoup ! Konstantinos Grivopoulos, doctorant en Sciences de l'Éducation

ANNEXE 2 : Questionnaire de la pré-enquête en Grèce

2A) Version « collègue » :

Université de Provence – Sciences de l'éducation
UMR P3 ADEF (Apprentissage, Didactique, Évaluation, Formation)

Mars 2011, Pré-enquête en Grèce

1. **Écris entre 3 et 5 mots ou expressions** (composées de deux ou trois mots) qui te viennent spontanément à l'esprit quand tu penses à l'atome. (Attention : non pas des synonymes du mot « personne », tels « homme », « société », « individu », etc.)

- 1)..... 2).....
3)..... 4).....
5).....

2. « Dessine-moi un atome » :

3. Questionnaire

version 'collège'

Date :-3-2011

Établissement / Ville :

Fille Garçon Année de naissance :

1) Depuis quand l'homme a soupçonné l'existence des atomes ? (Souligne un des trois)

Antiquité 18^e siècle (1700-1800) 20^e siècle (1900-2000)

2) Depuis quand on a des véritables preuves expérimentales (incontestables) de l'existence des atomes ? (Souligne un des trois)

5	Les voit-on à l'aide du microscope optique ordinaire ?				
6	Peut-on les photographier avec un microscope extra puissant ?				
7	L'atome, est-il plein ?				
8	Est-ce que les atomes, ça se mange ?				
9	Dans les laboratoires, les scientifiques peuvent-ils couper un atome avec une lame extrêmement fine ?				
10	En fait, l'atome est-il de la matière ?				
11	Atome = molécule ?				
12	Atome = cellule ?				
13	Peut-on parler de prolifération, de division et de décomposition de l'atome à la manière de la cellule ?				
14	L'atome relève-t-il du Vivant, c'est du Vivant ?				
15	Avec la mort des cellules, les atomes se détruisent-ils ?				
16	Le fait que le sucre, la farine ou le sable sont formés de petits grains, nous permet-il d'inférer l'existence d'atomes de sucre, de sable, etc. ?				
17	Si on pouvait attraper un atome existant au cœur du soleil, serait-il très chaud, brûlant, comme des charbons ardents ?				

Merci beaucoup ! Konstantinos Grivopoulos, doctorant en Sciences de l'Éducation

2B) Version « 2de & terminales hors TS » :

Université de Provence – Sciences de l'Éducation
UMR P3 ADEF (Apprentissage, Didactique, Évaluation, Formation)

Mars 2011, Pré-enquête en Grèce

1. Écris entre 3 et 5 mots ou expressions (composées de deux ou trois mots) qui te viennent spontanément à l'esprit quand tu penses à l'atome. (Attention : non pas des synonymes du mot « personne », tels « homme », « société », « individu », etc.)

- 1)..... 2).....
3)..... 4).....
5).....

2. « Dessine-moi un atome » :

3. Questionnaire

version '2de & terminales hors TS'

Date :-3-2011

Établissement / Ville :

Fille Garçon Année de naissance :

1) Depuis quand l'homme a soupçonné l'existence des atomes ? (Souligne une des quatre propositions)

Antiquité époque de Galilée (~ 1600) époque de Newton (peu avant 1700)

2) Depuis quand il existe des véritables preuves expérimentales (incontestables) de l'existence des atomes ? (Souligne une des quatre propositions)

lesquels ont été créés les premiers ?

lesquels sont les plus légers ?

12) Coche avec un « x » la case de ton choix :

		non	plutôt non	plutôt oui	oui
1	Éternels, impérissables les atomes ?				
2	Actuellement, se créent-ils des atomes ?				
3	Y a-t-il des atomes artificiellement créés par les scientifiques ?				
4	Il en existe sur nous ?				
5	Les voit-on à l'aide du microscope optique ordinaire ?				
6	Peut-on les photographier avec un appareil photo extra puissant ?				
7	L'atome, est-il plein ?				
8	Est-ce que les atomes, ça se mange ?				
9	Dans les laboratoires, les scientifiques peuvent-ils couper un atome avec une lame extrêmement fine ?				
10	Les atomes commencent-ils à apparaître avec la vie, sur Terre ?				
11	L'atome a-t-il de la masse ?				
12	A-t-il de la charge électrique ?				
13	Atome = molécule ?				
14	Atome = cellule ?				
15	Peut-on parler de prolifération de l'atome, à la manière de la cellule ?				
16	L'atome relève-t-il du Vivant, c'est du Vivant ?				
17	Avec la mort des cellules, les atomes les constituant se détruisent-ils ?				
18	Le fait que le sucre, la farine ou le sable sont formés de petits grains, nous permet-il d'inférer l'existence d'atomes de sucre, de sable, etc. ?				
19	Est-ce que l'énergie emmagasinée dans le noyau atomique est-elle dangereuse, nuisible ?				
20	Les atomes, en général, restent-ils isolés (non assemblés) sur Terre ?				
21	Si on pouvait attraper un atome existant au cœur du soleil, serait-il très chaud, brûlant, comme des charbons ardents ?				

22	Le fer solide devient gazeux à 2861°C ; ses atomes disparaissent-ils alors ?				
23	On parle des atomes d'hydrogène, d'oxygène, etc. Y-a-t-il plus de trente différentes espèces ?				
24	Le cuivre par réchauffement se dilate ; en est-il autant pour chacun de ses atomes ?				
25	Lors du mélange des gaz, p.ex. He+Ne (pas de réaction), les atomes d'hélium, ou ceux du néon, se convertissent-ils, changent-ils de structure ?				
26	Lors de la transformation du sodium de l'état solide à l'état gazeux, ses atomes se convertissent-ils, changent-ils de structure ?				
27	En fait, l'atome est-il de la matière ?				

2C) Version « Terminale S » :

Université de Provence – Sciences de l'Éducation
UMR P3 ADEF (Apprentissage, Didactique, Évaluation, Formation)
Mars 2011, Pré-enquête en Grèce

1. Écris entre 3 et 5 mots ou expressions (composées de deux ou trois mots) qui te viennent spontanément à l'esprit quand tu penses à l'atome. (Attention : non pas des synonymes du mot « personne », tels « homme », « société », « individu », etc.)

- 1)..... 2).....
3)..... 4).....
5).....

2. « Dessine-moi un atome » :

3. Questionnaire

version 'Terminale S'

Date :-3-2011

Établissement / Ville :

Fille Garçon Année de naissance :

1) Depuis quand l'homme a soupçonné l'existence des atomes ? (Souligne une des quatre propositions)

Antiquité époque de Galilée (~ 1600) époque de Newton (peu avant 1700)

2) Depuis quand il existe des véritables preuves expérimentales (incontestables) de l'existence des atomes ? (Souligne une des quatre propositions)

Antiquité époque de Newton (peu avant 1700) époque de Lavoisier, Dalton (avant 1800) après 1900

3) Depuis quand on dispose des connaissances sur la structure interne de l'atome ? (Souligne une des trois propositions)

époque de Newton (avant 1700) époque de Lavoisier, Dalton (avant 1800) 20^e siècle (1900-2000)

4) D'après toi, un ballon d'hélium He contient combien d'atomes d'hélium ? (Souligne une des trois propositions)



mille millions

mille milliards

beaucoup plus

5) Dans sa forme géométrique, l'atome est plutôt : (Souligne une des quatre propositions)

un cube

une sphère

autre

6) Un atome pèse environ : (Souligne une des cinq propositions)

1/2 gramme

1/1000 gr

1/1000000000 gr

beaucoup moins

0 gr pile

7) À quel moment les atomes constituant, par exemple, tes ongles sont-ils créés? (Souligne une des trois propositions)

au moment de ma naissance

pendant la formation du fœtus

il y a 5 milliards d'années (âge du soleil)

8) Combien de fois l'atome est plus petit comparé à l'épaisseur d'un cheveu (0,1 mm) ? (Souligne une des trois propositions)

mille fois

1 million de fois

1 milliard de fois

9) Réécris en ordonnant du plus grand au plus petit :

a) cellule ; b) tête d'épingle ; c) atome ; d) molécule ; e) électron ; f) proton

.....

← grand

petit →

10) Des assemblages d'atomes forment des édifices chimiques. Leur arrangement correspond-t-il à : (Souligne une des cinq propositions)

des cercles

des droites

des carreaux

ça dépend

11) En général, entre atomes et molécules :

lesquels sont les plus compliqués ?

lesquels ont été créés les premiers ?

lesquels sont les plus légers ?

12) Coche avec un « x » la case de ton choix :

		non	plutôt non	plutôt oui	oui
1	Éternels, impérissables les atomes ?				
2	Actuellement, se créent-ils des atomes ?				
3	Y a-t-il des atomes artificiellement créés par les scientifiques ?				
4	Il en existe sur nous ?				
5	Les voit-on à l'aide du microscope optique ordinaire ?				
6	Peut-on les photographier avec un appareil photo extra puissant ?				
7	L'atome, est-il plein ?				
8	Est-ce que les atomes, ça se mange ?				
9	Dans les laboratoires, les scientifiques peuvent-ils couper un atome avec une lame extrêmement fine ?				
10	Les atomes commencent-ils à apparaître avec la vie, sur Terre ?				
11	L'atome a-t-il de la masse ?				
12	A-t-il de la charge électrique ?				
13	Atome = molécule ?				
14	Atome = cellule ?				
15	Peut-on parler de prolifération de l'atome, à la manière de la cellule ?				
16	L'atome relève-t-il du Vivant, c'est du Vivant ?				
17	En fait, l'atome est-il de la matière ?				
18	Avec la mort des cellules, les atomes les constituant se détruisent-ils ?				
19	Le fait que le sucre, la farine ou le sable sont formés de petits grains, nous permet-il d'inférer l'existence d'atomes de sucre, de sable, etc. ?				

20	Est-ce que l'énergie emmagasinée dans le noyau atomique est-elle dangereuse, nuisible ?				
21	Les atomes, en général, restent-ils isolés (non assemblés) sur Terre ?				
22	Si on pouvait attraper un atome existant au cœur du soleil, serait-il très chaud, brûlant, comme des charbons ardents ?				
23	Le fer solide devient gazeux à 2861°C ; ses atomes disparaissent-ils alors ?				
24	On parle des atomes d'hydrogène, d'oxygène, etc. Y-a-t-il plus de trente différentes espèces ?				
25	Le cuivre par réchauffement se dilate ; en est-il autant pour chacun de ses atomes ?				
26	Lors du mélange des gaz, p.ex. He+Ne (pas de réaction), les atomes d'hélium, ou ceux du néon, se convertissent-ils, changent-ils de structure ?				
27	Lors de la transformation du sodium de l'état solide à l'état gazeux, ses atomes se convertissent-ils, changent-ils de structure ?				
28	Serait-il possible de localiser avec précision l'électron dans l'atome, à l'usage d'une technologie future de pointe ?				
29	Est-il probable que l'électron de l'atome d'hydrogène, en état fondamental, se trouve à une distance au noyau supérieure à celle correspondant au premier rayon de Bohr r_1 (première orbite) ?				

Merci beaucoup ! Konstantinos Grivopoulos, doctorant en Sciences de l'Éducation

ANNEXE 3 : Questionnaires de l'enquête principale

(Dans la question 4, nous fournissons, pour notre lecteur, les réponses correctes)

3A) Version « 4^e de collège » :

Questionnaire

4^e de collège

UNIVERSITÉ DE PROVENCE

Département des Sciences de l'Éducation

Laboratoire UMR P3 – ADEF d'Aix-Marseille,

Axe 3 « L'étude, son organisation, les savoirs »

Année universitaire 2010-2011

Travail de recherche dans le cadre de l'École Doctorale 356

« Cognition, Langage, Éducation »

**QUESTIONNAIRE sur des concepts scientifiques
auprès d'élèves français et grecs**

Ce questionnaire est totalement anonyme (nous te demandons quelques renseignements, mais tu ne nous donnes pas ton nom ...) et ne donnera lieu à aucune note ni à aucune évaluation. Il ne s'agit en aucun cas d'un questionnaire de connaissances. Donne simplement ton point de vue, de manière décontractée et spontanée, après avoir bien lu chaque énoncé et sans jamais revenir en arrière ni discuter tes réponses avec les autres. Les résultats de l'enquête en dépendent.

Merci beaucoup pour ta collaboration

Questionnaire élaboré par Konstantinos Grivopoulos,
doctorant en Sciences de l'Éducation

Identification du sujet

numéro du questionnaire

--	--	--

Établissement : Ville :
le/...../ 2011

Tu es : une fille un garçon Année de naissance :

Profession de tes parents :

Père	Mère	Professions
		Agriculteur exploitant, Pêcheur, Ouvrier (maçonnerie, agriculture, artisanat, industrie, transports, municipalité, manutention)
		Artisan, commerçant, chef d'entreprise
		Cadre, profession intellectuelle supérieure (professions scientifiques libérales, cadre de la fonction publique, enseignant, ingénieur, professions information, arts et spectacles, cadre administratif et commercial d'entreprise)
		Profession intermédiaire (santé, travail social, religieux, administration publique ou privée, technicien, contremaître), Employé (civil, policier, pompier, militaire, employé de commerce ou administratif d'entreprise, personnel de services aux particuliers)
		Inactif (retraité, chômeur, sans activité)

Niveau d'études des tes parents :

	Inférieur au Baccalauréat : aucun diplôme, CAP, Brevet	Baccalauréat	Baccalauréat + n années universitaires (n=1, 2, ...)
Mère			
Père			

Question 1

Écris **entre 3 et 5 mots ou expressions** (composées de deux ou trois mots) qui te viennent spontanément à l'esprit quand tu penses à l'**atome** :

Consigne pour les grecs : en grec, le mot «atome» désigne également la personne. Cependant, nous ne cherchons aucunement ici des synonymes du mot « personne », comme « homme », « individu », etc.

..... / ___/

..... / ___/

..... / ___/

..... / ___/

..... / ___/

Hierarchisation : Parmi ces mots, quel est celui que tu trouves **le plus important, le plus significatif** par rapport à l'atome ? Mets le chiffre **1** dans la case (/ ___/) qui se trouve à côté de ce mot, puis le chiffre **2** dans la case qui se trouve à côté du deuxième mot que tu trouves le plus important et ainsi de suite.

numéro du questionnaire

Question 2

a) Lis attentivement le tableau des propositions suivantes relatives à l'atome :

1 l'atome, c'est la molécule	4 il est indivisible	7 tous les atomes sont identiques, tous pareils	10 l'atome est formé par des molécules	13 bombe atomique
2 l'atome contient de l'énergie	5 l'espace entre les étoiles est plein d'atomes	8 l'atome, c'est le composant de tout	11 il est rond	14 l'atome s'est créé sur Terre
3 l'atome est composé d'autres constituants	6 il n'est que dans les laboratoires de chimie	9 il n'est que dans l'air	12 aussi petit que la cellule	15 les atomes émettent de la lumière

b) À partir de ce tableau, reporte dans les cases situées ci-dessous le numéro des **5 propositions** qui, selon toi, **caractérisent le mieux l'atome**. Inscris-les en les rangeant de la plus importante (la plus significative de l'atome) à gauche, à la moins importante à droite.

Note : une fois cette opération terminée, **barre** dans le tableau (a) les 5 cellules que tu as, déjà, choisies :



c) À partir du tableau (a) et des cellules que tu n'as pas barrées, reporte dans les cases ci-dessous le numéro des **5 propositions** qui, selon toi, **caractérisent le moins l'atome**.

Question 3

Nous te demandons, ici, de **te situer** entre chaque couple d'expressions représentant des **opinions opposées** sur une échelle (graduée en 5 points).

Exemple : Les mathématiques selon toi c'est : facile 1 2 3 4 5 difficile
Codage : 1. facile 2. assez facile 3. j'hésite entre les deux 4. assez difficile 5. difficile
Si tu juges personnellement qu'elles sont assez faciles, **tu entoures** le 2.

Maintenant, donne ton avis pour chaque couple d'expressions contradictoires concernant l'atome. **L'atome ...**

1	il pèse exactement 0 gramme	1	2	3	4	5	il est très léger, il pèse très peu
2	c'est comme une boulette pleine	1	2	3	4	5	ce n'est pas plein
3	il est au repos, il ne bouge guère	1	2	3	4	5	il bouge tout le temps
4	il a une membrane externe	1	2	3	4	5	il n'en a pas
5	c'est de la matière	1	2	3	4	5	ce n'est pas de matière
6	c'est du vivant	1	2	3	4	5	ce ne l'est pas
7	il est éternel, impérissable	1	2	3	4	5	il est périssable, il peut se détruire
8	l'homme en a fabriqué	1	2	3	4	5	l'homme n'arrive pas à en fabriquer

Question 4

Pour cet exercice, il t'est demandé de **donner ton opinion** sur les phrases suivantes. Mets une croix dans la case qui correspond à ton avis en face de chaque phrase. Attention, tu dois cocher une seule case par phrase.

Exemple :

	Totalement pas d'accord	En partie pas d'accord	Ni d'accord ni pas d'accord	En partie d'accord	Totalement d'accord
Je peux tomber malade si je ne porte pas mon manteau.					X

Phrases		Totalement pas d'accord	En partie pas d'accord	Ni d'accord ni pas d'accord	En partie d'accord	Totalement d'accord
A	Les objets sont faits d'atomes et molécules, alors que les animaux et les végétaux sont faits de cellules.	X				
B	Lors du brûlage du papier, beaucoup des atomes qui le constituent se détruisent.	X				
C	Les atomes qui composent les os de l'humain se créent au moment de la formation du fœtus.	X				
D	Le verre est fait d'atomes de verre ; le plastique d'atomes de plastique et ainsi de suite.	X				
E	Au cœur du Soleil, où la température frôle les 15 millions degrés °C, il est impossible que les atomes subsistent.	X				
F	Chaque atome d'oxygène est gazeux, alors que chaque atome de fer est solide.	X				
G	Chaque atome de carbone est noir, tandis que chaque atome d'or est jaune.	X				

Merci beaucoup

Questionnaire

2de & Terminales hors TS

UNIVERSITÉ DE PROVENCE

Département des Sciences de l'Éducation

Laboratoire UMR P3 – ADEF d'Aix-Marseille,

Axe 3 « L'étude, son organisation, les savoirs »

Année universitaire 2010-2011

Travail de recherche dans le cadre de l'École Doctorale 356

« Cognition, Langage, Éducation »

**QUESTIONNAIRE sur des concepts scientifiques
auprès d'élèves français et grecs**

Ce questionnaire est totalement anonyme (nous te demandons quelques renseignements, mais tu ne nous donnes pas ton nom ...) et ne donnera lieu à aucune note ni à aucune évaluation. Il ne s'agit en aucun cas d'un questionnaire de connaissances. Donne simplement ton point de vue, de manière décontractée et spontanée, après avoir bien lu chaque énoncé et sans jamais revenir en arrière ni discuter tes réponses avec les autres. Les résultats de l'enquête en dépendent.

Merci beaucoup pour ta collaboration

Questionnaire élaboré par Konstantinos Grivopoulos,
doctorant en Sciences de l'Éducation

Identification du sujetnuméro du questionnaire

--	--	--

Établissement : Ville :

le/...../ 2011

Tu es : une fille un garçon Année de naissance :

Profession de tes parents :

Père	Mère	Professions
		Agriculteur exploitant, Pêcheur, Ouvrier (maçonnerie, agriculture, artisanat, industrie, transports, municipalité, manutention)
		Artisan, commerçant, chef d'entreprise
		Cadre, profession intellectuelle supérieure (professions scientifiques libérales, cadre de la fonction publique, enseignant, ingénieur, professions information, arts et spectacles, cadre administratif et commercial d'entreprise)
		Profession intermédiaire (santé, travail social, religieux, administration publique ou privée, technicien, contremaître), Employé (civil, policier, pompier, militaire, employé de commerce ou administratif d'entreprise, personnel de services aux particuliers)
		Inactif (retraité, chômeur, sans activité)

Niveau d'études des tes parents :

	Inférieur au Baccalauréat : aucun diplôme, CAP, Brevet	Baccalauréat	Baccalauréat + n années universitaires
Mère			
Père			

Question 1

Écris **entre 3 et 5 mots ou expressions** (composées de deux ou trois mots) qui te viennent spontanément à l'esprit quand tu penses à l'**atome** :

Consigne pour les grecs : en grec, le mot «atome» désigne également la personne. Cependant, nous ne cherchons aucunement ici des synonymes du mot « personne », comme « homme », « individu », etc.

..... / ___/

..... / ___/

..... / ___/

..... / ___/

..... / ___/

Hierarchisation : Parmi ces mots, quel est celui que tu trouves **le plus important, le plus significatif** par rapport à l'atome ? Mets le chiffre **1** dans la case (/ ___/) qui se trouve à côté de ce mot, puis le chiffre **2** dans la case qui se trouve à côté du deuxième mot que tu trouves le plus important et ainsi de suite.

numéro du questionnaire

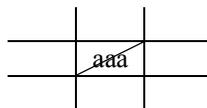
Question 2

a) Lis attentivement le tableau des propositions suivantes relatives à l'atome :

1 l'atome, c'est la molécule	4 il est indivisible	7 tous les atomes sont identiques, tous pareils	10 l'atome est formé par des molécules	13 bombe atomique
2 l'atome contient de l'énergie	5 l'espace entre les étoiles est plein d'atomes	8 l'atome, c'est le composant de tout	11 il est rond	14 l'atome s'est créé sur Terre
3 l'atome est composé d'autres constituants	6 il n'est que dans les laboratoires de chimie	9 il n'est que dans l'air	12 aussi petit que la cellule	15 les atomes émettent de la lumière

b) À partir de ce tableau, reporte dans les cases situées ci-dessous le numéro des **5 propositions** qui, selon toi, **caractérisent le mieux l'atome**. Inscris-les en les rangeant de la plus importante (la plus significative de l'atome) à gauche, à la moins importante à droite.

Note : une fois cette opération terminée, **barre** dans le tableau (a) les 5 cellules que tu as, déjà, choisies :



c) À partir du tableau (a) et des cellules que tu n'as pas barrées, reporte dans les cases ci-dessous le numéro des **5 propositions** qui, selon toi, **caractérisent le moins l'atome**.

Question 3

Nous te demandons, ici, de **te situer** entre chaque couple d'expressions représentant des **opinions opposées** sur une échelle (graduée en 5 points).

Exemple : Les mathématiques selon toi c'est : facile 1 2 3 4 5 difficile
 Codage : 1. facile 2. assez facile 3. j'hésite entre les deux 4. assez difficile 5. difficile
 Si tu juges personnellement qu'elles sont assez faciles, **tu entoures** le 2.

Maintenant, donne ton avis pour chaque couple d'expressions contradictoires concernant l'atome. **L'atome ...**

1	il pèse exactement 0 gramme	1	2	3	4	5	il est très léger, il pèse très peu
2	c'est comme une boulette pleine	1	2	3	4	5	ce n'est pas plein
3	il est au repos, il ne bouge guère	1	2	3	4	5	il bouge tout le temps
4	il a une membrane externe	1	2	3	4	5	il n'en a pas
5	c'est de la matière	1	2	3	4	5	ce n'est pas de matière
6	c'est du vivant	1	2	3	4	5	ce ne l'est pas
7	il est éternel, impérissable	1	2	3	4	5	il est périssable, il peut se détruire
8	l'homme en a fabriqué	1	2	3	4	5	l'homme n'arrive pas à en fabriquer

Question 4

Pour cet exercice, il t'est demandé de **donner ton opinion** sur les phrases-conjectures suivantes. Mets une croix dans la case qui correspond à ton avis en face de chaque phrase. Attention, tu dois cocher une seule case par phrase.

Exemple :

	Totalement pas d'accord	En partie pas d'accord	Ni d'accord ni pas d'accord	En partie d'accord	Totalement d'accord
Je peux tomber malade si je ne porte pas mon manteau.					X

Phrases		Totalement pas d'accord	En partie pas d'accord	Ni d'accord ni pas d'accord	En partie d'accord	Totalement d'accord
A	Les objets sont faits d'atomes et molécules, alors que les animaux et les végétaux sont faits de cellules.	x				
B	Lors du brûlage du papier, beaucoup des atomes qui le constituent se détruisent.	x				
C	Les atomes qui composent les os de l'humain se créent au moment de la formation du fœtus.	x				
D	Le verre est fait d'atomes de verre ; le plastique d'atomes de plastique et ainsi de suite.	x				
E	Au cœur du Soleil, où la température frôle les 15 millions degrés °C, il est impossible que les atomes subsistent.	x				
F	Chaque atome d'oxygène est gazeux, alors que chaque atome de fer est solide.	x				
G	Chaque atome de carbone est noir, tandis que chaque atome d'or est jaune.	x				
H	Dans une goutte d'eau il existe un million d'atomes d'hydrogène et d'oxygène.	x				
I	Si un noyau d'atome était gros comme une balle de tennis de table, les électrons devraient se trouver 1 kilomètre plus loin.					x
J	L'atome d'aluminium a pour numéro atomique 13 et pour nombre de masse 27 ; cela signifie qu'il possède 13 protons et 27 électrons.	x				
K	Les gaz d'oxygène et d'ozone sont formés à partir d'atomes du même type, identiques.					x

Question 5

a) Lis attentivement le tableau des propositions suivantes se référant à l'atome :

7 règle de l'octet	4 orbites d'électrons à distances déterminées du noyau	7 probabilité de présence de l'électron	10 couches K, L, M...
2 les particules : proton, neutron et électron	5 petit volume à charge électrique positive, parsemé d'électrons fixes	8 10^{-10} m	11 tableau périodique
3 orbites d'électrons à distances quelconques du noyau	6 noyau et électrons en rotation circulaire ou ovoïde	9 	12 transitions électroniques

b) À partir de ce tableau, reporte dans les cases situées ci-dessous le numéro des **4 propositions** qui, selon toi, **caractérisent le mieux l'atome**. Inscris-les en les rangeant de la plus importante (la plus significative de l'atome) à gauche, à la moins importante à droite.

Note : une fois cette opération terminée, **barre** dans le tableau (a) les 4cellules que tu as, déjà, choisies.

c) À partir du tableau (a) et des cellules que tu n'as pas barrées, reporte dans les cases ci-dessous le numéro des **4 propositions** qui, selon toi, **caractérisent le moins l'atome**.

Merci beaucoup

Questionnaire

Terminale S

UNIVERSITÉ DE PROVENCE
Département des Sciences de l'Éducation
Laboratoire UMR P3 – ADEF d'Aix-Marseille,
Axe 3 « L'étude, son organisation, les savoirs »

Année universitaire 2010-2011

Travail de recherche dans le cadre de l'École Doctorale 356
« Cognition, Langage, Éducation »

**QUESTIONNAIRE sur des concepts scientifiques
auprès d'élèves français et grecs**

Ce questionnaire est totalement anonyme (nous te demandons quelques renseignements, mais tu ne nous donnes pas ton nom ...) et ne donnera lieu à aucune note ni à aucune évaluation. Il ne s'agit en aucun cas d'un questionnaire de connaissances. Donne simplement ton point de vue, de manière décontractée et spontanée, après avoir bien lu chaque énoncé et sans jamais revenir en arrière ni discuter tes réponses avec les autres. Les résultats de l'enquête en dépendent.

Merci beaucoup pour ta collaboration

Questionnaire élaboré par Konstantinos Grivopoulos,
doctorant en Sciences de l'Éducation.

Identification du sujetnuméro du questionnaire

--	--	--

Établissement : Ville :

le/...../ 2011

Tu es : une fille un garçon Année de naissance :

Profession de tes parents :

Père	Mère	Professions
		Agriculteur exploitant, Pécheur, Ouvrier (maçonnerie, agriculture, artisanat, industrie, transports, municipalité, manutention)
		Artisan, commerçant, chef d'entreprise
		Cadre, profession intellectuelle supérieure (professions scientifiques libérales, cadre de la fonction publique, enseignant, ingénieur, professions information, arts et spectacles, cadre administratif et commercial d'entreprise)
		Profession intermédiaire (santé, travail social, religieux, administration publique ou privée, technicien, contremaître), Employé (civil, policier, pompier, militaire, employé de commerce ou administratif d'entreprise, personnel de services aux particuliers)
		Inactif (retraité, chômeur, sans activité)

Niveau d'études des tes parents :

	Inférieur au Baccalauréat : aucun diplôme, CAP, Brevet	Baccalauréat	Baccalauréat + n années universitaires
Mère			
Père			

Question 1

Écris **entre 3 et 5 mots ou expressions** (composées de deux ou trois mots) qui te viennent spontanément à l'esprit quand tu penses à l'**atome** :

Consigne pour les grecs : en grec, le mot «atome» désigne également la personne. Cependant, nous ne cherchons aucunement ici des synonymes du mot « personne », comme « homme », « individu », etc.

..... / ___/

..... / ___/

..... / ___/

..... / ___/

..... / ___/

Hierarchisation : Parmi ces mots, quel est celui que tu trouves **le plus important, le plus significatif** par rapport à l'atome ? Mets le chiffre **1** dans la case (/ ___/) qui se trouve à côté de ce mot, puis le chiffre **2** dans la case qui se trouve à côté du deuxième mot que tu trouves le plus important et ainsi de suite.

numéro du questionnaire

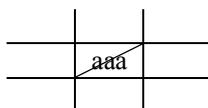
Question 2

a) Lis attentivement le tableau des propositions suivantes relatives à l'atome :

1 l'atome, c'est la molécule	4 il est indivisible	7 tous les atomes sont identiques, tous pareils	10 l'atome est formé par des molécules	13 bombe atomique
2 l'atome contient de l'énergie	5 l'espace entre les étoiles est plein d'atomes	8 l'atome, c'est le composant de tout	11 il est rond	14 l'atome s'est créé sur Terre
3 l'atome est composé d'autres constituants	6 il n'est que dans les laboratoires de chimie	9 il n'est que dans l'air	12 aussi petit que la cellule	15 les atomes émettent de la lumière

b) À partir de ce tableau, reporte dans les cases situées ci-dessous le numéro des **5 propositions** qui, selon toi, **caractérisent le mieux l'atome**. Inscris-les en les rangeant de la plus importante (la plus significative de l'atome) à gauche, à la moins importante à droite.

Note : une fois cette opération terminée, **barre** dans le tableau (a) les 5 cellules que tu as, déjà, choisies :



c) À partir du tableau (a) et des cellules que tu n'as pas barrées, reporte dans les cases ci-dessous le numéro des **5 propositions** qui, selon toi, **caractérisent le moins l'atome**.

Question 3

Nous te demandons, ici, de **te situer** entre chaque couple d'expressions représentant des **opinions opposées** sur une échelle (graduée en 5 points).

Exemple : Les mathématiques selon toi c'est : facile 1 2 3 4 5 difficile
 Codage : 1. facile 2. assez facile 3. j'hésite entre les deux 4. assez difficile 5. difficile
 Si tu juges personnellement qu'elles sont assez faciles, **tu entoures** le 2.

Maintenant, donne ton avis pour chaque couple d'expressions contradictoires concernant l'atome. **L'atome ...**

1	il pèse exactement 0 gramme	1	2	3	4	5	il est très léger, il pèse très peu
2	c'est comme une boulette pleine	1	2	3	4	5	ce n'est pas plein
3	il est au repos, il ne bouge guère	1	2	3	4	5	il bouge tout le temps
4	il a une membrane externe	1	2	3	4	5	il n'en a pas
5	c'est de la matière	1	2	3	4	5	ce n'est pas de matière
6	c'est du vivant	1	2	3	4	5	ce ne l'est pas
7	il est éternel, impérissable	1	2	3	4	5	il est périssable, il peut se détruire
8	l'homme en a fabriqué	1	2	3	4	5	l'homme n'arrive pas à en fabriquer

Question 4

Pour cet exercice, il t'est demandé de **donner ton opinion** sur les phrases-conjectures suivantes. Mets une croix dans la case qui correspond à ton avis en face de chaque phrase. Attention, tu dois cocher une seule case par phrase.

Exemple :

	Totalement pas d'accord	En partie pas d'accord	Ni d'accord ni pas d'accord	En partie d'accord	Totalement d'accord
Je peux tomber malade si je ne porte pas mon manteau.					X

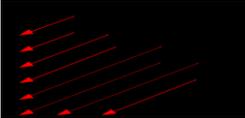
Phrases		Totalement pas d'accord	En partie pas d'accord	Ni d'accord ni pas d'accord	En partie d'accord	Totalement d'accord
A	Les objets sont faits d'atomes et molécules, alors que les animaux et les végétaux sont faits de cellules.	x				
B	Lors du brûlage du papier, beaucoup des atomes qui le constituent se détruisent.	x				
C	Les atomes qui composent les os de l'humain se créent au moment de la formation du fœtus.	x				
D	Le verre est fait d'atomes de verre ; le plastique d'atomes de plastique et ainsi de suite.	x				
E	Au cœur du Soleil, où la température frôle les 15 millions de degrés °C, il est impossible que les atomes subsistent.	x				
F	Chaque atome d'oxygène est gazeux, alors que chaque atome de fer est solide.	x				
G	Chaque atome de carbone est noir, tandis que chaque atome d'or est jaune.	x				
H	Dans une goutte d'eau il existe un million d'atomes d'hydrogène et d'oxygène.	x				
I	Si un noyau d'atome était gros comme une balle de tennis de table, les électrons devraient se trouver 1 kilomètre plus loin.					x
J	L'atome d'aluminium a pour numéro atomique 13 et pour nombre de masse 27 ; cela signifie qu'il possède 13 protons et 27 électrons.	x				
K	Les gaz d'oxygène et d'ozone sont formés à partir d'atomes du même type, identiques.					x
L	Il est probable que l'électron de l'atome d'hydrogène (en état fondamental) se trouve à une distance du noyau bien inférieure à celle correspondant au premier rayon de Bohr r_1 (première orbite).					x

M	L'atome est presque vide, le volume qu'il contient étant constitué à 99,99% de vide.						x
N	Le nuage électronique désigne l'ensemble des couches électroniques. Donc, couches et nuage électronique sont synonymes.	x					
O	Dans l'atome, l'électron se « dissout » et devient une onde. Il est donc impossible de calculer sa position exacte ; seule la probabilité de sa présence ici ou là autour du noyau peut être calculée.						x
P	Comme une nuée d'oiseaux évoluant en nuage dans le ciel, le nuage électronique n'est qu'une illusion causée par la rotation des électrons.	x					
Q*	Le spin de l'électron désigne son moment cinétique intrinsèque, l'électron tournant sur lui-même, de la façon que le spin de la Terre interprète sa rotation sur elle-même.	x					

* Question posée exclusivement aux élèves grecs.

Question 5

a) Lis attentivement le tableau des propositions suivantes se référant à l'atome :

1 règle de l'octet	6 les particules : proton, neutron et électron	11 probabilité de présence de l'électron
2 noyau et électrons en rotation circulaire ou ovoïde	7 petit volume à charge positive, parsemé d'électrons fixes	12 orbitales atomiques
3 nuage électronique	8 énergie quantifiée	13 électron-onde
4 orbites d'électrons à distances quelconques du noyau	9 	14 particule élémentaire de forme sphérique
5 orbites d'électrons à distances déterminées du noyau	10 électron-corpuscule	15 couches K, L, M...

b) À partir de ce tableau, reporte dans les cases situées ci-dessous le numéro des 5 **propositions** qui, selon toi, **caractérisent le mieux l'atome**. Inscris-les en les rangeant de la plus importante (la plus significative de l'atome) à gauche, à la moins importante à droite.

Note : une fois cette opération terminée, **barre** dans le tableau (a) les 5 cellules que tu as, déjà, choisies.

c) À partir du tableau (a) et des cellules que tu n'as pas barrées, reporte dans les cases ci-dessous le numéro des 5 **propositions** qui, selon toi, **caractérisent le moins l'atome**.

Merci beaucoup

ANNEXE 4 : Tableaux d'analyse didactique des manuels

Tableau 1A : Analyse didactique des manuels de physique grecs

Indicateurs génériques		Manuels de physique grecs (1942-1970)				
1	Code	G01pc3	G02pTS	G03pTS	G04p3	G05p21
2	Éléments d'identification : - titre - auteur - édition	- Physique et chimie - Akrivi Malliari-Patera - OESB 1942	- Éléments de physique I, Mécanique-Chaleur - T. Kougioumzelis, S. Peristerakis - Librairie Papadimitropoulou 1960	- Éléments de physique nucléaire - Kougioumzelis, Peristerakis - Librairie de Prométhée 1960	- Physique - Ioannis P. Tsitouridis - OEDB 1967	- Physique - Alkinoos Mazis - OEDB 1967
3	Position et titres de la section concernée	En introduction, §3 « Propriétés des corps », suivi par les « États des corps ». Page 181, §35 « Atomes-Molécules ». En amon : « Parenté chimique » ; en aval : « lois et formules chimiques, valence, racines ».	En introduction, § « Connaissances générales de la constitution de la matière et de l'atome de matière ». Chap. 13 « Physique moléculaire », § « Molécules et atomes » suivi par « États et structure de la matière » (approches macroscopique et microscopique).	Partie 1 : Chap. 2 « Consistance de la matière » (approches macroscopique et microscopique) ; § « Molécules. Atomes. Éléments ». Chap. 3 « Constances de la physique atomique ». Chap. 4 « Structure de l'atome » suivi par la mécanique newtonienne et la théorie de quanta. Partie 2 : Chap. 11 « La structure de l'atome », « Comportement magnétique de l'électron », « Les quatre nombres quantiques (n, l, m_l, m_s et n, l, j, m_j) », « Le tableau périodique et le	Page 37, §1 « Molécules-Atomes », suivi par le « Consistance de l'atome ».	Chap. 1 « La matière » : § « Division de la matière ». En amon : « États de la matière » (approche macroscopique) ; en aval : « Effets moléculaires ».

				principe d'exclusion de Pauli » suivi de la structure et les spectres des molécules et des rayons de Röntgen. Partie 3 : Physique nucléaire.		
4	Part occupée nb d'images / nb de pages	1 / 1,5 = 0,67	4 / 3 = 1,33	89 / 43 = 2,07	2 / 2,5 = 0,80	3 / 1 = 3
5	Typologie iconique	1 tableau	2 modèles ; 1 schéma ; 1 graphe	49 modèles ; 3 tableaux ; 14 photos/portraits ; 6 figures ; 1 schéma ; 5 analogies ; 11 graphes	2 modèles	2 modèles ; 1 graphe
	Indicateurs spécifiques	Manuels de physique grecs (1945-1970)				
6	Paradigme épistémologique	Mod. de Dalton (implicite) : « L'atome ne peut être divisé par aucune méthode physique ou chimique. »	Mod. de Dalton : « La matière est composée de corpuscules infinitésimaux non divisibles par des méthodes physiques et chimiques. » ; Mod. de la structure interne (p ⁺ , e ⁻ , n ⁰).	Modèles de Démocrite-Leucippe-Épicure, Dalton, Thomson, Lenard, Nayaoka, Rutherford, Bohr (avec les postulats), Sommerfeld ; Insuffisance du mod. de Thomson : « Il fallait que la masse du nuage positif vaille presque autant que la masse de l'atome. » ; Duité corpuscule-onde de De Broglie (l'électron en tant qu'onde stationnaire) ; Mod. atomique issu de la mécanique ondulatoire : nuage électronique.	Mod. de la structure interne (p ⁺ , e ⁻ , n ⁰) ; Mod. de Rutherford.	Hypothèse de Démocrite de discontinuité de la matière ; Mod. de Dalton (implicite) : « L'atome est la moindre quantité d'un corps simple... »

7	Schématisation privilégiée	<p>Tableau : éléments, symboles et masses atomiques relatives.</p>	<p>Modèles : mod. éclatés des molécules d'H₂O et de CO₂ et cristal de NaCl.</p> <p>Schéma : constituants des corps.</p> <p>Graphe : mouvement brownien sous support millimétré 0,003cm.</p>	<p>Modèles : mod. compacts et éclatés de molécules/cristaux dont H₂O, NaCl ; modélisation de la loi d'Avogadro par la réaction H₂+Cl₂ ; mod. corpusculaires des états de la matière ; forces moléculaires aux liquides ; mod. de Bohr avec des e⁻ internes et externes ; atome d'H ; structure du noyau ; les 3 isotopes de l'hydrogène ; orbites élect. des atomes de He, Li et U ; modélisation de l'effet de Compton ; mod. atomique de Thomson ; force centripète sur l'e⁻ ; distance entre le noyau et les couches élect., sous échelle ; l'électron en tant qu'onde stationnaire sur l'orbite ; orbitales des atomes d'H (en état fondamental et excité), Li, B, C, N ; orbites permises dans le mod. de Bohr pour l'H et les saut produisant les raies ; excitation, ionisation et émission de photon dans l'atome d'H ; moment cinétique orbital de l'e⁻ d'après le mod. de Sommerfeld ; mod. de Sommerfeld et différentes orbites elliptiques correspondant à une même couche ; rotation et spin de l'e⁻ ; superposition du</p>	<p>Modèles : configuration d'atomes d'H et d'He ; de même pour Na, Na⁺, Cl, Cl⁻ (partout, les e⁻ sont symétriquement placés).</p>	<p>Modèles : oscillation des molécules des matériaux dues aux ondes longitudinales.</p> <p>Graphe : mouvement brownien (échelle indiquée 10µm).</p>
---	----------------------------	---	--	--	---	---

				<p>moment cinétique et du spin ; projections du spin et du moment cinétique total de l'e⁻ ; modèles interprétant le principe de Pauli ; configuration élect. de l'H au Na ; orbites elliptiques par couche sphérique pour l'atome de Ne ; règles du duet et de l'octet par l'exemple $\text{Li} + \text{H} \rightarrow \text{Li}^+ \text{H}^-$; nuage de charge élect. pour un atome d'H et pour le dihydrogène avec indication de la distance de 0,74Å entre ses noyaux ; rotation et vibration du dioxygène et trajectoire total de deux atomes ; les molécules de ortho-H₂ et de para-H₂ ; saut élect. dans le CO avec émission d'un photon ; divers systèmes cristallins.</p> <p>Tableaux : phases d'avancées en physique moderne ; grandeurs de l'e⁻ et du p⁺ ; états quantiques de l'e⁻ en couche L.</p> <p>Photos/Portraits : Démocrite, J. Dalton, L. De Broglie, W. Heisenberg, E. Rutherford, N. Bohr, A. Sommerfeld, W. Pauli, H. Becquerel, M. Curie ; molécules de protéine prises au microscope électronique ; série de Balmer du spectre d'H ; spectre de Raman pour le</p>		
--	--	--	--	--	--	--

				<p>dioxygène ; noircissement d'une pellicule par un radioactif.</p> <p>Figures : dispositifs de diffraction de photons, mais aussi de corpuscules par deux fentes de Young ; dispositif de l'expérience de Rutherford (diffusion de particules α) ; diffraction d'électrons ; spectre d'H avec les séries de Lyman, Balmer, Paschen, Brakett et Pfund ; dispositif pour l'effet Raman.</p> <p>Schéma : structure de la matière.</p> <p>Analogies : structure lacunaire de l'atome simulé par un bâtiment, le noyau étant la tête d'épingle ; volume de N_A atomes de Cu, chacun simulé par une tête d'épingle ; Soleil-Terre et noyau-électron ; mouvement gyroscopique du spin simulé par une toupie ; oscillations de la molécule d'O₂ à la manière d'un essor avec deux masses ; un dé de nucléons pèse autant qu'un cube en fer, d'arête de 300m.</p> <p>Graphes : distribution de Maxwell (vitesse-température) dans les gaz ; diagrammes de niveaux d'énergie pour l'atome de l'H et pour un atome poly-e⁻</p>	
--	--	--	--	---	--

				avec les raies spectrales et les longueurs d'onde, suite aux sauts électroniques ; puits de potentiel pour l'atome d'H ; subdivisions de chaque niveau d'énergie (dans le mod. de Bohr) prévues par le mod. de Sommerfeld ; spectre Raman du dioxygène ; fréquence du rayonnement linéaire de Röntgen en fonction du numéro Z des éléments ; diagramme de la loi de Moseley (racine carrée de la fréquence en fonction du num. Z) ; sauts élect. entre divers états quantiques pour les atomes poly- e^- ; spectre de rotation-vibration d'une molécule diatomique.		
8	Niche écologique	États de la matière ; Notation des éléments et des corps chimiques ; Équations chimiques ; Valence et atomicité des éléments - Racines.	Adhésion et cohésion ; Tension superficielle ; Mouvement brownien.	États de la matière ; Tension superficielle ; Constance de Loschmidt (nb de molécules par cm^3 , stp) et constance d'Avogadro ; Spectres des rayons de Röntgen ; Théorie de quanta ; Dualité des corpuscules du micromonde (De Broglie, effet Compton, corpuscules-ondes, incertitude de Heisenberg) ; La structure et les spectres des molécules. Liaisons ; Structure des cristaux ; Physique nucléaire.	Rayons de Röntgen et radiation du Ra comme preuve d'une structure interne. Électrisation des corps ; Explication et sens du courant électrique ; Conductivité élec. dans les liquides ; Électrolyse ; Dissociation électrolytique d'Arrhenius.	Tension superficielle ; Effet capillaire ; Mouvement brownien ; Corollaires de la théorie cinétique, dont les constances de Loschmidt et d'Avogadro ; Forces d'adhésion et de cohésion.

Tableau 1Ba : Analyse didactique des manuels de physique grecs

Indicateurs génériques		Manuels de physique grecs (1971-1990)				
1	Code	G06p1TS	G07p3	G08p2TS	G09pTS	G10p1
2	Informations générales : - titre - auteur - édition	- Physique expérimentale - Alkinoos Mazis - OEDB 1971	- Physique expérimentale - Salteris Peristerakis - OEDB 1975	- Physique - Alkinoos Mazis - OEDB 1976	- Physique - Alkinoos Mazis - OEDB 1978	- Physique - Alkinoos Mazis - OEDB 1979
3	Position et contenu des sections concernées	4 ^e partie : « Physique atomique et nucléaire », § « Structure de l'atome » décliné en 9 sous-§ : numéro atomique, charge électrique, unité de masse atom., masse atom. relative & nombre de masse, notation des noyaux, constituants d'atome, nombre de protons et de neutrons, isotopes, positron. Suit la section « réactions nucléaires ».	Ch. IV « Électricité-Magnétisme » §91 « Division de la matière » ; §92 « Les molécules » ; §93 « Les atomes » ; §94 « Consistance d'atome » ; §98 « Noyau et électrons ».	Ch. 1 « La matière », §10 « Discontinuité de la matière ».	Ch. « Physique atomique et nucléaire » du ch. « Optique physique » précédé. Sous-chapitre « Physique atomique », §105 « Théorie atomique de Démocrite » ; §106 « Unité de masse atomique » ; §107 « L'atome et son noyau » ; §108 « Structure de l'atome » ; §109 « Postulats de Bohr. Étude de l'atome d'hydrogène » ; §110 « Atomes polyélectroniques » ; §111 « Système périodique des éléments » ; §112 « Physique nucléaire » ;	Ch. « Nature de l'électricité » §29 « Charge électrique. élémentaire » ; §31 « Les électrons libres des métaux ».

					§113 « Isotopes ».	
4	Part occupée nb d'images / nb de pages	19 / 14 = 1,36	13 / 7 = 1,86	0 / 1 = 0	36 / 27 = 1,33	9 / 5 = 1,80
5	Typologie iconique	6 modèles ; 8 tableaux ; 3 photos/portraits ; 2 figures	11 modèles ; 1 analogie ; 1 figure	aucune	14 modèles ; 11 tableaux ; 7 photos/portraits ; 4 figures	7 modèles ; 2 figures
	Indicateurs spécifiques	Manuels de physique grecs (1971-1990)				
6	Paradigme épistémologique	Mod. planétaire (il admet des orbites « presque circulaires ») ; Éléments d'interprétation probabiliste du micromonde (L. de Broglie).	L'atome, sphère de diamètre 10^{-8} m, donc « probablement on ne les verra jamais. » ; Mod. planétaire (il admet des orbites « circulaires ou elliptiques ») ; Structure lacunaire ; Distinction entre orbites et couche (ou écorce).	Mod. de Dalton (implicite) : « L'atome est la moindre quantité d'un corps simple... » ; Structure discontinue de la matière (Démocrite).	Théorie atomique de Démocrite et Leucippe : discontinuité de la matière, atomes : corpuscules éternels, infinitésimales, insécables, en mouvement perpétuel ; Épicure (qui inspira le poète latin Lucrèce) enseigna la th. atomique ; L'École Socratique opposa à la th. atomique ; Mod. de Dalton et vérification de l'hypothèse atomique par explication des lois des proportions multiples et des proportions définies ; Mod. de Rutherford : noyau contenant presque toute la masse et	Mod. planétaire (il admet des « écorces concentriques »).

					électrons négativement chargés ; Mod. de Bohr et ses conditions quantiques. Distinction entre orbites et écorce. Double mouvement de l'électron, à la manière de la Terre ; Principe de Pauli ($2n^2$) : répartition en écorces K, L... ou $n=1, 2...$ (nb quantique principal).	
7	Schématisation privilégiée	<p>Modèles : mod. de dissolution électrolytique avec les cas de NaCl, H₂SO₄ et NaOH. Remarque : usage du terme « molécule de l'électrolyte » ; mod. d'ionisation d'un gaz ; mod. d'atomes (les e⁻, parus toujours séparés, étant symétriquement placés dans les couches ; $A=Z+N$; $N=A-Z$; fission du noyau d'²³⁵U ; 5 équations de réactions nucléaires.</p> <p>Tableaux : masse et charge de l'électron ; nom, numéro atomique Z, nombre de masse et masse atomique des 16 premiers éléments du tb périodique ; masse atomique, radiation et demi-vie des éléments de la série de l'uranium ; nom, numéro atomique Z, masse en amu, nombre de masse des nucléons ; extrait du tb périodique ; noms, masses et</p>	<p>Modèles : modélisation corpusculaire des 3 états de la matière ; molécules de O₂, Fe, H₂O et leurs atomes en blanc, gri et noir ; atome de Bohr pour l'hydrogène ; modèles de l'atome de He en 2D et 3D avec la composition du noyau ; atomes de Bohr pour Na et Cu avec la composition des noyaux, les e⁻ étant séparés et symétriquement placés ; électrons libres expliquant le courant électrique ; certains équations de dissolution d'électrolytes, selon la théorie d'Arrhenius ; solution électrolytique avec les ions et les</p>	aucune	<p>Modèles : $A=Z+N$; modèles de Bohr pour H, He, Li ; rotation de l'électron autour du noyau en vertu de la force électrique p⁺-e⁻ ; excitation de l'atome d'H et émission de radiation les sauts électroniques d'un niveau à l'autre - selon le mod. de Bohr - étant notés ; transitions électroniques possibles dans l'atome et production de radiations ; équation de la fission de Ra et équation générique de l'émission de corpuscule α, d'e⁻ et de e⁺ ; équation de production de neutrino et d'antineutrino ; fission du noyau d'²³⁵U ; équation de la fission du noyau d'²³⁵U ; réaction nucléaire en chaîne ; équations de</p>	<p>Modèles : mod. atomiques de Bohr pour l'H, He, O et Na (les e⁻, parus séparés, étant symétriquement placés dans les couches) ; modélisation de la conductivité électrique aux métaux ; mod. de dissolution électrolytique du cristal de NaCl ; équation de dissolution électrolytique ; modélisation de la conductivité électrique aux électrolytes ; équations d'oxydoréduction. Figure : générateur électrique et courant des électrons libres ; voltamètres (cellule d'électrolyse) pour l'électrolyse de H₂O et CuSO₄.</p>

		<p>charges de corpuscules subatomiques ; particules de matière et d'antimatière ; isotopes d'éléments non radioactifs suivis du numéro atomique et du nombre de masse.</p> <p>Photos/Portraits : collisions de particules prises à la chambre de Wilson (atome d'O+corp. α ; ^1H+corp. α ; couple e^-e^+) ; collisions d'atomes de Pb avec le rayonnement cosmique ; A. Einstein, M. Planck, L. de Broglie, Ampère, Démocrite, M. et P. Curie.</p> <p>Figures : compteur Geiger-Muller ; chambre de Wilson (chambre à brouillard).</p>	<p>« molécules neutres » ; explication de la conductivité aux électrolytes ; modèles d'atome ; modèles de molécule.</p> <p>Analogie : structure lacunaire par comparaison avec le poids d'un dé de noyaux avec 24×10^6 Mpoints.</p> <p>Figures : voltamètres (cellule d'électrolyse) pour l'électrolyse de CuCl_2, de HCl, de NaCl, de NaOH, de H_2SO_4, de CuSO_4.</p>		<p>production des noyaux de ^{239}Pu et ^{233}U ; fusion thermonucléaire de production de ^4He.</p> <p>Tableaux : masse atomique et nombre de masse pour He et B ; noms, symboles, masses en amu, Z, A et charges des constituants de l'atome ; extrait du tb périodique indiquant la configuration électronique des atomes de Z=1 à 20 ; rapport de nombre d'électrons par « croûte » K, L, etc. ou n=1, 2, etc. ; les 3 premières périodes du tb pér. avec les numéros Z des éléments ; nb de protons et neutrons, nombre de masse et notation des isotopes d'O et des noyaux de Li, Be ; les radioactifs naturels et les noyaux finaux lors des fissions ; isotopes de la série de l'uranium, demi-vie et énergie en MeV ; symboles de certains isotopes, numéro atomique, nb de masse ; sortes d'énergie produite en MeV lors de la fission du noyau d'^{235}U ; leptons, mésons et baryons.</p> <p>Photos/Portraits : spectres</p>	
--	--	---	--	--	---	--

					<p>d'émission et d'absorption des atomes d'H, He, Hg et Na ; prise de photo d'une bactérie sous le microscope électronique ; trajets de corpuscules α pris à la chambre de Wilson ; matérialisation d'un photon et apparition d'un couple e^+e^- ; radiographie au phosphore : concentration de ^{131}I au thyroïde ; collisions d'atomes avec le rayonnement cosmique.</p> <p>Figures : tube de Geissler à liquide fluorescent ; description du microscope électronique ; réacteur nucléaire ; centrale nucléaire.</p>	
8	Niche écologique	<p>Spectres d'émission et d'absorption ; théorie des quanta et énergie émise par l'atome ; nature de l'électricité ; explication de l'électrisation et du courant él. ; électrolyse ; rayons cathodiques ; ionisation des gaz ; radioactivité ; fission du noyau de ^{235}U ; réacteur atomique ; corpuscules subatomiques ; antimatière.</p>	<p>États de la matière (approche microscopique) ; Explication de l'électricité et du courant él. dans les métaux ; Électrolyse et théorie de la dissolution électrolytique d'Arrhenius (ou « th. d'ions »).</p>	<p>États de la matière (approche macroscopique).</p>	<p>Théorie des quanta ; Spectres d'émission et d'absorption ; Fluorescence, phosphorescence ; Conductivité électronique des solides (conducteurs, isolants, semi-conducteurs) ; Conductivité des gaz ; Microscope électronique ; Radioactivité ; Transmutation ; Effets biologiques de la radioactivité ; Les séries</p>	<p>Aimants élémentaires ; Manifestation de charges électriques ; Explication de l'électricité ; Courant électrique continu dans les métaux ; Électrolyse ; Explication de la conductivité dans les électrolytes ; Exemples d'électrolyse.</p>

					des éléments radioactifs ; Réactions nucléaires ; Réacteur ; Applications des radioisotopes artificiels ; Corpuscules élémentaires ; Compteur de Geiger-Müller ; Chambre de Wilson.
--	--	--	--	--	---

Tableau 1Bb : Analyse didactique des manuels de physique grecs

Indicateurs génériques		Manuels de physique grecs (1971-1990)				
1	Code	G11p4	G12p3	G13p2	G14pTS	G15p2
2	Informations générales : - titre - auteur - édition	- Physique - A. Zenakos, N. Lekatis, A. Schinas - OEDB 1979	- Physique - A. Zenakos, N. Lekatis, A. Schinas - OEDB 1982	- Physique - Alkinoos E. Mazis - OEDB 1982	- Physique - I. Vlachos, K. Zachos, P. Kokkotas, G. Timotheou - OEDB 1984	- Physique - P. Kokkotas, D. Kremos - OEDB 1990
3	Position et contenu des sections concernées	Ch. D « Optique », §45 sous-§IV « Production de la lumière ».	Ch. 19 « Structure d'atome - Isotopes » : §I « Structure d'atome » ; §II « Numéro atomique et nombre de masse des éléments » ; §III «Isotopes » ; §IV « Forces entre les composants de l'atome » ; Suit le	En introduction « Divisibilité de la matière » comprenant 3 sous-§ « les molécules », « les atomes », « les atomes dans la molécule ».	Ch. 14 (hors programmes) « Physique quantique » du Ch. 13 « Relativité restreinte » précédé. §14.5 « Modèle atomique de Bohr » ; §14.6 « Interprétation du spectre de l'H d'après le modèle de Bohr » ; §14.9 « Ondes de matière ».	§7.4 « Explication de l'électricité ».

			Ch. 20 « Explication de l'électricité - Conducteurs et isolants - Courant électrique ».			
4	Part occupée nb d'images / nb de pages	4 / 2 = 2,00	8 / 4 = 2,00	0 / 2 = 0	8 / 9 = 0,89	2 / 1 = 2,00
5	Typologie iconique	4 modèles	4 modèles ; 1 tableau ; 3 photos	aucune	3 modèles ; 2 diagrammes ; 3 figures	2 modèles
	Indicateurs spécifiques	Manuels de physique grecs (1971-1990)				
6	Paradigme épistémologique	Mod. planétaire avec les électrons séparés et symétriquement placés dans les couches ; Mod. de Bohr avec ses postulats (sauf la quantification du moment cinétique).	Mod. planétaire (il admet des couches sphériques sur lesquelles sont tracées diverses orbites à des rayons fixes) ; Révolution et rotation à la fois pour l'électron qui est dessiné à la manière de la comète.	Hypothèse de discontinuité de la matière (Démocrite) ; Structure interne de l'atome.	Mod. de Rutherford ; Mod. de Bohr avec ses postulats ; Duité corpuscule-onde.	Mod. planétaire.

7	Schématisation privilégiée	Modèles : atomes de l'H et du Na ; état fondamental de l'atome et état excité avec émission de photon.	Modèles : modèles atomiques (en sphère) de He, Li et isotopes d'H ; force attractive noyau-électron ; mod. du cristal de Si. Tableau : symboles des isotopes des éléments d'He, Li, C et N. Photos : cristal de Si pour la fabrication des semi-conducteurs ; Marie et Pierre Curie.	aucune	Modèles : mod. d'atome avec diverses orbites (n_i , r_i) ; modélisation du moment cinétique de l'électron. Diagrammes : les niveaux d'énergie dans l'atome d'H ; spectre d'H. Figures : illustrations sur les effets radiation-matière ; diffraction de faisceau d'électrons.	Modèles : mod. planétaire d'atome ; moment cinétique de spin pour l'électron et pour le noyau.
8	Niche écologique	États de la matière (approche microscopique) ; Tension superficielle ; Phénomènes capillaires ; Mouvement thermique des molécules ; Production de la lumière ; Proton.	Explication de l'électrisation ; Conducteurs et isolants ; Conductivité électrique des métaux ; Courant él. ; Origine de la résistance él. ; Semi-conducteurs de type n & p ; Circuit intégré ; Électrolyse ; Radioactivité - Radioisotopes ; Influence biologique de la radioactivité ; Fission et fusion nucléaires ; Réacteur nucléaire.	États de la matière (approche microscopique) ; Le nombre, la taille et l'agitation thermique des molécules ; Forces d'interactions moléculaires ; Corps cristallins et amorphes.	Découverte du neutron ; Spectrométrie de masse ; Gaz parfait ; Mouvement brownien ; Énergie interne et degrés de liberté ; Décroissance radioactive ; Résonance et structure de la matière ; Interactions radiation-matière ; Laser ; Effet photoélectrique ; Effet de Compton ; Microscope électronique ; Principe de correspondance de Bohr ; Forces subatomiques ; Quarks.	Définition du « mètre » (^{86}Kr) et de la « seconde » (^{133}Cs) ; Forces électromagnétiques et nucléaires dans l'atome ; Force centripète dans l'atome ; Explication moderne du magnétisme (domaines magnétiques) ; Spin des e^- et spin du noyau.

Tableau 1Ca : Analyse didactique des manuels de physique grecs

Indicateurs génériques		Manuels de physique grecs (1991-2014)				
1	Code	G16p3	G17p4	G18p2	G19p1LST (destiné aux 3 séries)	G20pTLST (destiné aux 3 séries)
2	Informations générales : - titre - auteur - édition	- Physique - A. Zenakos, A. Schinas - OEDB 1994 N. Lekatis,	- Physique - V. Karapanagiotis, N. Papastamatiou, A. Fertis, Ch. Chaletsos - OEDB 1998	- Physique - Vlachos, Grammatikakis, Karapanagiotis, Kokkotas, Peristeropoulos, Timotheou - OEDB 2001	- Physique - M. Venetsanos, I. Katsoufis, A. Sarrigiannis - OEDB 1999	- Physique - A. Skalomenos N. Sfarnas, P. Georgakakos, I. Christakopoulos - OEDB 2000
3	Position et des sections concernées	Ch. 3 « Électricité » §17 « Lois de Coulomb - Structure des atomes ». En amont : « Charges élect. - Électrisation - Électroscope ». En aval : « Explication de l'électrisation - Conducteurs et isolants »	Ch. 5 « Atomes et molécules » §5.1 « structure de la matière » ; §5.2 « Structure de l'atome » ; §5.3 « Sauts des électrons » ; §5.4 « Formation de molécules »	Ch. 2.3 « Conservation de l'énergie totale et dégradation de l'énergie », §2.3.1 « Théorie cinétique de la matière et la chaleur »	Unité 3 « Phénomènes électromagnétiques » §« La cause de l'électricité ».	Ch. 2 « Effets atomiques ». En amont : « La lumière ». En aval : « Effets nucléaires ». §2.1 « Énergie de l'électron dans l'atome de l'hydrogène » décliné aux sous-§ suivants : « Modèles de Thomson et de Rutherford » ; « Spectres atomiques » ; « Le modèle de Bohr pour l'hydrogène » ; Énergie totale de l'électron » ; « Orbites permises et valeurs d'énergie » ; §2.2 « Niveaux d'énergie distincts » décliné aux sous-§ suivants : « Niveaux d'énergie - Excitation de l'atome » ; « Ionisation de l'atome » ; §2.3 « Mécanisme d'émission et d'absorption de

						photons » décliné aux sous-§ suivants : « Excitation par impact » ; « Excitation par absorption de radiation » ; « Les réussites et les échecs du modèle de Bohr ».
4	Part occupée nb d'images / nb de pages	3 / 2 = 1,50	27 / 13 = 2,08	12 / 6 = 2,00	3 / 3 = 1,00	61 / 23 = 2,65
5	Typologie iconique	3 modèles	16 modèles ; 5 photos/portraits ; 2 analogies ; 4 accroches	3 modèles ; 3 tableaux ; 4 schémas ; 1 diagramme ; 1 figure	3 modèles	22 modèles ; 2 tableaux ; 3 schémas ; 17 photos/portraits ; 3 analogies ; 3 diagrammes ; 6 figures ; 4 encadrés ; 1 accroche
	Indicateurs spécifiques	Manuels de physique grecs (1991-2014)				
6	Paradigme épistémologique	Mod. de Bohr (implicite : il admet des orbites elliptiques, mais « pour des raisons de simplicité, circulaires ») ; Il admet des rayons fixes « caractéristiques de chaque espèce d'atome ») ; Distinction entre orbites et couche (ou écorce) ; Structure lacunaire.	Mod. planétaire avec des orbites circulaires et fixes et distinction entre orbites et couche ; Références aux mod. de Démocrite, Thomson, Rutherford, Bohr et quantique (Schrödinger, Heisenberg).	Mod. de Dalton (implicite) : les atomes considérés comme des sphères compactes et élastiques, conformément au mod. du gaz parfait.	Mod. planétaire ; L'usage du terme « nuage d'électrons » renvoie au « nombre d'électrons » et non pas à une acception probabiliste.	Mod. des grecs atomistes, de Thomson, de Rutherford, de Bohr (avec les postulats mathématisés). Réussite et échecs des mod. de Thomson, Rutherford et Bohr ; Éléments du mod. quantique moderne (principe d'incertitude).

7	Schématisation privilégiée	<p>Modèles : modèles des atomes de He et Li, avec des couches sphériques ; force électrostatique noyau-e^- ; modélisation du double mouvement de l'électron (révolution, tourbillonnement).</p>	<p>Modèles : modèles d'atomes (H, C, O et polyélectronique) ; mod. « planétaire de Rutherford et de Bohr en 2D » avec les 6 e^- externes en paires ; mod. de Bohr pour l'H en état fondamental ; les trois premières orbites fixes R, 4R, 9R, avec $R=5 \times 10^{-9} \text{cm}$; mod. de l'atome et de l'ion de Li ; mod. de l'ADN avec des atomes de C, H, O, N et P ; mod. éclatés et colorés de molécules ; mouvement de molécules en états gazeux et liquide ; mouvement thermique des molécules, atomes ou ions d'un solide ; molécules d'eau en 3 états ; cristaux de neige et de sel de cuisine ; mod. d'électrons libres dans le cuivre ; électrolyse de NaCl ; cristaux du diamant et du graphite ; maquette du cristal de SiO_2 (quartz) ; mod. corpusculaire de la matière expliquant l'effet de dilatation.</p> <p>Photos/Portraits : gouttelettes de lait ; atomes d'U dans le cristal de l'uranyle vus au microscope élect. ; Démocrite, E. Rutherford dans son laboratoire ;</p>	<p>Modèles : mod. corpusculaire des états de la matière ; interprétation corpusculaire de la pression ; agitation des molécules dans l'eau chaude ou froide.</p> <p>Tableaux : masse et vitesse de divers corps physiques, dont la molécule de N_2 (23°C, 1Atm) ; rendements de dispositifs de conversion d'énergie, dont la centrale ; valeurs de densité des corps dont le noyau et l'étoile à neutrons.</p> <p>Schémas : frise illustrant les intervalles de temps (dont la période d'oscillation du noyau et la durée dans laquelle la lumière traverse une distance égale au diamètre du noyau) ; frise illustrant la taille d'objets physiques (dont le diamètre d'atome et le rayon du proton) ; frise</p>	<p>Modèles : mod. d'atome (avec 2 protons et 2 neutrons) à 2 e^- occupant 2 couches différentes ! ; dopage de type N et de type P ; jonction p-n.</p>	<p>Modèles : modèle atomique de Thomson (plum pudding) ; mod. de Thomson et de Rutherford, le second expliquant le rebond des particules α ; mod. de Rutherford (planétaire) avec un électron tournant à la manière de la comète ; mod. d'atome selon l'électromagnétisme classique qui prévoit des spectres continus et, enfin, la chute de l'e^- sur le noyau ; mod. de Bohr pour l'H avec la force de Coulomb entre p^+ et e^- ; vitesse tangentielle, force centripète et moment cinétique de l'e^- dans le mod. de Bohr, en 3D ; orbites permises de Bohr pour l'atome de l'H ; mécanisme d'excitation par impact d'électrons ; mécanisme d'excitation par absorption de photon et raie spectrale ; passage de l'état excité à l'état fondamental avec émission d'un photon et raie spectrale ; diffusion de lumière blanche par le gaz d'H ; mod. de l'atome de l'He avec le noyau agrandi pour illustrer les quarks dans les nucléons ; réaction nucléaire (émission α) ; équations nucléaires (fissions, fusions) ; amorçage de la réaction nucléaire par un neutron ; mod. de la goutte liquide décrivant les phases de</p>
---	----------------------------	---	--	--	---	---

			<p>étiquette d'analyse chimique des ions contenus dans les eaux minérales.</p> <p>Analogies : rapport Terre/pomme = rapport pomme/atome = 16×10^7; une sphère qui tombe dans l'escalier émettant un son simule la transition de l'électron émettant un photon.</p> <p>Accroches : « Démocrite et les atomes » ; « Évolution des conceptions du modèle de la structure de l'atome » ; « Le mouvement brownien » ; « Diamant et graphite : même matériel, des propriétés différentes ».</p>	<p>illustrant la masse d'objets physiques (dont le proton et l'électron) ; les différentes formes d'énergie dont l'énergie nucléaire.</p> <p>Diagramme : température en fonction du temps à propos des changements d'états.</p> <p>Figure : pompe à vélo pour montrer la compressivité des gaz.</p>		<p>la fission ; fusion de ^2H et de ^3H vers ^4He ; mécanisme de production de lumière dans un tube fluorescent à vapeur de Hg ; interaction entre l'atome et la radiation électromagnétique dans le laser ; inversion de population dans le laser.</p> <p>Tableaux : rayon atomique et énergie totale en fonction des valeurs du nombre quantique principal ; masse (Kg, u, MeV/c^2) et charge des p^+, n^0 et e^-.</p> <p>Schémas : les 6 quarks avec leur charge ; frise de l'« archéologie de l'univers » illustrant les structures depuis le Big-bang ; radiodatation d'un fossile par ^{14}C.</p> <p>Photos/Portraits : M. Planck ; spectre d'émission par une lampe à vapeur de Na ; spectre d'absorption par de la vapeur de Na ; spectres d'émission de l'H, He, Hg et Na ; laboratoire Sandia à New Mexico ; horloge atomique au Cs ; agrégat d'atomes sur la mine d'épingle vus au microscope à effet de champ ; Démocrite ; J.J. Thomson ; E. Rutherford ; N. Bohr ; W. Roentgen ; champignon nucléaire ; A. Einstein et R. Oppenheimer ; E. Rutherford ; un victime de la bombe nucléaire à plutonium, à</p>
--	--	--	---	---	--	--

						<p>Nagasaki ; le 4^e réacteur de Tchernobyl qui a causé l'accident nucléaire.</p> <p>Analogies : principe d'incertitude quant à la position et la vitesse d'un corpuscule, illustré par des cubes l'incluant ; lors du Big-Bang la taille de l'univers est inférieure à celle d'un atome ; le noyau rapproche d'une grappe de raisin dont les grains représentent les protons et les neutrons.</p> <p>Diagrammes : niveaux d'énergie de l'H et transitions élect. signalées par des flèches ; loi de désintégration radioactive ; niveaux d'énergie dans l'atome de tungstène utilisé à la lampe à filament de tungstène.</p> <p>Figures : dispositifs de l'expérience de Rutherford ; spectres linéaires d'émission et d'absorption du gaz d'H ; dispositif de fusion contrôlée ; dispositifs de réacteur TOKAMAK.</p> <p>Encadrés : « Spectres d'émission et d'absorption » ; extrait du livre « La révolution quantique » de V. Weisskopf : « Pourquoi le ciel est-il bleu ? » ; extrait du livre « Une brève histoire du temps », de S. Hawking : « Causalité et mécanique quantique » ;</p>
--	--	--	--	--	--	--

						« Radiodation ». Accroche : définition de l'électron-volt (eV).
8	Niche écologique	Forces subatomiques (électriques et nucléaires qui expliquent l'existence d'atomes au-delà du seul atome d'H) ; Électrisation par frottement ; Électrons libres ; Conductivité électrique des métaux ; Électrolytes et effets chimiques du courant él. ; Origine de la résistance élect. ; Semi-conducteurs de type n et p ; Conductivité des gaz ; Ionisation d'atomes ; Faisceau d'e ⁻ ; Rayons X ; Effet photoélectrique ; Radioactivité ; Fission et fusion nucléaires ; Réacteur nucléaire.	Mouvement thermique des molécules ; Mouvement brownien ; Structure moléculaire et propriétés des fluides ; Cristaux et solides amorphes ; Propriétés des cristaux (conductivité des métaux, des électrolytes, métallisation) ; Science et modélisation.	Définition du mètre à partir de la longueur d'onde de l'atome du ⁸⁶ Kr ; Définition de la seconde à partir de la période de l'atome du ¹³³ Cs ; Définition de la mole. Pression des fluides ; Énergie interne des gaz.	Conducteurs, isolants et semi-conducteurs ; Le semi-conducteur comme interrupteur de courant - Fonctions logiques. Semi-conducteurs de type n et p ; Jonction p-n.	Théorie des quanta ; Rayons X ; Propriétés du noyau ; Radioactivité (applications, risques) ; Radiodation ; Fission et fusion nucléaires ; Tube fluorescent ; Laser.

Tableau 1Cb : Analyse didactique des manuels de physique grecs

Indicateurs généraux		Manuels de physique grecs (1991-2014)			
1	Code	G21pTST	G22pTST	G23p4	G24p3
2	Informations générales : - titre - auteur - édition	- Physique - I. Vlachos, I. Grammatikakis, V. Karapanagiotis, P. Kokkotas, P. Peristeropoulos, G. Timotheou - OEDB 2000	- Physique - N. Alexakis, S. Ampatzis, G. Gougoussis, V. Kountouris, N. Moschovitis, S. Ovadias, K. Petrochilos, M. Samprakos, A. Psalidas - OEDB 2001	- Physique - N. Antoniou, A. Valadakis, P. Dimitriadis, K. Papamichalis, L. Papatsimpa - OEDB 2000	- Physique - N. Antoniou, P. Dimitriadis, K. Kampouris, K. Papamichalis, L. Papatsimpa - ITYE Diophante 2013
3	Position et contenu des sections concernées	Ch. 4 « Éléments de mécanique quantique » §4.5.4 « Le caractère corpusculaire et ondulatoire de la matière » contenant les sous-§ suivants : « Proposition de Louis de Broglie » ; « Interprétation de quantification du moment cinétique dans le modèle de Bohr » ; « La confirmation expérimentale ». §4.5.5 « Le paradoxe des fentes de Young » décliné aux sous-§ : « L'expérience des fentes avec électrons » ; « L'expérience avec une seule fente ouverte ». §4.5.6 « Le principe d'incertitude de Heisenberg ».	Ch. 5 §5.1.1 « Le modèle de Bohr » contenant les sous-§ suivants : « Les conditions de Bohr » ; « Orbites stables » ; « Niveaux d'énergie » ; §5.1.2 « Niveaux d'énergie et émission de radiation » avec les sous-§ : « Le photon » ; « Excitation d'atome » ; « Fluorescence » ; « Émission stimulée » ; §5.1.3 « Spectres d'émission et d'absorption » avec les sous-§ : « Spectres d'émission » ; « Spectres d'absorption » ; « Anatomie du spectre de l'hydrogène » ; §5.2.1 « La structure de la matière » contenant les sous-§ : « Corpuscules et anticorpuscules » ; « Leptons » ; « Quarks » ; « Antimatière » ; §5.2.3 « Le noyau » avec, surtout, le sous-	Ch. 3 « Optique », §3.8 « Analyse de la lumière » avec le sous-§ « Spectre continu et linéaire » ; Ch. 5 « La structure de la matière », auquel précède le Ch. 4 « Électromagnétisme ». §5.1 « Molécules et atomes » contenant les sous-§ : « La structure de l'atome » ; « L'expérience de Thomson » ; « L'expérience de Rutherford » ; « La dimension de l'atome et des corpuscules subatomiques » : §5.2 « Atome et Lumière » contenant les sous-§ : « Le modèle de Bohr » ; « Spectre linéaire et continu » ; « L'ionisation de l'atome » ; « Atomes et aimants élémentaires » ; §5.3 « Liaison entre atomes et entre ions » contenant les sous-§ : « Éléments et composés chimiques » ; « Liaison entre	Ch. 1 « Force électrique et charge », §1.3 « La charge électrique à l'intérieur de l'atome » ; Ch. 10 « Le noyau atomique », §10.1 « Description du noyau ».

			§ « La taille et la structure du noyau ».	atomes » ; « Les dimensions des molécules » ; « Liaison entre ions ».	
4	Part occupée nb d'images / nb de pages	17 / 10 = 1,70	48 / 21 = 2,29	44 / 15 = 2,93	46 / 21 = 2,19
5	Typologie iconique	5 modèles ; 1 photo/portrait ; 5 diagrammes ; 2 figures ; 4 encadrés	12 modèles ; 3 tableaux ; 5 photos ; 5 diagrammes ; 5 figures ; 1 analogie ; 1 encadré ; 16 accroches	22 modèles ; 4 tableaux ; 6 photos ; 3 schémas ; 4 figures ; 3 encadrés ; 2 accroches	25 modèles ; 2 tableaux ; 9 photos ; 1 diagramme ; 5 figures ; 2 analogies ; 2 accroches
	Indicateurs spécifiques	Manuels de physique grecs (1991-2014)			
6	Paradigme épistémologique	Mod. de Bohr (interprétation de quantification du moment cinétique à partir de ses postulats) ; Duité corpuscule-onde et ondes stationnaires de De Broglie associées à l'électron ; Mod. de mécanique quantique moderne (Heisenberg, Schrödinger).	Mod. de Rutherford et de Bohr (avec ses postulats mathématisés). Les insuffisances constatées. Double nature du photon ; Éléments du modèle probabiliste et abandon de la notion de l'orbite classique de Bohr, désignant dorénavant la zone de probabilité la plus élevée pour trouver l'électron.	Mod. de Leucippe et Démocrite : discontinuité de la matière et les atomes derrière ses formes multiples ; Mod. de Dalton (« Théorie atomique moderne »), de Thomson, de Rutherford et de Bohr (avec 2 postulats : orbites permises, sauts élect.) ; Référence à la théorie quantique ; Référence au spin de l'électron, lié aux effets magnétiques de l'atome.	Modèle planétaire de Rutherford et de Bohr
7	Schématisation privilégiée	Modèles : ondes stationnaires liées aux électrons gravitant autour du noyau ; diverse formes d'ondes dont un paquet d'onde, bien localisé dans un milieu unidimensionnel ; paquet d'ondes constitué par la	Modèles : mod. de Bohr pour l'atome d'H avec la force centripète et la vitesse tangentielle ; les cinq premières orbites permises correspondant de n=1 à 5 ; modèle de deux façons possibles de transition 3→1 pour l'e ⁻ ; excitation	Modèles : états de la matière, approche microscopique ; agitation des molécules en fonction de la température ; transfert d'énergie cinétique lors des chocs des molécules avec les parois ; mod. corpusculaire expliquant la	Modèles : système planétaire et atome rassemblent du point de vue des forces attractives ; le modèle planétaire de l'atome avec des orbites elliptiques et les protons et

		<p>superposition d'ondes de longueurs d'onde différentes ; puits de potentiel infiniment profond ; puits de potentiel fini.</p> <p>Photos/Portraits : L. de Broglie.</p> <p>Diagrammes : la fonction d'onde $\psi(x)$, la densité de probabilité $\psi^2(x)$ et les niveaux d'énergie pour une particule dans un puits de potentiel infiniment profond ; énergie potentielle des électrons d'un atome en fonction de la distance du noyau ; la fonction d'onde $\psi(x)$ et la densité de probabilité $\psi^2(x)$ pour une particule dans un puits de potentiel fini ; le potentiel $U(x)$ dû au noyau atomique ; fonction d'onde des corpuscules avant et après une barrière de potentiel.</p> <p>Figures : dispositif de l'interférence d'électrons (exp. des deux fentes de Young) et sa simulation par ordinateur pour $28e^-$, $1000e^-$ et $10000e^-$; dispositif de l'expérience de Young avec une seule fente ouverte.</p> <p>Encadrés : « Comment de Broglie a-t-il conçu sa théorie ? », extrait du panégyrique de L. De Broglie, lors de la remise du Prix Nobel, en 1929 ; extraits du livre « L'univers quantique » des Hey et Walters ; « La suppression de la notion de l'orbite ».</p>	<p>1→3 de l'atome et retour à l'état fondamental par émission d'un ou de deux photons ; les transitions élect. produisant le spectre des rayons X ; structure de la matière : de l'atome au quark ; 3 mod de réactions nucléaires (α, β, γ) ; chaîne radioactive : $Cs \rightarrow Ba^* \rightarrow Ba$; émission et absorption d'un photon par l'atome avec un saut électronique ; mod. d'émission spontanée par l'atome ; mod. d'émission stimulée par l'atome ; inversion de population dans le laser.</p> <p>Tableaux : notation, masse et charge des particules subatomiques ; notation, rapport q/e et masse (en MeV/c^2) des leptons dont l'électron ; notation, rapport q/e et masse (en MeV/c^2) des six quarks.</p> <p>Photos/Portraits : le spectre dépeint des niveaux d'énergie pour chaque élément ; spectres d'émission de Cu, Ba, Na, Sr ; spectres d'émission et d'absorption de l'H ; spectre d'émission d'un fil de tungstène W ; agrégat d'atomes d'U vu au microscope élect. (indication que les couleurs sont artificielles).</p> <p>Diagrammes : niveaux d'énergie dans l'atome d'H ; série de Balmer de l'atome d'H ; niveaux d'énergie dans l'H et transitions propres aux séries de Lyman, Balmer, Paschen, Brakett et Pfund ; courbe N-Z pour</p>	<p>dilatation ; au point de fusion les liaisons entre les molécules de la glace sont rompues ; au point d'ébullition les liaisons entre les molécules de l'eau liquide sont rompues ; lors de l'évaporation, certaines molécules s'échappent du liquide ; ajustement des « aimants moléculaires » ou domaines magnétiques ; corpuscules positivement et négativement chargés dans le métal et dans le verre ; mouvement des corpuscules chargés dans un fil aux bornes (ou non) d'une pile ; mod. explicatif de l'expérience de Rutherford ; mod. planétaire de Rutherford ; mod. de Bohr avec les orbites permises ; transitions d'électron dans l'atome d'H avec absorption et émission de photon ; spectre d'émission pour l'H ; liaison dans le dihydrogène imputable au couple d'électrons commun ; le benzène sous le microscope électronique ; mod. de la molécule du benzène ; transfert d'électron entre les atomes de Na et de Cl dans la NaCl ; mouvement brownien ; mod. compact/éclaté du cristal de NaCl ; maquettes des cristaux de diamant et de graphite.</p> <p>Tableaux : valeurs de la durée d'effets physiques dont la rotation d'une molécule ; valeurs de la masse de corps physiques dont le dihydrogène ; valeurs de la densité de divers éléments et matériaux ; diverses radiations et leurs</p>	<p>neutrons dans le noyau ; transfert d'électrons depuis les atomes du verre vers les atomes de la laine ; le micromonde d'un conducteur métallique avec des ions et des électrons libres formant la maille ; modèle d'atome polaire avec la séparation des charges opposées ; le micromonde d'un conducteur métallique avec l'agitation des ions et le mouvement des électrons libres ; la vitesse des électrons libres et leurs chocs avec les ions dans les conducteurs métalliques ; dans un conducteur métallique les chocs entre les électrons libres et les ions sont d'autant plus fréquents que la vibration des ions est plus intense ; à cause des chocs entre les électrons libres et les ions, l'énergie cinétique des ions augmente, donc l'énergie thermique et la température du matériau métallique augmentent elles aussi ; transfert d'un électron de l'atome de sodium à l'atome de chlorure pour la formation des ions ; cristal de chlorure de sodium ; les briques structureaux de la matière : molécules, atomes,</p>
--	--	---	--	--	---

			<p>les noyaux stables ; loi exponentielle de décroissance radioactive.</p> <p>Figures : 3 dispositifs de laser ; spectromètre ; dispositif d'émission de rayons X.</p> <p>Analogie : transitions électroniques illustrées par des sauts entre les marches d'un escalier.</p> <p>Encadré : « Pourquoi dans les matériaux transparents la lumière a-t-elle une vitesse inférieure à celle dans le vide ? ».</p> <p>Accroches : « grain » d'énergie $E = hf$ émise par l'atome ; nombre quantique principal, n ; énergie potentielle dans le système p^+e^- ; énergie de l'électron dans l'atome d'H ($E = -13,6eV/n^2$) avec interprétation physique ; l'électron est aujourd'hui décrit par une fonction d'onde et les orbites de Bohr désignent désormais des zones de forte probabilité de trouver l'électron ; « Les chasseurs des photons » ; la double nature du photon ; les atomes émettent même hors du spectre visible ; spectre du soleil et la découverte de l'He ; l'hydrogène à l'état fondamental est transparent car il n'absorbe pas la lumière visible ; les radiations à fréquence forte et la radioactivité peuvent nuire aux cellules ; le spin, grandeur quantique liée à une partie de l'énergie intrinsèque ; l'unité de masse MeV/c^2 issue de l'équation d'Einstein $E = mc^2$; origine du</p>	<p>applications dont la bombe atomique produisant des rayons γ.</p> <p>Photos/Portraits : pièce de 10 drachmes avec comme faces Démocrite et l'atome planétaire ; M. Planck ; laboratoire d'ions lourds ; spectre linéaire de la vapeur de Na ; agrégats d'atomes pris au microscope élect. pour apercevoir la discontinuité de la matière électronique ; cristaux de NaCl et de diamant.</p> <p>Schémas : les 4 éléments d'Empédocle ; frise illustrant la taille d'objets physiques (dont le proton, l'atome et l'ADN) ; frise des températures dans des systèmes physiques dont la bombe atomique.</p> <p>Figures : Physique : un voyage « de l'atome au bout de l'univers » ; dispositif de l'expérience de Rutherford ; 2 dispositifs des expériences de Thomson (découverte de l'électron).</p> <p>Encadrés : « Le désordre des molécules et la dégradation de l'énergie » ; « La couleur du ciel et du soleil » ; Les rayons X et le plasma.</p> <p>Accroches : énergie minimale de molécule à 0K ; la densité baisse lors de la dilatation des corps car le vide entre les molécules augmente.</p>	<p>noyaux, électrons, protons, neutrons ; modèle de Rutherford de l'atome d'hélium avec deux protons et deux neutrons (numéro atomique, nombre de masse) ; les trois isotopes de l'hydrogène ; les interactions électriques et les interactions fortes entre les protons ; les interactions fortes entre les neutrons ; les neutrons : la colle du noyau ; l'instabilité des noyaux lourds ; désagrégation nucléaire α ; désagrégation nucléaire β ; interprétation de la désagrégation nucléaire β ; désagrégation nucléaire γ ; la fission d'uranium-235 ; le noyau d'uranium est plus lourd que les noyaux de baryum, de krypton et des neutrons produits ; la masse du noyau d'hélium est inférieure de celle des deux protons et de deux neutrons.</p> <p>Tableaux : de différents types de rayonnement et leur impact biologique ; pourcentage d'énergie produite par des centrales nucléaires par pays.</p> <p>Photos/Portraits : photo du physicien japonais I. Yukawa ; Pierre et Marie Curie dans leur laboratoire à</p>
--	--	--	---	---	--

			<p>terme « quark » ; un changement de l'espèce des quarks peut entraîner la transformation d'un proton à un neutron ; notation d'un élément chimique.</p>		<p>Paris ; contrôle du niveau de radioactivité avec un compteur Geiger-Müller ; retombées de la bombe atomique de Hiroshima ; photo du physicien italien E. Fermi ; photo de O. Hann et de L. Meitner dans leur laboratoire à Berlin ; la bombe d'uranium qui a été explosée à Hiroshima ; réacteur nucléaire ; essai de bombe atomique de fission, en 1954.</p> <p>Figures : les trois genres de la radioactivité, α, β et γ ; pénétrabilité du rayonnement α, β et γ ; le symbole de la radioactivité ; déficit de masse : la masse du noyau est inférieure à celle de ses nucléons ; principe de fonctionnement d'un réacteur nucléaire.</p> <p>Diagramme : la contribution de la radioactivité naturelle et de celle due à l'humain.</p> <p>Analogies : les forces électriques entre noyau et électrons comme les forces gravitationnelles entre une planète et son satellite ; quantité d'énergie par le carbone et par l'uranium.</p> <p>Accroches : charge électrique de l'électron (charge élémentaire) ; rayonnement cosmique.</p>
--	--	--	---	--	---

8	Niche écologique	Fonctions d'ondes - Paquets d'ondes ; La notion de fonction d'onde pour les corpuscules ; L'équation de Schrödinger ; Corpuscule dans un puits de potentiel infiniment profond ; Corpuscule dans un puits de potentiel fini ; L'effet tunnel.	Rayons X (spectre continu et linéaire, propriétés des rayons X et facteurs influençant le spectre des rayons X ; Impact biologique de la radiation ; Les forces fondamentales de la nature ; Énergie de cohésion du noyau ; Radiations α , β , γ ; Filiation radioactive ; Comment voit-on les objets ; Laser.	En introduction, §1.2 « L'histoire des sciences physiques » décliné aux sous-§ suivants : « Les premières connaissances » ; « La naissance de la philosophie et de la pensée scientifique » ; « Aristote » ; « La période du Moyen-âge » ; « La révolution scientifique » ; « Le 19 ^e siècle » ; « Le 20 ^e siècle » ; §1.3 « Qu'est-ce qu'étudie la Physique ? » ; Ch. 2 « Chaleur », §2.4 « Température, chaleur et micromonde » avec les sous-§ : « Molécules » ; « Molécules et température » ; « Transfert de chaleur et équilibre thermique » ; « Énergie thermique » ; « Forces entre molécules et énergie interne d'un corps » §2.5 « Dilatation et contraction thermiques » dont le sous-§ « Interprétation de la dilatation » ; §2.6 « Changements d'état » ; §2.7 « Évaporation et condensation » ; §2.8 « Comment se propage la chaleur par conduction ? » ; Ch. 4 « Électromagnétisme », §4.3 « Magnétisation » avec le sous-§ : « Interprétation de la magnétisation » ; « Démagnétisation par réchauffement » ; « Démagnétisation par collision » ; « Magnétisation et énergie » ; §4.7 « Un monde de corpuscules électrisés, notre monde ! » contenant les sous-§ suivants : « Interprétation de l'électrisation par frottement » ; « Interprétation de l'électrisation par	Interprétation microscopique des modes d'électrisation ; Courant électrique ; Loi d'Ohm et micromonde ; Interprétation microscopique de la résistance électrique d'un conducteur métallique ; Interprétation de l'influence de la température sur la résistance électrique ; Les solutions d'électrolytes sont des conducteurs ; Radioactivité ; Effets biologiques du rayonnement ; Énergie et réactions nucléaires ; Fission nucléaire ; Fusion nucléaire.
---	------------------	---	--	--	--

				<p>contact » ; « Interprétation de l'électrisation par induction » ; §4.8 « Une grandeur utile : la charge électrique » ; §4.9 « Deux propriétés importantes de la charge électrique » ; §4.12 « Courant électrique et circuit électrique » incluant le sous-§ « Conducteurs, semi-conducteurs et isolants dans un circuit électrique » ; Ch. 5 « La structure de la matière », §5.4 « Structure et propriétés des liquides » avec les sous-§ : « Le mouvement brownien » ; « La pression des gaz » ; « Propriétés de la pression des gaz » ; « Pression et volume » ; « Pression et nombre de molécules » ; « Interprétation de la dilatation thermique des gaz » ; §5.5 « Structure et propriétés des solides » avec les sous-§ : « Solides cristallins » ; « Solides amorphes » ; « Diamant et graphite : les deux aspects du carbone » ; « Cristaux d'ions » ; « Électrolyse » ; « Métaux et électrons libres » ; « Conductivité électrique des métaux » ; « Conductivité thermique des métaux » ; §5.6 « Le besoin de conception de modèles en Physique » avec le sous-§ : « Le transfert d'électrons et l'électrisation des solides ».</p>	
--	--	--	--	--	--

Tableau 2A : Analyse didactique de manuels de chimie grecs

	Indicateurs génériques	Manuels de chimie grecs (1945-1970)	
1	Code	G25c4	G26c3
2	Informations générales : - titre - auteur - édition	- Chimie - Alkinoos E. Mazis - Librairie de l'« Estia » 1965	- Chimie - Alkinoos E. Mazis - OEDB 1968
3	Position et contenu des sections concernées	Ch. « Molécules et atomes ». Sous-ch. « Les molécules » §1 « Comment prouver l'existence des molécules » ; §2 « Les molécules ». Sous-ch. « Les atomes » §1 « Les molécules sont constituées par des atomes » ; §2 « Pourquoi s'appellent-ils les atomes » ; §3 « Les molécules des corps simples » ; §4 « Les réactions chimiques » ; §5 « La loi de Lavoisier ». Sous-ch. « Atome-gramme et mole » §1 « Notation des atomes » ; §2 « L'atome-gramme ».	Aucune section explicite sur l'atome.
4	Part occupée nb d'images / nb de pages	6 / 13 = 0,46	-
5	Typologie iconique	5 modèles ; 1 tableau	6 modèles ; 1 tableau
	Indicateurs spécifiques	Manuels de chimie grecs (1945-1970)	
6	Paradigme épistémologique	Référence à Démocrite ; Modèle de Dalton (implicite) : particules extrêmement petites et indivisibles.	Modèle de Dalton (implicite) : particules compactes et indivisibles.

7	Schématisme privilégiée	<p>Modèles : modèle de la molécule de l'H₂O avec indication de l'angle de 105° ; mod. en noir et blanc des molécules de He (« monoatomique »), H₂ et O₂ ; mod. de la production de H₂O à partir des molécules d'O₂ et d'H₂ ; mod. de la composition de l'H₂O par ses constituants (réorganisation des atomes) et l'équation chimique en l'occurrence ; mod. des cristaux du diamant et du graphite.</p> <p>Tableau : symboles et atomes-grammes de divers éléments.</p>	<p>Modèles : modèles éclatés en noir et blanc des molécules de l'HCl, H₂O et NH₃ ; équation de déplacement C₃H₈+Cl₂ ; mod. des formules semi-développées des CH₄, C₃H₈, CF₂Cl₂, etc. ; mod. éclatés en noir et blanc des molécules du CH₄, C₂H₆... C₅H₁₂ et du benzène C₆H₆ ; équation de la combustion du benzène.</p> <p>Tableau : formules semi-développées d'acides et sels, dont H₃PO₄, Ca₃(PO₄)₂, etc.</p>
8	Niche écologique	<p>Sous-ch. « Atome-gramme et mole » §3 « La formule chimique » ; §4 « La mole » ; §5 « Volume d'une mole de gaz propre » ; §6 « Constitution centésimale de corps purs composé ».</p> <p>Sous-ch. « Réactions chimiques » §1 « La réaction chimique » ; §2 « La réaction chimique exprime le rapport des moles ».</p>	<p>Valence des éléments ; Formules chimiques dont Na₂O, Al₂O₃, CH₄, C₃H₈, C₆H₆, etc.</p>

Tableau 2Ba : Analyse didactique des manuels de chimie grecs

Indicateurs génériques		Manuels de chimie grecs (1971-1990)				
1	Code	G27cT	G28c4	G29c21	G30c4	G31c3
2	Informations générales : - titre - auteur - édition	<ul style="list-style-type: none"> - Chimie organique - G. Varvoglis - OEDB 1974 	<ul style="list-style-type: none"> - Chimie (adaptation d'un manuel français) - A. Godier, C. Thomas, M. Moreau (traduction en grec par Zoï Mela-Ioannidi) - OEDB 1976 	<ul style="list-style-type: none"> - Chimie inorganique - L. Sp. Liokis - OEDB 1976 	<ul style="list-style-type: none"> - Chimie - V. Kaponi, S. Sermpeti, Th. Frassari - OEDB 1979 	<ul style="list-style-type: none"> - Chimie - V. Kaponi, S. Sermpeti, Th. Frassari - OEDB 1980

3	<p>Position et contenu des sections concernées</p>	<p>Aucune section explicite sur l'atome.</p>	<p>Ch. « Molécules et atomes », suivi du « Effets physiques et chimiques ». Sous-ch. « Molécules » contenant les §1-5 : les corps sont constitués des molécules ; les molécules d'un corps pur sont identiques ; différenciation entre les molécules des corps différents ; H₂, la molécule la plus légère ; composition de l'eau. Sous-ch. « Atomes » contenant les § 6-8 : constitution des molécules ; phénomènes chimiques ; composition de l'eau. Ch. « Mole et atome-gramme » décliné aux sous-ch. suivants : « Corps purs simples et composés » ; « Corps simples et mélanges » ; « Mole et atome-gramme ».</p>	<p>Ch. « Théorie atomique » (suivi des lois expérimentales des gaz) décliné aux sous-ch. : « Atomes » ; « Molécules » ; « Loi d'Avogadro » ; « Masse atomique et moléculaire » ; « Atome-gramme et mole » ; « Volume molaire » ; « Nombre d'Avogadro ».</p> <p>Ch. « Explication des lois de la chimie » contenant les § suivants : « Loi de la conservation de la masse » ; « Loi des proportions constantes » ; « Loi des proportions multiples » ; « Loi des volumes gazeux ».</p> <p>Ch. « Construction interne des atomes » décliné aux § comme suit : « Constituants des atomes » ; « Structure des divers atomes ».</p> <p>Ch. « Interprétation de la valence et de l'affinité chimique » avec les § : « Explication de la valence » ; « Explication de l'affinité chimique » ; « Comment s'associent-ils les éléments ? ».</p> <p>Ch. « Système périodique des éléments » décliné</p>	<p>Leçon 8 « Microstructure de la matière - Réactions chimiques - Symboles » avec les § : « Changement d'échelle » ; « Dilution de la matière. Molécules » ; « Atomes » ; « Composants des atomes » ; « Numéro atomique » ; « Répartition des électrons » ; « Quelques atomes » ; « Symboles des molécules des éléments ». Leçon 9 « Masse atomique et masse molaire - Atome-gramme - Mole - Volume molaire - Densité des gaz » contenant les § suivants : « L'unité de mesure de la masse pour les atomes et les molécules » ; « Un nombre important : N d'Avogadro » ; « Changeons d'échelle » ; « Conditions normales ». Leçon 10 « Configuration atomique - Le système périodique » avec</p>	<p>Dans la leçon 2, « Les métaux - Les alliages des métaux », référence aux cristaux métalliques, aux électrons libres et à la liaison métallique. Dans la leçon 7, « Lumière - Photochimie - Photosynthèse - Réactions photochimiques », référence à la production de la lumière par excitation de l'atome. Dans les leçons 9 « Chimie organique » et 11 « Ethylène - Hydrocarbures insaturés », références à des liaisons simples et multiples entre les atomes de C, H, O, etc.</p>
---	---	--	---	---	--	--

				aux § : « Classification des éléments » ; « Tableau du système périodique » ; « Numéro atomique » ; « Isotopes ». Ch. « Fission - fusion des atomes. Énergie atomique et thermonucléaire ».	les § : « Rajoutons des protons dans le noyau » ; « Comment se répartissent les électrons autour du noyau ? » ; « Le sens des électrons de la couche externe » ; « Le système périodique ». Leçon 11 « Composés chimiques - Liaisons - Valence » contenant les § : « Formation de composés chimiques » ; « Explication du phénomène » ; « Équations chimiques ».	
4	Part occupée nb d'images / nb de pages	-	13 / 9 = 1,44	7 / 14 = 0,50	27 / 12 = 2,25	18 / 8 = 2,25
5	Typologie iconique	2 modèles	10 modèles ; 1 figure ; 1 schéma ; 1 encadré	5 modèles ; 2 tableaux	19 modèles ; 4 tableaux ; 4 analogies	15 modèles ; 1 tableau ; 1 figure ; 1 analogie
	Indicateurs spécifiques	Manuels de chimie grecs (1971-1990)				
6	Paradigme épistémologique	Modèle de Dalton (implicite).	Référence à Leucippe et Démocrite ; Mod. de Dalton (théorie atomique) ; Constituants d'atome dont les « oudeterons » ou neutrons ; Structure lacunaire de l'atome.	Référence aux atomistes grecs (Démocrite) ; Mod. de Dalton (théorie atomique) ; Structure interne de l'atome avec admission des orbites (couches) elliptiques.	Mod. de Dalton (implicite) ; Structure interne de l'atome (orbites ou couches circulaires).	Mod. planétaire ; Mod. de Bohr (implicite) pour l'émission de photons par l'atome.

7	Schématisation privilégiée	<p>Modèles : chaînes carbonées ; formule de Kekulé pour le benzène.</p>	<p>Modèles : mod. de molécules de H₂ (boules blanches éclatées) et de O₂ (boules noires éclatées) ; modélisation de la réaction ch. de la synthèse de l'eau ; modèles éclatés en noir et blanc du dihydrogène, de l'eau et de la « molécule » de sel à propos de la classification de la matière ; mod. planétaires des atomes d'H et d'O avec, celui-ci, les 6 e⁻ de la couche L, tous séparés ; mod. corpusculaire de la décomposition CO₂→CO+1/2O₂ ; mod. corpusculaire de la réduction C+2CuO→CO₂+2Cu</p> <p>Figure : illustration de l'atome-gramme et de la mole d'atomes d'H.</p> <p>Schéma : classification de la matière (corps simple ; composé chimique ; corps pur ; mélanges).</p> <p>Encadré : « Les atomes ».</p>	<p>Modèles : modélisation de réactions ch. (H₂+Cl₂, H₂+O₂, H₂+N₂) avec « ● » pour l'atome de N, « ○ » pour H, etc. ; modèle de Bohr des atomes d'H et de He (avec distinction des protons et neutrons) ; modèles de Bohr de Na et Cl (dans les couches, les e⁻ sont symétriquement placés, sans formation de paires ; configuration électronique des atomes de Na et de Cl et formation de la liaison ionique dans la « molécule » de NaCl ; isotopes de l'atome d'H (appelés deutérium, tritium, mais hydrogène à la place de protium).</p> <p>Tableaux : liste alphabétique des 102 éléments connus en 1959 (de l'H au No) avec leur symboles, masses at. et numéro at. Z ; système périodique (en périodes et groupes) des 102 éléments.</p>	<p>Modèles : mod. compacts de molécules (H₂, O₂, H₂O, C₂H₅OC₂H₅) avec de diverses boules représentant les atomes C, H et O ; modélisation microscopique des états de la matière ; molécules mono et polyatomiques (He, H₂, H₂O) ; symboles des corpuscules subatomiques avec leur charge élec. et leur masse (m_e ≈0, m_p ≈1, m_n ≈1) ; modèles de Bohr pour les atomes d'H et d'He (avec la composition du noyau) montrant les couches ; structure lacunaire de l'atome ; les couches de K à Q (équidistantes) ; configuration électronique des atomes d'H, He et C avec tous les e⁻ appariés ; les noyaux ⁵⁶Fe et ¹⁹⁷Au ; structure de Bohr pour les éléments de la 1^{ère} période du tb pér. (les e⁻ de l'He figurent comme célibataires) ; structure de Bohr pour les éléments de la 2^e période du tb pér. (les</p>	<p>Modèles : équations d'oxydoréductions chimiques (Fe⁺⁺⁺+3e⁻→Fe ; Cu+O₂, etc.) ; mod. de Bohr et configuration électronique pour les atomes de Cu, Fe et Al (les e⁻ séparés et symétriquement placés dans les couches) ; modèle des e⁻ libres dans les métaux, légendé « liaison métallique » ; modèles des cristaux de Fe et de Cu ; formule développée plane de Al₂O₃ ; mod. atomique de Bohr illustrant le mécanisme de l'excitation et de l'émission du photon ; plusieurs représentations des formules ch. dont éthylène, benzène, maltose, glucose... (form. développées, de Lewis, illustration des liaisons doubles).</p> <p>Tableau : nom, symbole, masse atomique, densité, point de fusion de certains métaux les plus importants.</p> <p>Figure : dispositif</p>
---	----------------------------	--	--	--	---	---

				<p>e^- appariés et célibataires); structure des atomes Na et Cl et de leurs ions Na^+, Cl^- avec le transfert d'un e^-; équations erronées telles que $C+O \rightarrow CO$, etc.; représentation de l'ionisation de l'H vers H^+ et H^-; mod. des solides amorphes et cristaux; illustrations de chaînes carbonées; mod. des structures stéréochimiques de CH_4, de diamant et de graphite.</p> <p>Tableaux : notation de certains éléments; reprise du même tb rajoutant les masses atomiques; extrait du système périodique; tableau affichant les symboles et les num. atomiques des éléments au-delà de l'U.</p> <p>Analogies : volume d'1ml de noyaux pèse 150000000tn; masse atomique 1u comme le 1/12 du camembert représentant l'atome de ^{12}C; balance en équilibre avec comme masse marquée le 1u: atome d'H=1u, celui d'O=16u et</p>	<p>d'examen médical basé sur le radioactif Co.</p> <p>Analogie : liaisons simples / multiples entre des atomes de C simulées par deux enfants qui se tiennent la main / les mains.</p>
--	--	--	--	--	---

					<p>dihydrogène=2u ; conservation d'atome lors des réactions ch. (loi de Lavoisier).</p>	
8	Niche écologique	<p>Classification des composés organiques. En annexe (lexique), définition courte de l'atome-gramme et de la mole.</p>	<p>Formule de l'eau ; Symboles d'éléments ; Modélisation de la décomposition du CO₂ en CO et O₂ ; Les propriétés de réduction de l'oxygène ; Extincteur à CO₂.</p>	<p>Électrolyse - électrolytes - ions ; Théorie de la dissociation électrolytique (Th. d'Arrhenius) ; Mécanisme de l'électrolyse ; Tableau périodique des éléments ; Radium, Uranium.</p>	<p>Écriture des équations chimiques ; Usages de l'hydrogène ; Formes du carbone ; Le carbone forme de centaines de milliers de composés ; Le diamant et le graphite sont différents ; Allotropie ; La tendance du carbone de s'associer à l'oxygène ; Usages du carbone.</p>	<p>Référence à : « ère atomique », radium et uranium, réacteurs nucléaires, énergie nucléaire, radioactifs ; Liaison métallique et cristaux de métaux ; Luminescence : fluorescence et phosphorescence ; Chimie organique.</p>

Tableau 2Bb : Analyse didactique des manuels de chimie grecs

Indicateurs génériques		Manuels de chimie grecs (1971-1990)			
1	Code	G32c3	G33c2	G34cTS	G35c2
2	Informations générales : - titre - auteur - édition	- Chimie - F. Frassari, P. Drouka-Liapati - OEDB 1983	- Chimie - P. Od. Sakellaridis - Fondation « Evgénidou » 1983	- Chimie - P. Od. Sakellaridis - Fondation « Evgénidou » 1987	- Chimie - Pavlos Od. Sakellaridis - Fondation « Evgénidou » 1990
3	Position et contenu des sections concernées	Aucune section explicite concernant l'atome.	Ch. 2 « Théorie atomique moderne (Structure de l'atome) », précédé du Ch. 1 « Classification des éléments - Système périodique ». §2.1 « Généralités » (vérification expérimentale de la th. atomique, proton, neutron et électron, dimensions, masses et charges élec.) ; §2.2 « Les divers modèles atomiques » (mod. de Thomson, Rutherford, Perrin, postulats de Bohr, mod. de la mécanique quantique et les nombres quantiques, principe de Pauli, électrons de valence) ; §2.3 « Construction des noyaux des atomes - Isotopes et éléments du même nombre	Partie 1 « Chimie inorganique ». Ch. 4 « Théorie électronique de la valence - Liaisons chimiques » du Ch. 3 « Équilibre chimique » précédé. §4.1 « Théorie électronique de la valence » ; §4.2 « Liaisons chimiques » décliné aux sous-§ : « Liaison ionique - Électrovalence » ; « Liaison covalente - Valence » ; « Liaison covalente coordinative » ; « Liaison métallique ».	Ch. 4 « Théorie atomique et moléculaire », du Ch. 3 « Lois expérimentales » précédé. §4.1 « Théorie atomique de Dalton - Atomes et molécules » ; §4.2 « Masse atomique et mole » ; §4.3 « Atome-gramme, mole, équivalent-gramme » ; §4.6 « Calcul de masses atomiques » décliné aux sous-§ suivants : « Méthode Cannizaro » ; « À partir de l'équivalent chimique et la valence » ; « À partir de la chaleur spécifique à l'état solide » ; « Moyennant du spectromètre de masse ». Ch. 9 « Hydrogène » §9.5 « Isotopes de l'hydrogène ».

			de neutrons ».		
4	Part occupée nb d'images / nb de pages	-	$9 / 7 = 1,29$	$7 / 14 = 0,50$	$9 / 10 = 0,90$
5	Typologie iconique	10 modèles ; 1 tableau ; 1 analogie	2 modèles ; 6 tableaux ; 1 diagramme	6 modèles ; 1 tableau	7 modèles ; 1 tableau ; 1 diagramme
	Indicateurs spécifiques	Manuels de chimie grecs (1971-1990)			
6	Paradigme épistémologique	Mod. planétaire (suivant la figure interprétant la liaison métallique).	Théorie atomique de Dalton ; Hypothèse de Prout : tous les éléments sont des agrégats de l'atome d'H ; Contestation de Stass ; Calculs d'Aston ; Modèles de Thomson, Perrin, Rutherford et Bohr (avec mathématisation des postulats) ; Mod. de la mécanique quantique (incertitude de position et de vitesse des e ⁻ , probabilité de présence, nuage électronique, orbite indéterminée).	Mod. planétaire, couches K, L, M... et règle d'octet.	Discontinuité de la matière (Leucippe, Démocrite, Épicure) ; Opposition d'Aristote et vérification expérimentale par Bernoulli ; Théorie des atomes, de Dalton.

7	Schématisation privilégiée	<p>Modèles : mod. de la liaison métallique avec les e⁻ libres détachés des couches atomiques ; formules chimiques d'oxydation des métaux les plus électropositifs (Na-1e⁻→Na⁺; Ca-2e⁻→Ca⁺⁺; Al-3e⁻→Al⁺⁺⁺); équations ch. des métaux dont Na+H₂O, Zn+HCl, etc. ; demi-réactions d'oxydation et de réduction : Fe^o-2e⁻→Fe²⁺; Cu²⁺+2e⁻→Cu^o; formule développée plane de Al₂O₃; formules électroniques de Lewis, formules développées, semi-développées et topologiques de composés organiques saturés et insaturés dont CH₄, C₂H₄, benzène (formule de Kekulé et autres), naphtalène, etc. ; structure spatiale pour CH₄ et C₂H₄.</p> <p>Tableau : certains métaux avec symbole et valences.</p> <p>Analogie : l'atome de Fe « monte » l'escalier lors de son oxydation, tandis que l'ion Cu⁺⁺ « descend », à la suite de sa réduction.</p>	<p>Modèles : mod. de Bohr (K, L, M, N ou n=1, 2, 3, 4 et ΔE=hv, v étant en grec la fréquence f); diverses chaînes carbonées, saturés et insaturés.</p> <p>Tableaux : 1^{er} système périodique de Mendeleïev (1869); système périodique contemporaine; système périodique développé; évolution de la valence des éléments (dans les oxydes) de la 3^e période; évolution de la valence des éléments (dans les hydrures) de la 2^e période; configuration électronique des 20 premiers éléments (de l'H au Ca) avec des e⁻ appariés et célibataires.</p> <p>Diagramme : évolution du volume atomique (en cm³) des 20 premiers éléments du tb pér. en fonction du numéro atomique Z.</p>	<p>Modèles : liaison d'hydrogène dans l'eau; liaison et formation des molécules de Cl₂, O₂, N₂ et CH₄; formules de Lewis pour les atomes de Li, Be, N, O, F, Ne, la molécule polaire de HCl et l'ion de NH₄⁺; équations d'oxydoréduction (Cu+O₂, etc.); formules de Lewis pour HCl et Cl₂; grand nombre de formules (développées, semi-développées, topologiques) et maquettes compactes et éclatées de composés organiques dont CH₄, C₂H₄, C₂H₂ et autres familles organiques.</p> <p>Tableau : réactions d'oxydoréduction avec leurs potentiels pour Li, K, Ca, Br, Cl...</p>	<p>Modèles : mod. atomique de Bohr pour les isotopes d'H (protium, deutérium, tritium); modèle de la maille de NaCl en 3D (distance entre Na⁺ et Cl⁻ indiquée); symboles des éléments aux 16^e et 17^e siècles; symboles des éléments selon Dalton; formules de la molécule de méthane (formules développée, stéréochimique et celle de Lewis); modèles du cristal du diamant et du graphite (formes allotropiques du carbone); plusieurs équations chimiques dans les Ch. 9-15 traitant des éléments.</p> <p>Tableau : liste alphabétique des éléments avec leur symbole, masse atomique et numéro at.</p> <p>Diagramme : abondance des éléments dans le globe terrestre (y compris la mer et l'atmosphère).</p>
8	Niche écologique	<p>Liaison métallique et modèle d'électrons libres; Oxydoréduction; Polymérisation.</p>	<p>Corrélation des propriétés des éléments avec leur masse atomique (loi de Dulong et Petit); Répartition des éléments d'après Newlands (périodicité selon la masse atomique); Systèmes périodiques de Mendeleïev, Mayer et Moseley; Les tableaux périodiques de Mendeleïev, de Moseley et</p>	<p>Oxydoréduction - Nombre d'oxydation; Potentiel d'oxydoréduction (Zn↔Zn⁺²+2e⁻, etc.); Chimie organique; Nomenclature - Isomérisation des composés organiques; Hydrocarbures; Hydrocarbures halogénés; Alcools saturés mono-allyliques; Éthers; Aldéhydes et cétones;</p>	<p>Composés chimiques, éléments; Lois de conservation de la masse (Lavoisier), des proportions définies (Proust), des proportions multiples (Dalton), des volumes gazeux (Gay-Lussac), des poids équivalents (Richter); Loi d'Avogadro, Volume molaire des gaz; Affinité chimique, Valence; Description des corps cristallins avec plusieurs illustrations dont la maille de NaCl.</p>

			le contemporaine ; Caractère électrochimique des éléments, périodicité de la valence et des propriétés physiques ; Éléments radioactifs Ra et U ; Formules développées de composés organiques.	Acides carboxyliques ; Isométrie optique ; Composés azotés ; Acides aminés ; Glucides ; Composés aromatiques ; Polymères.	
--	--	--	---	--	--

Tableau 2Ca : Analyse didactique des manuels de chimie grecs

Indicateurs généraux		Manuels de chimie grecs (1991-2014)				
1	Code	G36cTS	G37c2	G38cTS	G39c4	G40c2
2	Informations générales : - titre - auteur - édition	- Chimie - Th. Mavromoustakos, A. Kolokouris, K. Papakonstantinou, P.I. Sinigalias, K. Lappas - OEDB 1999	- Chimie - K. Tsipis, A. Varvoglis, K. Giouri-Tsochatzi, D. Derpanis, P. Palamitzoglou, G. Papageorgiou - OEDB 2000	- Chimie - S. Liodakis, D. Gakis, D. Theodoropoulos, P. Theodoropoulos - OEDB 2000	- Chimie - S. Avramiotis, V. Agelopoulos, G. Kapelonis, P. Sinigalias, D. Spantidis, A. Trikaliti, G. Filos - OEDB 2007	- Chimie - S. Liodakis, D. Gakis, D. Theodoropoulos, P. Theodoropoulos, A. Kallis - OEDB 2001
3	Position et des sections concernées	Ch. 1 « Structure d'atomes et de molécules - Tableau périodique » suivi du Ch. 2 « Thermodynamique chimique ». Sous-	Ch. 1 « Concepts fondamentaux », Ch. 1.3 « Consistance de la matière (atomes, molécules, ions). Consistance et structure de l'atome. Numéro atomique Z. Nombre de masse A -	Ch. 1 « Structure électronique des atomes et tableau périodique » suivi par le Ch. 2 « Thermodynamique chimique ». Introduction ; §1.1 « Orbitale -	Ch. 2 « De l'eau à l'atome - Du macromonde au micromonde ». En amont, « Introduction à la chimie ». En aval, « Air atmosphérique ».	Ch. 1 « Concepts de base » §1.3 « Corpuscules structuraux de la matière - Structure d'atome - Numéro atomique - Nombre de masse - Isotopes » contenant les sous-§ suivants : « Corpuscules structuraux de la matière » ;

		<p>ch. 1.1 « Nombres quantiques et orbitales », §1.1.1 « Introduction » ; §1.1.2 « Théorie des quanta » ; §1.1.3 « Le modèle atomique de Bohr » ; §1.1.4 « Duité corpuscule-onde. Principe d'incertitude » ; §1.1.5 « Nombres quantiques et orbitales » ; §1.1.6 « Figures d'orbitales et nuages électroniques ». Sous-ch. 1.2 « Configuration électronique d'atomes et structure du tableau périodique », §1.2.1 « Introduction » ; §1.2.2 « Énergie de sous-couches d'atomes pluri-électroniques » ; §1.2.3 « Principe d'exclusion de Pauli » ; §1.2.4 « Construction des atomes - Règle de Hund » ; §1.2.5 « La structure électronique des éléments est la base du tableau périodique » ; §1.2.6 « Remarques sur le tableau périodique » ; §1.2.7 « La construction des éléments de</p>	<p>Isotopes », §1.3.1 « Corpuscules structuraux de la matière » décliné aux sous-§ : « Atomes et molécules » ; « Ions » ; §1.3.2 « Structure de l'atome » décliné aux sous-§ : « Protons, neutrons, électrons » ; « Numéro atomique Z et nombre de masse A » ; « Isotopes ». Ch. 2 « Tableau périodique - Liaisons », Ch. 2.1 « La configuration électronique des atomes. Un modèle simple et persistant : le modèle atomique de Bohr » décliné aux sous-§ : « Postulats de Bohr » ; « Le nombre quantique principal et la répartition des électrons en couches ». Ch. 2.2 « Répartition des éléments. Tableau périodique », §2.2.1 « Tableau périodique » ; décliné aux sous-§ : « Analyse du tableau périodique » ; « Détermination de la position des éléments dans le tableau périodique » ; « Utilité du tableau périodique ». Ch. 2.3 « Généralités sur la liaison chimique », §2.3.1 « Le concept de la liaison chimique. Pourquoi les</p>	<p>Nombres quantiques » décliné aux sous-§ : « Orbitale » (où sont exposés les postulats de Bohr, la dualité onde-corpuscule, le principe d'incertitude et la fonction d'onde) ; « Nombres quantiques » ; « Représentation graphique d'orbitales atomiques » ; §1.2 « Principes de construction des atomes polyélectroniques » contenant les sous-§ : « Principe d'exclusion de Pauli » ; « Principe de l'énergie minimale » ; « Règle de Hund » ; §1.3 « Structure du tableau périodique (domaines s, p, d, f) - éléments de transition » décliné aux sous-§ : « Structure du tb pér. par rapport à la configuration él. des éléments » ; « Domaines du tableau périodique » ; « Périodicité des éléments » ; « Éléments de transition » ; §1.4 « Évolution de certaines propriétés périodiques » avec les sous-§ suivants : « Rayon atomique - énergie d'ionisation - affinité électronique »</p>	<p>§2.8 « Atomes et molécules » décliné aux sous-§ suivants : « Théorie atomique » ; « Éléments et composés chimiques » ; « Représentation d'atomes et de molécules » ; « Explication de la décomposition de l'eau par la théorie atomique » ; §2.9 « Corpuscules subatomiques - Ions » décliné aux sous-§ suivants : « Structure de l'atome » ; « Numéro atomique et nombre de masse » ; « Ions » ; §2.10 « Symboles d'éléments et de composés » décliné aux sous-§ suivants : « Les symboles des éléments chimiques » ; « Notation de molécules d'éléments et de composés » ; « Formules chimiques d'ions et de composés ioniques ».</p>	<p>« Atomes - Molécules - Ions » ; « Structure de l'atome » ; « Numéro atomique - Nombre de masse - Isotopes ». Ch. 2 « Tableau périodique - Liaisons », Introduction ; §2.1 « Structure électronique des atomes » décliné aux sous-§ : « Un modèle d'atome simple » ; « Répartition des électrons en couches » ; §2.3 « Généralités autour de la liaison chimique - Facteurs déterminant le comportement chimique de l'atome - Sortes de liaisons chimiques » décliné aux sous-§ : « Qu'est-ce la liaison ch. ? Quand et pourquoi se forme-t-elle ? » ; « Électrons de valence » ; « Rayon atomique (la dimension de l'atome) » ; « Liaison ionique » ; « Caractéristiques de composés ioniques » ; « Liaison covalente » ; « Caractéristiques de composés moléculaires ».</p>
--	--	--	---	---	--	---

		transition ». Sous-ch. 1.3 « Périodicité des propriétés des éléments », §1.3.1 « Rayon atomique et tableau périodique » ; §1.3.2 « Energie de la 1 ^{ère} ionisation ».	atomes s'associent-ils ? » ; §2.3.2 « Déterminants du comportement chimique de l'atome » contenant les sous-§ : « Couche externe ou couche de valence » ; « Rayon atomique ».	§1.5 « Formules électroniques - figures de molécules » avec les sous-§ : « Formules de Lewis » ; « Figures de molécules - Théorie VSEPR (Valence Shell Electron Pair Repulsion) ; « Divergences des figures normales ».		
4	Part occupée nb d'images / nb de pages	66 / 18 = 3,67	56 / 29 = 1,93	96 / 32 = 2,74	36 / 15 = 2,40	121 / 34 = 3,56
5	Typologie iconique	33 modèles ; 9 tableaux ; 4 photos/portraits ; 4 diagrammes ; 2 analogies ; 6 schémas 4 encadrés ; 4 accroches	21 modèles ; 11 tableaux ; 10 photos/portraits ; 4 analogies ; 2 diagrammes ; 2 schémas ; 6 encadrés	46 modèles ; 10 tableaux ; 11 photos/portraits ; 8 diagrammes ; 5 analogies ; 1 schéma ; 2 figures ; 2 encadrés 11 accroches	8 modèles ; 10 tableaux ; 5 photos/portraits ; 3 analogies ; 6 schémas ; 4 accroches	33 modèles ; 10 tableaux ; 28 photos/portraits ; 3 diagrammes ; 3 analogies ; 5 schémas ; 6 encadrés ; 33 accroches
	Indicateurs spécifiques	Manuels de chimie grecs (1991-2014)				

6	Paradigme épistémologique	Mod. de Bohr avec les postulats (sauf la quantif. du moment cinétique), dénommés « conditions mécanique et optique »; Échecs dans la description énergétique d'atomes polyélectroniques ; Duité corpuscule-onde de De Broglie ; Mod. probabiliste de Schrödinger ; Orbitales et nuage électronique.	Mod. de Bohr avec les postulats (sauf la quantif. du moment cinétique), dénommés « conditions mécanique et optique »; Mod. de la mécanique quantique (de corpuscule-onde) : nuage électronique ou « nuage de charge ».	Mod. de Bohr avec les postulats (sauf la quantif. du moment cinétique), dénommés « conditions mécanique et optique »; Échecs dans l'explication des spectres d'atomes polyélectroniques et de la liaison ch.; Théorie ondulatoire de la matière de De Broglie ; Principe d'incertitude ; Mod. probabiliste de Schrödinger ; Orbitales et nuage électronique.	Mod. atomique de Leucippe et Démocrite ; Vérification expérimentale, par Dalton, de la discontinuité de la matière ; Structure interne de l'atome expliquant, d'après Rutherford (qui rejette le mod. de Dalton), la radioactivité remarquée par Curie.	Idées de Leucippe et Démocrite de discontinuité de la matière ; Th. Atomique de Dalton ; Élaborations de Rutherford, Bohr, Sommerfeld ; Mod. probabiliste issu de la mécanique ondulatoire avec référence au concept du nuage électronique : duité corpuscule-onde, orbitale atomique, probabilité de présence de l'électron.
---	----------------------------------	---	--	--	---	---

7	<p>Schématisation privilégiée</p>	<p>Modèles : désexcitation de l'électron, dans le mod. atomique de Bohr, avec émission d'un photon d'énergie hf; champ magnétique entraîné par le spin de l'électron; configuration de l'orbitale atomique 1s; modèles des orbitales atomiques sphériques 1s, 2s et 3s; configuration de l'orbitale atomique p au niveau xz; mod. d'orbitales at. p_x, p_y, p_z désignant des lobes où la probabilité de présence de l'e⁻ est de 95 %; modélisation de la règle d'Hund pour le remplissage des orbitales; atome sphérique de Na avec le rayon; énergie de la 1^{ère} ionisation et saut électronique; formules de Lewis pour CH₃OH, SO₃, CHOH, NH₃, NH₄⁺; orbitale moléculaire du dihydrogène; liaisons σ par recouvrement axial d'orbitales s ou p (molécules de H₂ et F₂); liaisons π par recouvrement latéral</p>	<p>Modèles : maquette de la molécule d'ADN; l'anion chlorure Cl⁻ est l'atome de chlore ayant gagné un e⁻ et donc sa diamètre passe de 2Å à 3,6Å; le cation Na⁺ est l'atome de sodium ayant perdu un e⁻ et donc sa diamètre passe de 3,08Å à 1,90Å; dimensions relatives pour l'atome d'H, l'ion H⁺ et e dihydrogène; notation ^A_ZX; émission et absorption de photons dans l'atome de Bohr; configuration des atomes de ³⁵Br et de ¹¹Na avec des électrons appariés et célibataires; nuage élect. ou « nuage de charge » d'après le mod. quantique; comparaisons dans le rayon at. entre les éléments de la 2^e période (Li-Cs) et du 1^{er} groupe (Li-F); mécanisme d'établissement de la liaison ionique dans le NaCl; dissolution du NaCl dans l'eau; cristal de NaCl, de maille cubique, constitué par des « unités typiques de NaCl »; mécanisme d'établissement de la liaison covalente dans le Cl₂; liaisons covalentes (simples/multiples) dans les molécules de H₂, O₂ et N₂; la molécule H₂O est l'unité</p>	<p>Modèles : mod. de Bohr illustrant les transitions d'e⁻ possibles entre les couches et qui produisent des photons; modes de représentation du nuage e⁻ de l'orbitale s de l'atome d'H (points, intensité gradation de couleur, surface frontalière); mod. du spin électronique (rotation dans le sens des aiguilles d'une montre, m_l = -1/2 ou dans le sens inverse m_l = 1/2; orbitales 1s, 2s et 3s (fonctions ψ_s²) l'intensité de couleur variant selon la densité du nuage élect.; comparaison des surfaces frontalières des orbitales 1s, 2s et 3s; orbitales p_x et p_y; comparaison de la dimension des orbitales 2p_z et 3p_z; orbitales p (fonctions ψ_p²) en 3D; mod. de définition du rayon atomique; plusieurs formules de Lewis (NaCl, NH₄⁺, HCN, HClO, PCl₅, etc.); mod. compact et éclaté de la molécule du BF₃; mod. stéréochimiques des molécules de NH₃ et H₂O disposant d'un doublet d'e⁻ non liants et donc</p>	<p>Modèles : mod. corpusculaires (maquettes éclatées et colorées); simulations d'atomes par des boules colorées et de dimensions variées (C: noir; O: rouge; H: blanc...); explication corpusculaire de la décomposition de l'eau; mod. de Bohr des atomes d'H, He, Li et de l'ion de Li⁺ avec les électrons à la manière des comètes; ions Na⁺ et Cl⁻ lors de l'électrolyse; cristal coloré et compact de NaCl; mod. moléculaire de la décomposition de l'eau; mod. moléculaire de la décomposition du H₂O₂. Tableaux : molécules des éléments et des composés; diverses substances (dioxygène, sel, plâtre, etc.) et unités structurales correspondant (molécules/ions); symboles des éléments Ag et Au depuis les égyptiens, les grecs, 15^e et 18^e siècles et de</p>	<p>Modèles : mod. corpusculaires éclatés de H₂, O₂, CO₂, C₂H₅OH; cristal de NaCl coloré; mod. d'atome avec des protons et neutrons dans le noyau, les électrons étant autour, sous forme de nuage; mod. moléculaires des 3 états de l'eau; mod. corpusculaire des 3 états de la matière ordinaire; mod. moléculaire de la combustion H₂+O₂ → H₂O; dissolution de sucre et de NaCl dans l'eau; un des premiers mod. atomiques: le mod. de Rutherford; mod. corpusculaires du cristal de Na, du gaz Cl₂ et du cristal de NaCl; modèle atomique planétaire; mod. at. de Dalton; périodicité de la configuration él. des éléments de Z = 3 à Z = 18; mod. atomique de Rutherford: masse du noyau ≈ masse d'atome et mouvement indéterminé des e⁻; mod. atomique de Bohr: idée de couche et des orbites précises; représentation virtuelle des couches ou croûtes; définition du rayon atomique; les rayons at. des halogènes, en pm; composés ioniques de LiF et de NaCl et illustration du transfert d'e⁻; lors de la formation du NaCl l'énergie du système baisse; mod. éclaté de la maille de NaCl; strates dans le cristal</p>
---	--	---	---	---	--	---

	<p>d'orbitales p ; orbitales moléculaires de CH₄, C₂H₄ et C₂H₂ ; mod. moléculaire de détente de molécules d'eau ; maquette éclatée de la molécule d'eau dont l'énergie interne est imputable aux liaisons ch., à la rotation et à l'osculation des atomes ; mod. moléculaire des réactions H₂+O₂ et NO+ O₂ ; figures allotropiques du carbone (cristaux de graphite et de diamant) ; les 3 états de la matière ; mod. corpusculaire d'une solution chimique ; mod. de fission de l'²³⁵U et de fusion de l'³He ; dissociation de NaCl en ions ; l'ion d'oxonium H₃O⁺ ; effet inductif dans HOCl, HOBr et HOI ; NH₃ et CH₃NH₂ comme récepteurs de protons ; acidité des molécules de HF, HCl... ; métal dans une solution aqueuse d'ions ; strates de « corpuscules » dans les cristaux</p>	<p>structurale de l'eau ; formules de Lewis pour NH₃, BF₃ et F₃B←NH₃ (avec sa maquette) ; mod. corpusculaires éclatés des molécules de H₂O, O₂ et CO₂ ; maquettes des ions polyatomiques NH₄⁺, NO₂⁻ et PO₄³⁻ ; illustration moléculaire de la transformation chimique H₂+O₂→H₂O ; fission du noyau de ²³⁶U ; le noyau ¹⁴C se décompose en ¹⁴N ; fission induite de l'²³⁵U.</p> <p>Tableaux : modèles atomiques (sphères) et moléculaires (compacts) de H, C, N, H₂, Br₂, CO... ; symbole, charge élect. et masse des constituants d'atome ; couches K, L... et les nombres quantiques principaux n=1, 2... avec le nb d'e⁻ maximal par couche ; forme actuelle du tableau périodique ; configuration él. des halogènes ; extrait du tb pér. avec la configuration él. (e⁻ appariés/célibataires) pour chaque élément ; sens d'augmentation des e⁻ de valence et célibataires dans le tb pér. ; les principaux ions monoatomiques de métaux et de non-métaux ; les principaux ions</p>	<p>dérivent de la géométrie de CH₄ ; géométrie spécifique des molécules de CH₂O et C₂H₄ en raison de la liaison multiple ; mod. quantique du CH₄, assisté par ordinateur, avec la répartition des électrons liants et non liants ; mod. moléculaire de mélange de deux gaz ; mod. moléculaires de diffusion d'un gaz, de dissolution de deux liquides et d'évaporation d'un liquide ; figures allotropiques du carbone (cristaux de graphite et de diamant) ; cristal de NaCl et sa dissolution dans l'eau ; mod. moléculaires d'ionisation complète (HCl) et incomplète (NH₃) dans l'eau ; mod. d'ions d'oxonium ; mod. compacts pour expliquer que le HClO est un acide plus puissant que le HIO ; mod. moléculaires (éclaté et compact) de l'auto-ionisation de l'eau ; mod. moléculaires de l'ionisation des acides et des bases ; dans le dihydrogène s'établit une liaison σ ; recouvrements s-s, s-p et p-p (axial)</p>	<p>nos jours ; symboles de Dalton des éléments et de certains composés (mais, considérés d'après lui comme étant des éléments, cf. l'ammoniac) ; symboles et appellations grecque et anglaise des principaux éléments ; composés ch. (HCl, CO₂...) ; maquettes, éléments contenus et nb d'atomes formant la molécule ; formules moléculaires d'éléments (Cl₂, P₄, O₃...) ; règles d'écriture des équations ch. ; réactifs et produits, modélisation corpusculaire et équation pour certaines réactions ch. ; consistance de l'atmosphère (abondance d'ingrédients en % v/v).</p> <p>Photos/Portraits : buste de Démocrite sur un timbre grec ; Dalton dans son laboratoire ; atomes de Si vus au microscope électronique (agrandis</p>	<p>de NaCl ; liaison covalente entre deux atomes d'H et bilan énergétique ; liaison covalente polaire ; formules de Lewis quant à la formation de H₂, HCl, NH₃... ; mod. éclatés de composés moléculaires, tels H₂O, NH₃, CO₂... ; configuration élect., suivant le mod. de Bohr, dans la molécule de NH₃ ; cristaux de graphite et de diamant (éléments cristallographiques) ; maquette de la molécule de base de l'aspirine ; mod. moléculaires des réactions ch. P₄+Cl₂, CH₄+O₂, NO+Cl₂ ; mod. moléculaire de la réaction ch. NO+Cl₂ au cas des collisions efficaces ou non efficaces ; mod. corpusculaire illustrant la pression d'un gaz ; décompositions nucléaires de ²³⁹Pu et ¹⁴C ; fission induite de ²³⁵U.</p> <p>Tableaux : atomicité de quelques éléments ; masse et charge des corpuscules subatomiques ; plafond d'énergie (en eV et en J/mol) et état stable pour la molécule, l'atome, le noyau et les quarks ; répartition des e⁻ en couches des éléments de Z=1 à Z=20 ; tableau périodique contemporain ; les e⁻ de valence de certains éléments dans le tb pér. ; certains ions mono- et</p>
--	--	---	--	---	--

	<p>métalliques ; cristaux de Zn et de Cu ; les e^- libres entre les cations dans un métal ; les molécules d'eau s'associent aux cations de Cu^{2+} et de Ag^+ ; nombre de maquettes et de formules (développées, topologiques, d'isomérisation, etc.) des molécules organiques (hydrocarbures, alcools, amines, phénolphtaléine, galactose...); mod. quantiques modernes des liaisons σ et π dans le benzène et dans la liaison $>C=C<$.</p> <p>Tableaux : valeurs possibles des triades quantiques (n, l, m_l) suivies du nombre des orbitales possible ; couches K, L..., sous-couches s, p, d... et orbitales correspondantes avec le nombre des e^- possible ; nombre d'orbitales et d'électrons par sous-couche ; les orbitales occupées par période du tb périodique des éléments ; structure</p>	<p>polyatomiques dont NH_4^+, NO_2^-, PO_4^{3-}, CO_3^{2-}... ; étapes d'écriture d'une équation-bilan - afin de respecter la conservation des atomes - à partir de l'exemple H_2+O_2 ; masses atomiques relatives A_r des principaux métaux ; masses en gr d'une mole d'atomes de ^{16}O et d'une mole de dihydrogène ; extrait du tb pér. précisant les éléments radioactifs.</p> <p>Photos/Portraits : Marie Curie, double prix Nobel (Physique et Chimie) ; instruments de mesure de la radioactivité ; patients atteints de radioactivité ; divers types de compteurs Geiger-Müller ; brûlure radioactive sur la peau d'un patient ; mesures de protection d'un patient atteint de radioactivité ; radiodation du suaire de Turin ; diagnostic médical : répartition du radioactif ^{99}Tc dans les os ; conservation des aliments par la radioactivité ; centrale nucléaire.</p> <p>Diagrammes : sens d'augmentation du rayon atomique dans le tb pér. ; loi exponentielle de décroissance radioactive.</p>	<p>produisant des liaisons σ ; le recouvrement p-p (latéral) produit des liaisons π ; configuration électronique des atomes formant les molécules de HF et de N_2 ; modélisation de la liaison σ dans la molécule de HF ; modélisation de la liaison σ et des liaisons π dans le N_2 ; configuration électronique des atomes formant la molécule de BeF_2 ; 9 modèles de formation d'orbitales hybrides sp, sp^2 et sp^3, expliquant les liaisons dans les molécules de BeF_2, de CH_4, C_2H_6... ; quelques énantiomères organiques ; configuration R/S d'énantiomères ; orbitales moléculaires dans le benzène ; la structure du benzène proposée par Kekulé et la contemporaine avec le nuage él. délocalisé ; maquettes compacte et éclatée des polymères ; formules de Lewis pour l'explication des mécanismes régissant les réactions organiques.</p> <p>Tableaux : correspondance entre :</p>	<p>$\times 7 \cdot 10^8$) donnant l'image de petites boules ; Marie et Pierre Curie dans leur laboratoire ; Empédocle et ses quatre éléments du monde.</p> <p>Analogies : partageant une goutte d'eau entre les habitants de la Terre, à chacun correspondent $300 \cdot 10^9$ molécules d'eau ; atome unique incolore, éléments et composés colorés suite d'interactions comme individu \leftrightarrow société ; l'atome simulé par un stade, le noyau étant un petit ballon au centre.</p> <p>Schémas : éléments \leftrightarrow composés ; classification de la matière ; théorie atomique-molécules-composés-éléments-atomes ; schéma arborescent : division de la matière jusqu'aux p^+, n^0, e^- ; interprétation d'Aristote à propos des propriétés de la matière basées sur la combinaison des quatre éléments ;</p>	<p>polyatomiques ; nombres d'oxydation pour les principaux métaux et non métaux ; temps de demi-vie de certains isotopes ; effets de la radioactivité sur la santé en fonction de la dose, en rem.</p> <p>Photos/Portraits : atomes de Ge (dont les couleurs sont artificiels) vus au microscope à effet tunnel STM ; buste de Démocrite et l'atome planétaire sur les deux faces d'une pièce de drachme ; Dalton, le fondateur de la th. atomique ; bustes sur deux timbres poste de Rutherford (découverte du noyau) et de Bohr (notion de couche) ; Sommerfeld (notion de sous-couche) ; Schrödinger (th. quantique moderne) ; le prix Nobel 1965 R. Feynman ; P. Atkins (PU, Univ. d'Oxford) ; les prix Nobel de Chimie W. Kohn et J.A. Pope ; bustes, sur deux timbres, de Démocrite et du prix Nobel 1922 N. Bohr (« Atom Teori »), avec son commentaire de l'évolution de la physique au 20^e sc. ; le chimiste britannique Newlands, avec les reproches à propos de ses travaux ; le chimiste allemand Meyer qui a découvert le rapport entre le volume at. et la masse at. relative ; Mendeleiev : photo et buste sur un timbre poste ; S.</p>
--	---	---	--	--	--

		<p>électronique des éléments de transition ; num. Z, nombre d'e⁻, rayon at. et charge nucléaire effective par élément de la 3^e période du tb pér. ; num. Z, nombre d'e⁻ internes, nombre quantique n, rayon at. et charge nucléaire effective pour les éléments du 2^e group du tb pér. ; formes éclatées de molécules (linéaire, tétraèdre, pyramidale, etc.) ; distance en 10⁻¹⁰m des liaisons C-C, C=C, C≡C, etc.</p> <p>Photos/Portraits : 2 timbres dédiés à N. Bohr et à E. Schrödinger ; photo de G.N. Lewis avec commentaire sur ses idées de liaison covalente ; réacteur nucléaire.</p> <p>Diagrammes : probabilité de présence de l'e⁻ dans les orbitales 1s et p, en fonction de la distance du noyau ; rayon at. en fonction du numéro atomique ; énergie d'ionisation en fonction</p>	<p>Analogies : l'atome comme un stade ; quantification de l'énergie illustrée par les marches de l'escalier ; pesage de N_A atomes de ¹²C, de ¹⁶O et de ²³Na comme étant des cerises sur la balance commerciale ; le volume d'un atome (très petite boule) multiplié par N_A constitue 1 mole d'atomes (un ballon).</p> <p>Schémas : pouvoir de pénétration de la radioactivité ; diverses sources de radioactivité naturelle ou technologiques auxquelles est exposé l'homme.</p> <p>Encadrés : « Atome ou molécule ? » ; définitions modernes des concepts d'atome, de molécule et d'élément ; « Le premier modèle de la structure de l'atome : modèle atomique de Rutherford » ; conceptions contemporaines de la structure de l'atome ; « Les radiations les plus dangereuses » ; « Conséquences positives et négatives de l'usage de l'énergie nucléaire ».</p>	<p>couches K, L... et nb quantique principal n=1, 2... ; correspondance entre : sous-couches ou orbitales s, p, d, f et nb quantique azimutal l=0, 1, 2... ; correspondance entre : orbitales at. p_x, p_y, p_z et nb quantique magnétique m_l=+1, 0, -1 ; nombre maximal d'e⁻ par couche et sous-couche et quadruplets (n, l, m_l, m_s) ; répartition d'e⁻ en sous-couches : 1s², 2s²p⁶, etc. ; règle mnémotechnique de Klechkowski ; corrélation entre la configuration él. et la position des éléments dans le tb pér. ; configuration él. d'éléments de transition ; formules de Lewis pour les atomes des groupes principaux du tb pér. ; doublets d'e⁻ liants et non liants et géométrie de molécules selon la théorie VSEPR.</p> <p>Photos/Portraits : vagues d'électrons des atomes de Fe sur un support de Cu, vues sous microscope à effet tunnel ; spectre atomique de l'atome d'hydrogène ; N. Bohr, M. Planck, L. de Broglie,</p>	<p>langage de la chimie.</p> <p>Accroches : les éléments primordiaux dans la Genèse (extrait) et chez les Égyptiens, Babyloniens, Homère, Thalès ; étymologie de l'« atome » ; la charge électrique de l'électron est la moindre possible dans la nature ; « Ce monde, le petit, le grand ! », extrait du poète grec Od. Elytis.</p>	<p>Arrhenius dans son laboratoire ; buste de A. Lavoisier sur un timbre (« 200^e anniversaire de l'analyse de l'eau, réalisée par Lavoisier ») et citation de la loi de conservation de la masse au cours des réactions ch. ; buste d'Avogadro sur un timbre italien ; portrait d'Avogadro légendé par des informations biographiques ; caricatures de Dalton et Avogadro méditant sur les atomes et les molécules ; la ville d'Hiroshima, après l'explosion nucléaire ; champignon nucléaire ; bombe atomique ; photos de Rutherford et Soddy avec un dialogue sur la transmutation du Ra (source : Scientific American, 1966) ; le prix Nobel en 1903 H. Becquerel ; le double prix Nobel de Chimie M. Curie ; Pierre, Marie et la petite Irène Curie ; compteur Geiger-Muller ; radiodation des manuscrits de la mer Morte et de l'homme d'Yunxian ; imagerie médicale grâce aux radioisotopes.</p> <p>Diagrammes : abondance des éléments (en camembert) dans la croûte terrestre et dans le corps humain ; sens d'augmentation du rayon atomique dans le tb périodique ; loi exponentielle de décroissance radioactive.</p>
--	--	--	--	---	---	---

		<p>du num. Z ; histogramme de l'électronégativité des éléments du tb pér. Analogies : les niveaux d'énergie électronique depuis les couches internes vers les externes comme un escalier depuis le fond d'un puits ; ondes stationnaires dans la guitare et lobes des orbitales p. Schémas : règle mnémotechnique de Klechkowski ; les domaines s, p, d et f dans le tb périodique ; sens d'augmentation du rayon at. dans le tb périodique ; e^- libre, $E=0$ et e^- de l'atome, $E<0$; sens d'augmentation de l'énergie d'ionisation dans le tb pér. ; secteurs du tb pér. à fort(e)/faible énergie d'ionisation, rayon at. et affinité électronique. Accroches : signification du latin « Quantum » ; extrait des écrits de De Broglie ; description de la couche externe d'un atome ; taille d'ions et</p>		<p>W. Heisenberg, E. Schrödinger, W. Pauli, G. Lewis, S. Hawking ; vagues d'électrons d'un échantillon d'atomes de Cu. Diagrammes : correspondances entre les lignes du spectre d'H et les transitions entre les niveaux d'énergie ; densité du nuage él. en fonction de la distance du noyau ; nb maximal d'e^- par couche et sous- couche et niveaux d'énergie des sous- couches dans les atomes pluri-électroniques ; sens d'augmentation du rayon at. dans le tb périodique ; périodicité du rayon at. en fonction du numéro Z ; sens d'augmentation de l'énergie d'ionisation dans le tb pér. ; périodicité de l'énergie d'ionisation suivant la périodicité dans la configuration élect. ; l'énergie du système H-H en fonction de la distance des noyaux. Analogies : quantification de l'énergie de l'e^- illustrée par un escalier à marches inégales ; coexistence corpuscule-</p>		<p>Analogies : si lecteur = noyau, les e^- sont éparpillés à 61Km ; électrons de valence = e^- puissants ; le nombre d'Avogadro N_A est énorme. Schémas : division de la matière jusqu'aux éléments ; échelle de dimensions du micromonde (de l'ADN aux quarks... ?) ; unités structurales des éléments (les atomes) et des composés (les molécules) ; pouvoir de pénétration du rayonnement nucléaire (α, β, γ) ; principe du compteur Geiger-Muller. Encadrés : rubriques « Est-ce que tu connais que... » : 1) « La matière, continue ou discontinue ? » ; 2) « Les hommes qui ont marqué la Chimie » ; 3) « L'origine du terme de mole » ; 4) « Le problème des dégâts nucléaires » ; On a dit de l'atome ; la chronique du bombardement d'Hiroshima avec un témoignage. Accroches : atome et grain de sable ; l'angström (Å), une mesure adéquate du rayon atomique, de la longueur de la liaison ch., etc. ; une molécule de sucre pèse $5,7 \cdot 10^{-22}$ gr ; recours aux modèles corpusculaires avec des atomes sphériques et (artificiellement) colorés ; l'atome est</p>
--	--	---	--	--	--	---

		<p>solubilité des composés ioniques.</p> <p>Encadrés : « Surfaces nodales » décrivant la duité corpuscule-onde pour l'électron ; « Une analogie du nuage électronique » ; « Lecture optionnelle » sur les réseaux de Bravais dans les métaux ; « L'évolution de la chimie organique » relatant l'architecture moléculaire dont la molécule C60, mais sans mentionner la nanotechnologie.</p>		<p>onde comparée aux illusions d'optique ; densité électronique du nuage « détectée », via un stéthoscope, dans un volume ΔV autour du noyau ; forme d'orbitales p illustrée par des haltères en main ; au cours des réactions ch. les molécules, atomes et ions se mélangent - comme le mélange des cartes - et, donc, l'entropie augmente ; modèles moléculaires de fusion, de vaporisation et de dissolution qui procurent l'augmentation de l'entropie.</p> <p>Schéma : domaines s, p, d, f du tb périodique.</p> <p>Figures : description du microscope à effet tunnel ; dispositif de production de spectres par diverses sources, dont du gaz d'H.</p> <p>Encadrés : « On a dit de l'orbitale atomique », extraits d'ouvrages de chimie ; « Est-ce que tu connais que... » intitulés « microscope à effet tunnel STM » et « Einstein et le principe d'incertitude ».</p> <p>Accroches : la couche ou</p>		<p>infinitésimal ; étymologie du terme « atome » ; masse d'atome = $m_p + m_n$; l'espace occupé par les électrons définit les dimensions d'atome ; les interactions entre les e^- déterminent le comportement chimique des atomes ; nucléons s'appellent les protons et neutrons ; le plasma est constitué par des électrons, ions, atomes et molécules ; commentaire autour de l'architecture moléculaire, par C.A. Coulson ; bilan énergétique lors de la formation de la liaison ionique dans le NaCl ; caractéristiques principales de la th. atomique de Dalton ; définition de la liaison ch. ; électrons de valences, les e^- « forts » pour la formation des liaisons ; règle de l'octet ; électropositivité / électronégativité ; liaison mi-polaire ; entre les atomes des non métaux s'établissent des liaisons covalentes ; les ions, porteurs de courant dans les électrolytes ; la th. atomique de Dalton constitue la base des calculs stœchiométriques ; masse atomique relative A_r, $A_r = m_{\text{atome}} / (1/12) m_{\text{at}}^{12}\text{C}$; diverses définitions d'un amu depuis le 19^e sc. ; masse moléculaire relative $M_r = m_{\text{molécule}} / (1/12) m_{\text{at}}^{12}\text{C}$;</p>
--	--	---	--	--	--	---

			<p>croûte comprend toutes les orbitales du même n ; le nb quantique n est lié à l'attraction noyau-e⁻ ; le nb quantique secondaire l est lié à la répulsion entre les e⁻ ; la sous-couche désigne l'ensemble des orbitales avec les mêmes n, l ; une orbitale est déterminée par la triade n, l, m_l ; notation des orbitales par les initiales des «sharp», «principal», «diffuse», «fundamental» ; principe de l'énergie minimale et sous-couche d'énergie la plus faible ; principe de construction él. ; le tb périodique est basé sur la périodicité dans la construction él. ; l'électronégativité caractérise l'atome dans une molécule, alors que l'affinité élect. et l'énergie d'ionisation se réfèrent à l'atome libre ; théorie électronique de la valence, de Kossel et Lewis ; la règle de l'octet n'est pas respectée dans certains composés ; plan de symétrie et effet d'isomérie ; description quantique de la structure du benzène.</p>	<p>spectromètre de masse pour l'étude des isotopes ; le terme générique « mol » a remplacé ceux d'« at-gr » et « ion-gr » ; Avogadro éprouve, à partir de son hypothèse, la différence entre atomes et molécules ; phénomène de fluorescence ; âge de la Terre à partir de l'isotope ²³⁶U ; rayonnement ionisant ; le curie comme unité de radioactivité ; radiodatation à partir du ¹⁴C, ²³⁸U, ²³²Th.</p>
--	--	--	--	--

8	Niche écologique	<p>Affinité électronique ; Formules électroniques de Lewis ; La théorie VSEPR - Valence Shell Electron Pair Repulsion ; Orbitales moléculaires ; Énergie interne U ; Réaction H_2+O_2 ; Applications de la 2^e loi de la thermodynamique dans le quotidien ; Dissociation et ionisation ; Demi-réactions d'oxydoréduction ; Chimie organique.</p>	<p>Types de liaisons chimiques : Liaison ionique, liaison covalente, Liaison covalente dative (coordinative), formules de Lewis ; Le langage de la chimie ; Nombre d'oxydation ; Écriture de formules chimiques et introduction à la nomenclature des composés ; Formules chimiques : Les principaux ions mono- et poly-atomiques ; Acides -Bases - Oxydes - Sels ; Équations chimiques ; Stœchiométrie ; Masse atomique relative, mole, nombre d'Avogadro ; Masse atomique relative A_r ; La mole ; Chimie nucléaire - Radioactivité ; Décomposition radioactive - Sources de radioactivité ; Stabilité du noyau atomique ; Radioactivité - Sortes et propriétés des rayonnements ; Unités de mesure de radioactivité ; Fission induite, réactions nucléaires.</p>	<p>Énergie interne d'un gaz ; 2^e loi de la thermodynamique et réactions chimiques ; Détente des gaz parfaits ; Mélange de gaz/liquides, évaporation de liquide, états de la matière ; Application des lois thermodynamiques pour expliquer de divers effets quotidiens ; Structure cristalline du graphite et du diamant ; Acides, Bases et équilibre ionique ; Solutions aqueuses ; Électrochimie. Cellule galvanique ; Chimie organique ; Théorie de la liaison de valence (liaisons σ et π ; Exemples de formation de molécules ; Hybridation des orbitales atomiques ; Liaisons multiples ; Stéréoisométrie ; Catégories et mécanismes de réactions chimiques ; Fission et substitution homo- et hétérolytique.</p>	<p>Décomposition de l'eau ; - Composés chimiques et éléments chimiques ; Réaction chimique ; Équation chimique : modes de représentation d'une réaction chimique ; écriture d'une équation chimique ; Composition de l'air atmosphérique (N_2, O_2, etc.) ; L'élément chimique de l'oxygène ; Oxydation et combustion ; Dioxyde de carbone (photosynthèse ; effet de serre) ; Pollution de l'atmosphère (oxydes polluants SO_2, CO, NO, etc.) ; Le sol et le sous-sol : principaux minerais du territoire grec : Al_2O_3, FeS_2, U_3O_8, Au, etc.</p>	<p>États de la matière - Propriétés de la matière - Phénomènes physiques et chimiques ; Classification de la matière ; Tableau périodique et son utilité ; Les familles des éléments, les périodes et leurs traits communs ; Exégèse de la conductivité électrique dans les solutions ioniques ; Langage de la chimie - Nombre d'oxydation - Écriture de formules chimiques et introduction à la nomenclature ; Réactions chimiques : notation des réactions ch. ; certaines sortes de réactions ch. ; caractéristiques des réactions ch. et théorie des collisions efficaces ; Stœchiométrie : introduction, fécondité de la th. atomique de Dalton pour les calculs ; Concepts de base pour les calculs chimiques : masse atomique, masse molaire, mol, nombre d'Avogadro, volume molaire ; Équation d'état des gaz parfaits ; Modélisation corpusculaire de la pression ; Calculs stœchiométriques ; Chimie nucléaire ; Décomposition radioactive ; Radioactivité ; Temps de demi-vie ; Sources de radioactivité ; Retombées sur l'homme ; Radiodation et autres applications (médecine, technologie) ; Transmutation,</p>
---	------------------	--	--	---	---	---

						fission et fusion.
--	--	--	--	--	--	--------------------

Tableau 3Aa : Analyse didactique des manuels de physique-chimie français

Indicateurs génériques		Manuels de physique, chimie, physique-chimie français (1945-1970)				
1	Code	F01c2C	F02pc4	F03cTS	F04pc1AB	F05pc3
2	Informations générales : - titre - auteur - édition	- Chimie - P. Lafay - Librairie Armand Colin, 1949	- Physique et chimie : cours complémentaires et collèges modernes - R. Echard & Charles-Lavauzelle C ^{ie} , 1953	- Chimie - R. Faucher - Librairie A. Hatier, 1955	- Sciences physiques - M. Delgée de - Édition Gigord, 1966	- Physique et chimie - A. Rougeaux - Dunod 1966
3	Position et contenu des sections concernées	Ch. IV « Hypothèses et lois fondamentales de la chimie. Notation chimique » §30.2 « Hypothèse atomique ». En amont : « Éléments », « Hypothèse moléculaire ». En aval : « Conservation des éléments et du poids de la matière. Principe de Lavoisier ».	Partie « Chimie », Ch. « Constitution de la matière ». En amont : « L'eau ». En aval : « Notation chimique ». § « Théorie atomique ».	Ch. III « Notions sur la structure des atomes » §14 « Les particules fondamentales » (électron, proton, neutron) ; §15 « Différentes parties de l'atome » (noyau central, nuage électronique) ; §16 « Dimensions des atomes » ; §17 « L'atome et les réactions chimiques » (rôle de la couche électronique externe, classification	Ch. I « L'énergie », sous-ch. « Électrisation - Constitution de la matière » §4 « Structure de l'atome » ; §5 « Ionisation - Cations et anions ».	Partie IV « Chimie » Ch. 40 « Atomes et molécules - Symboles et formules chimiques » §I « les atomes ». Ch. 41 « Masse atomique et masse moléculaire » §I

				périodique) ; §18 « Modifications des atomes par des phénomènes physiques » (ionisation, spectres, transmutations).		« Masse des atomes » ; §II « Atome-gramme ». Ch. 42 « La réaction chimique » §II « Deux lois fondamentales en chimie » sous-§a « Conservation des atomes ».
4	Part occupée nb d'images / nb de pages	$2 / 3 = 0,67$	$4 / 4 = 1,00$	$33 / 15 = 2,20$	$6 / 8 = 0,75$	$15 / 9 = 1,67$
5	Typologie iconique	2 modèles	4 modèles	22 modèles ; 3 tableaux ; 5 photos ; 1 figure ; 2 encadrés	6 modèles	13 modèles ; 1 tableau ; 1 figure
	Indicateurs spécifiques	Manuels de physique, chimie, physique-chimie français (1945-1970)				
6	Paradigme épistémologique	Mod. de Dalton (implicite) : « L'atome est la plus petite quantité d'un élément » ; Mod de structure interne : noyau et particules électrisées, les « négatons » ; Désintégration d'atome.	Mod. de Dalton (implicite) : « Toute matière est formée d'une association de particules appelées atomes [...] les atomes sont indestructibles au cours des transformations chimiques ».	Mod. de Rutherford ; Mod. de Bohr ; Par le terme « nuage électronique », au sens classique, l'auteur entend le dépassement d'un « atome-système solaire » et la répartition des Z électrons en niveaux d'énergie ou couches.	Au préambule : la th. atomique « ne fait plus, de nos jours aucun doute. » ; Discontinuité de la matière ; Mod. planétaire (noyau - électrons ou négatons) ; Mod. de Bohr (implicite) : les	Mod. de Dalton (implicite) : « [...] toutes les substances [...] sont finalement composées de particules extrêmement petites appelées atomes. »

					<p>négatons sont « répartis sur certaines trajectoires » ; Th. de L. de Broglie d'« onde associée [qui] guide la particule ».</p>	
7	Schématisation privilégiée	<p>Modèles : mod. corpusculaires représentant les atomes en sphères blanches, le symbole des éléments étant marqué dedans (H_2, O_2 avec un double arrêt pour la liaison, H_2O comme linéaire) ; modèle de la réaction H_2+O_2 illustrant le réarrangement des atomes.</p>	<p>Modèles : mod. corpusculaires en sphères, blanches et grises (de molécules de O_2, de H_2 et de N_2 ; de la molécule de l'eau avec marquage de l'angle de 106°) ; modèles de cristaux de graphite et de sel marin.</p>	<p>Modèles : mod. de Bohr avec des p^+, n^0 & e^- et remarque sur la règle de l'octet ; configuration de l'atome de Cl les e^- étant placés symétriquement ; mod. corpusculaires compacts des Cl_2, H_2O, P_4, NH_3, et éclaté de l'ion $Cr_2O_7^-$; mod. des cristaux de NaCl, de diamant et graphite, du Fe ; mod. en grappe du polythène ; molécule de phtalocyanine et répartition topographique des e^- ; modèles de liaisons électrovalente, covalente, semi-polaire, pont-hydrogène ; molécule de CCl_4.</p> <p>Tableaux : propriétés des composants d'atome ; configuration électronique des premiers éléments du tb pér. ; liste des éléments avec leur masse atomique.</p> <p>Photos/Portraits : spectres de Na, K et Rb ; portraits de Rutherford et de Bohr ; couches moléculaires dans une lame d'eau de savon ;</p>	<p>Modèles : mod. atomiques de Bohr pour H, Na, Cl les e^- étant placés ; mod. de He et des 3 isotopes de l'H avec les p^+ et les n^0 comme boules noires et blanches respectivement ; modèles moléculaires compacts (O_2, H_2O, N_2 et O_2 en tant que composants de l'air ; mélange de H_2 et de O_2).</p>	<p>Modèles : mod. corpusculaires compacts en sphères de 2 couleurs et de signes différents en fonction des atomes (H_2O avec l'angle de 105°, O_2, H_2, CO_2) ; formules de l'eau et de l'H_2 avec des arrêts pour les liaisons ch. ; modèles corpusculaires d'équations ch. (H_2+O_2, $C+O_2$, etc.) ; mod. des cristaux de diamant et de graphite.</p> <p>Tableau : valeurs relatives des masses des atomes pour certains éléments.</p> <p>Figure : atomes</p>

				<p>modèle corpusculaire éclaté du méthane ; photo des atomes dans le FeS₂.</p> <p>Figure : mouvement brownien.</p> <p>Encadrés : « La classification périodique des éléments » ; « Un siècle de l'histoire des atomes ».</p>		de cuivre dans un cristal de ce métal.
8	Niche écologique	<p>§28 « Éléments » ; §29 « Réaction chimique » ; §30 « Hypothèse moléculaire » ; §33 « Symbole d'un élément. Poids atomique » ; §34.1 « Formule d'un composé. Poids moléculaire » ; §34.2 « Formule et poids moléculaire d'un élément » ; §35 « Atome-gramme. Molécule-gramme » ; §36.2 « Volume atomique » ; §37 « Équation de réaction » ; Ch. XIII « Soufre », illustration du cristal octaédrique du S. Ch. XVIII « Carbone », illust. du cristal du diamant (face et profil).</p>	<p>Ch. « Notation chimique », §1 « Présentation des éléments » (Symboles ; Atome-gramme ; Tableau des masses at. des principaux éléments ; §2 « Présentation des associations d'éléments » (Formules ; Molécule-gramme d'un corps à l'état gazeux ; Volume moléculaire - Densité d'un gaz ; Corps à l'état liquide et solide) ; §3 « Équations de réactions ». Ch. « Carbone », avec illustration des cristaux</p>	<p>Ch. II « Le corps pur » §13 « L'élément chimique » (Notion expérimentale d'élément ; Un élément chimique est caractérisé par des propriétés spectrales ; Nombre des éléments) ; Ch. III « Notions sur la structure des atomes » dans §17 « Nouvelle définition de l'élément ». Ch. IV « Les édifices atomiques » : A. Les molécules (§19 « Leur existence : de l'hypothèse à la certitude » ; §20 « Architecture des molécules » ; §21 « Mouvements moléculaires ») ; B. « Les</p>	<p>Ch. I, sous-ch. « Nature du courant électrique » section « La conduction électrolytique » §4 « Nature du courant dans un électrolyte » et section « Électrolyse (étude qualitative) ». Ch. III « Corpuscules » section « Effet photoélectrique » §6 « Ondes et</p>	<p>Partie I « Mesures géométriques » Ch. 1 « Les grandeurs physiques et leur mesure, unités fondamentales » § « Définition actuelle du mètre » (à partir de la radiation de l'atome du ⁸⁶Kr. Remarque : au §VI est noté que la seconde représente la</p>

			<p>du diamant et du graphite. Ch. « Soufre » avec illust. du cristal de S. Ch. « Valence » avec illustrations de liaisons (HCl, H₂O, NH₃, CH₄, ZnCl₂) par des crocs ou crochets.</p>	<p>ions » (§22 « Existence » ; §23 « Caractères et structure » ; §24 « Mouvements ») ; C. « Édifices non limités » ; « Lois des combinaisons - Nombre d'Avogadro » §31 « Échelle atomique et échelle humaine » ; §32 « Atome-gramme. Molécule-gramme. Ion-gramme » ; §49 « Macromolécules et édifices atomiques non limités ». Ch. VI « Représentation des structures » (Valences ; Idées sommaires sur les liaisons interatomiques, dont accord entre les définitions anciennes et les conceptions modernes). Partie de la Chimie organique : « Structure et stabilité de la molécule du méthane ».</p>	<p>corpuscules » et section « Noyau atomique - Radioactivité » §1 « Structure des noyaux » ; §2 « Isotopes » ; §3 « Masse atomique d'un élément ». Ch. IV « Chimie » section « Les molécules » §1 « Retour sur la constitution atomique de la matière » ; §2 « Notion de molécule » ; §3 « Corps simples et corps composés » ; §4 « Distinction entre corps pur et mélange » ; §6 « Compléments sur la notion de molécule ». Section « La structure des molécules » §7 « Définition de la valence » ; §8 « Formules développées »</p>	<p>86.400^c partie du jour). Partie IV « Chimie » Ch. 40 §II « Corps simples - Corps composés » avec référence à 92 sortes d'atomes différents ; §III « Les molécules » ; §IV « Représentation schématique des molécules » §V « Symboles chimiques » ; §VI « Formules moléculaires ». Ch. 41 « Masse atomique et masse moléculaire » §III « Masse d'une molécule réelle » ; §IV « Formule et masse molaire ». Ch. 42 « La réaction chimique » §I « Comment expliquer ces réactions » ; §II « Deux lois</p>
--	--	--	--	--	---	--

						fondamentales en chimie » sous-§b « Conservation de la masse » ; §III « Écriture symbolique des réactions chimiques ». Ch. 45 « Le carbone » (diamant, graphite).
--	--	--	--	--	--	---

Tableau 3Ab : Analyse didactique des manuels de physique-chimie français

	Indicateurs génériques	Manuels de physique, chimie, physique-chimie français (1945-1970)	
1	Code	F06pc3	F07pc4
2	Informations générales : - titre - auteur - édition	- Physique - Chimie - G. Ève - Les éditions de l'école, 1967, Programme de 1960	- Physique - Chimie - A. Payan, P. Chilotti, M. Finot - Librairie Armand Colin, 1960
3	Position et contenu des sections concernées	1 ^{re} partie « Physique », thème « Électricité » Ch. VIII « Constitution de la matière. Nature du courant électrique ». En amont « « Propriétés générales du courant électrique ». En aval « Étude quantitative de l'électrolyse. Lois de Faraday ». Section « Structure discontinue de la matière » §61 « Atomes. Corps simples et corps composés. Notion d'élément » ; §62 « Constitution des atomes » ; §64 « Liaisons entre atomes : les ions ». 2 ^e partie « Chimie », thème « Les composés du carbone »	2 ^e partie « Chimie » Ch. 13 « Molécules et atomes ». En amont : Ch. 12 « Phénomène physique et phénomène chimique ». En aval : Ch. 14 « Notation chimique » et Ch. 15 « Les équations chimiques ». §A « La matière n'est pas divisible à l'infini : la molécule » ; §B « L'édifice moléculaire : les atomes » (Cas des corps composés ; Cas des corps simples ; Les atomes

		Ch. XXXIV « Notion de Valence ». §290 « Définition » ; §291 « Électrons de valence. Stabilité des atomes de gaz rares » ; §295 « Covalence » ; §296 « Exemples » ; §297 « Caractères de la covalence » ; §298 « Remarque ».	sont les matériaux fondamentaux de la chimie) ; §C « Caractères essentiels des atomes » (Les atomes sont chimiquement indestructibles ; Ils ont tendance à se grouper pour donner des molécules). Ch. 14 « Notation chimique. Équations chimiques » §A « Représentation symbolique des atomes et des molécules » (Symboles ; Formules) ; §B « Atomes grammes et molécules grammes ».
4	Part occupée nb d'images / nb de pages	9 / 10 = 0,90	8 / 9 = 0,89
5	Typologie iconique	8 modèles ; 1 tableau	7 modèles ; 1 tableau
	Indicateurs spécifiques	Manuels de physique, chimie, physique-chimie français (1945-1970)	
6	Paradigme épistémologique	Discontinuité de la matière ; Mod. planétaire (noyau et électrons gravitant autour « à la façon des planètes autour de Soleil [...] » ; L'électron est « à peu près de même grosseur que le noyau. »	Mod. de Dalton (implicite) : « Il faut donc admettre que la molécule d'eau est construite à partir de matériaux plus petits qu'elle : les atomes. [...] Les atomes sont chimiquement indestructibles*. » *« En réalité, les atomes ne sont pas indestructibles [...] Leur désintégration libère une énergie considérable : l'énergie atomique. »

7	Schématisme privilégié	<p>Modèles : mod. planétaire de l'atome d'hydrogène ; cristal de NaCl ; formules de Lewis des molécules d'H₂, Cl₂, H₂O, CH₄ ; mod. compact en noir-blanc de l'eau avec l'angle de 105° ; formule tétraédrique du CH₄.</p> <p>Tableau : extrait du tb périodique.</p>	<p>Modèles : mod. moléculaires compacts en noir & rouge (celui de l'eau avec l'angle de 105° ; ceux d'H₂ et d'O₂ ; ceux de HgO, de HCl, de Cl₂ et de Hg en vapeur ; modèles corpusculaires en noir & rouge de réactions (décomposition de l'eau ; H₂+Cl₂) ; modèles des cristaux de diamant et graphite.</p> <p>Tableau : corps simples, symboles de l'atome et masses de l'atome gramme.</p>
8	Niche écologique	<p>1^{re} partie « Physique », thème « Électricité » Ch. VIII « Constitution de la matière. Nature du courant électrique ». Section « Structure discontinue de la matière » §63 « Tableau périodique des éléments » ; §65 « Mécanisme du courant électrique » ; sous-§65.1 « Conducteurs métalliques » ; sous-§65.2 « Électrolytes ». 2^e partie « Chimie », thème « Les composés du carbone » Ch. XXXIV « Notion de Valence ». §292 « Électrovalence ou liaison ionique » ; §293 « Valence électrolytique des ions » ; §294 « Caractères de l'électrovalence ».</p>	<p>Ch. 13 « Molécules et atomes » §D « Réactions chimiques » ; §E « Loi de Lavoisier (conservation de la masse) ». Ch. 14 « Notation chimique. Équations chimiques » §C « Volume des moles des corps gazeux : loi d'Avogadro ». Ch. 15 « Les équations chimiques » §A « Écriture des réactions chimiques » ; §B « Signification quantitative des équations chimiques » §C « Règles fondamentales applicables aux équations chimiques » ; §D « Quelques réactions chimiques ». Ch. 18 « Le carbone. Le gaz carbonique »</p>

Tableau 3Ba : Analyse didactique des manuels de physique-chimie français

Indicateurs généraux		Manuels de physique, chimie, physique-chimie français (1971-1990)				
1	Code	F08pTD	F09pc2AAB	F10pc4	F11pc3	F12pc2
2	Informations générales : - titre - auteur - édition	- Physique - J. Cessac, G. Tréherne - Fernand Nathan 1974, Programme de 1966	- Sciences physiques - R. Baurant, P. Bramand, J. Chavesche, P. Faye, A. Jaubert, G. Thomassier - Classiques Hachette 1978	- Sciences physiques - Y. Michaud, Y. Le Moal - Magnard 1979	- Sciences physiques - A. Saison, P. Malléus, P. Huber, B. Seyfried - Nathan 1980	- Physique et chimie - R. Baurant, P. BraMand, Ph. Faye, A. Jaubert, G. Thomassier - Hachette 1987
3	Position et contenu des sections concernées	Ch. 26 « Masse et énergie. La relation d'Einstein ». En amont : « Les rayons X ». En aval : « La radioactivité ». section B « La stabilité des noyaux atomiques et l'énergie nucléaire » ; §6 « Le rappel de la constitution des noyaux atomiques » ; sous-§6a « Le proton et le neutron » ; sous-§6b « Le nombre de masse et le nombre de charge ».	Ch. 1 « Atomes et électrons » sous-ch. 2 « Atomes et molécules » §2.1 « Les atomes » ; §2.2 « Dimensions et masses des atomes » (Le modèle atomique ; Masse des atomes) ; §2.5 « Les modèles atomiques et moléculaires » ; §2.6 « Les cristaux atomiques » (Le diamant ; Le graphite ; Le polyéthylène). Sous-ch. 4 « Structure de l'atome » §4.1 « Les étapes de la connaissance sur la structure de l'atome » ; §4.2 « Le	Ch. 13 « La structure des métaux ». En amont : « Les propriétés des métaux ». En aval : « L'électricité statique ou électrostatique ». Sous-ch. A « La structure de la matière. Généralités » §IV « Structure discontinue de la matière » ; §V « Les particules qui constituent les corps ». Sous-ch. B « La structure de l'atome » §I « L'atome d'hydrogène » ; §II « Les autres atomes ». Sous-ch. C « La structure des métaux » §I « Un métal est un corps cristallisé » ; §II « Les électrons libres »	Ch. 2 « Atomes et molécules » §1 « Les atomes et leur représentation » ; §2 « Les molécules et leur représentation » (en particulier, §2.1 « La composition des molécules »)	Partie III « Chimie » Ch. 25 « Structure de l'atome » §25.1 « Les atomes » (existence des atomes ; les étapes de la connaissance de l'atome) ; §25.2 « L'atome d'hydrogène » (constitution ; mouvement de l'électron autour du noyau ; caractère lacunaire) ; §25.3 « Structure des autres atomes »

			modèle de Bohr de l'atome d'hydrogène » ; §4.3 « L'ion hydrogène » ; §4.4 « Structure des autres atomes » (Le noyau : ses constituants ; Les électrons de l'atome ; Répartition des électrons autour du noyau ; La notion de nuage électronique)			(les constituants du noyau : les nucléons ; nucléides ; les électrons ; masse des atomes ; conclusion) ; §25.5 « Notion d'élément chimique » §25.5.3 « Notation des atomes et des ions d'un élément ». Ch. 26 « Structure électronique des atomes. Classification périodique des éléments » §26.1 « Structure du cortège électronique » (couches élect. ; structure élect. ; formule élect. ; structure élect. des ions monoatomiques).
4	Part occupée nb d'images / nb de pages	16 / 2 = 8,00	21 / 15 = 1,40	19 / 6 = 3,17	25 / 5 = 5,00	39 / 21 = 1,86
5	Typologie iconique	1 modèle ; 2 tableaux ; 11 photos/portraits ; 1 figure ; 1 encadré	17 modèles ; 2 tableaux ; 1 analogie ; 1 encadré	16 modèles ; 1 tableau ; 1 schéma ; 1 encadré	23 modèles ; 1 analogie ; 1 figure	24 modèles ; 5 tableaux ; 7 photos/portraits ; 1 analogie ; 2 encadrés

	Indicateurs spécifiques	Manuels de physique, chimie, physique-chimie français (1971-1990)				
6	<p>Paradigme épistémologique</p>	<p>Mod. planétaire : « [...] si l'atome possède Z électrons planétaires [...] » ; Mod. de Bohr (implicite) : « Une réaction chimique [...] modifie la couche électronique externe des atomes [...] »</p>	<p>Hypothèse d'une théorie atomique de Dalton, validée en réalité atomique : « Toute substance est formée d'atomes, petites particules de matière, correspondant à l'élément chimique. » ; Modèle d'atome sphérique, commode pour étudier les associations d'atomes ; De l'atome insécable au mod. planétaire (Perrin, Rutherford) ; Mod. de Bohr (trajectoires permises circulaires ou elliptiques ; structure lacunaire) ; Mod. quantique : couches successives K, L... ou nombres quantiques 1,2... ; Principe de Pauli et règle de remplissage : nb maximal d'e^-, $2n^2$; Nuage électronique au sens probabiliste du terme : dans le mod. quantique moderne, la trajectoire n'a pas de sens, mais la couche liée à l'énergie conserve toute sa valeur.</p>	<p>Discontinuité de la matière chez les philosophes grecs et latins (Démocrite : atome, limite ultime de la matière ; Épicure : théorie des atomes crochus ; Lucrèce : combinaison des atomes) ; Hypothèse de Bernoulli : les gaz sont formés de particules sphériques ; Théorie atomique de Dalton (hypothèse que « la matière est constituée à partir de particules élastiques - ne contenant aucun vide - extrêmement petites qu'il appela atomes. ») ; Mod. de Thomson : sphère positivement chargée dans laquelle se déplacent les négatifs e^- ; Mod. planétaire de Rutherford et de Bohr : syst. solaire miniature trajectoire hélicoïde (orbites circulaires) de l'e^- sur une « sphère » autour du noyau ; Répartition en couches (e^- appariés et célibataires) ; Structure lacunaire de l'atome ; Mod. de Sommerfeld : orbites elliptiques ; Rotation des e^- sur eux-mêmes (Uhlenbeck et Goudsmit).</p>	<p>Mod. de Dalton (implicite) : « Les chimistes ont montré que toute matière est formée à partir d'atomes. » ; Structure interne de l'atome : noyau et électrons gravitant autour.</p>	<p>Admission de l'hypothèse atomiste de Dalton : « Toute substance, vivante ou inerte, est formée à partir de particules [insécables] très petites : les atomes. » ; L'atome émet des électrons ; Perrin, puis Rutherford proposent le mod. planétaire ; Mod. de Bohr (trajectoires bien déterminées) ; Mod. de mécanique quantique (L. de Broglie, Schrödinger, Heisenberg, Pauli) ; Nuage électronique (la trajectoire classique n'a plus de sens) sans limite précise ; Probabilité de présence de l'électron ;</p>

						<p>Caractère lacunaire de l'atome ;</p> <p><u>Remarque</u> : dans la discussion de la répartition des électrons en couches ou niveaux, le terme « nuage » acquiert une acception classique : c'est le cortège élect.</p> <p>Couches successives K, L... ou nb quantiques $n=1, 2, \dots$; Principe de Pauli (nb maximal d'e^-, $2n^2$) ; Règle de construction et anomalies de remplissage.</p>
--	--	--	--	--	--	---

7	Schématisation privilégiée	<p>Modèle : cristal de NaCl avec un plan réticulaire et indication de la distance entre les ions.</p> <p>Photos/Portraits : centrales nucléaires de Chinon, France ; compteur de rayonnement ; détection de radioactivité par un chercheur ; explosion d'une bombe atomique, le champignon ; photos de Bohr, de Broglie, M. Curie, F. Joliot-Curie, I. Joliot-Curie, Perrin, Rutherford.</p> <p>Figure : principe de fonctionnement d'un compteur de rayonnement.</p> <p>Tableaux : tb. périodique des éléments ; symboles et masses atomiques des 92 premiers éléments (1961).</p> <p>Encadré : Lecture : Libération d'énergie nucléaire par fission en chaîne de noyaux $^{235}_{92}\text{U}$.</p>	<p>Modèles : mod. compacts de molécules avec indication des dimensions ; mod. des cristaux de diamant & de graphite et du polyéthylène ; mod. atomique de tungstène avec mention au nuage élect. ; mod. de Bohr pour les atomes de N, Ne, Cl ; mod. des atomes de Mg et de S et des ions Mg^{+2} et S^{2-} ; cristal de NaCl compact et éclaté ; molécules d'H_2, de Cl_2, d'HCl, d'H_2O, de NH_3 et de CH_4 avec les couples d'électrons communs et les dimensions ; molécule d'ADN.</p> <p>Tableaux : rayons des atomes Mg, Cl et S et de leurs ions ; masses atomiques relatives de 101 éléments.</p> <p>Analogie : molécule diatomique illustré par 2 sphères aux bornes d'un ressort.</p> <p>Encadré : « Les semi-conducteurs ».</p>	<p>Modèles : cristal de Cu ; mod. compacté de l'eau avec des atomes colorés ; mod. coloré de Bohr de l'atome d'H en 3D & plan ; mod. de configuration électronique de divers atomes avec les e^- des couches internes en couples ; mod. colorés des cristaux de Cu, de Cr et de Zn ; modèle illustrant la transformation d'un atome en ion ; mod. des électrons libres expliquant la conductivité électrique dans les métaux ; aspect comparatif à propos des électrons libres dans les corps conducteurs et isolants.</p> <p>Tableau : grandeurs de l'atome d'H.</p> <p>Schéma : division continue d'un morceau de cuivre jusqu'aux atomes, en couleur.</p> <p>Encadré : Lecture. Les atomes. Historique ».</p>	<p>Modèles : empilement des atomes dans le fer ; mod. éclatés des molécules d'O_2 et d'H_2O avec distances des atomes et l'angle de 105° ; mod. de molécule diatomique générique avec la distance d entre les atomes et le rayon atomique R ; mod. colorés compacts et éclatés des H_2, O_2, CO_2, NH_3, SO_2, H_2O, CH_4, C_2H_6, C_3H_8, C_2H_4 et 2 butanes ; mod. corpusculaire illustrant les 3 états de la matière ; mod. colorés des cristaux de Fe et de NaCl ; modèles corpusculaires des réactions H_2+O_2, CO_2+O_2, dissociation de l'eau, $\text{C}+\text{O}_2$.</p> <p>Analogie : volume offert à une molécule d'un gaz qui assimilerait à</p>	<p>Modèles : « système planétaire » de l'atome ; nuage électronique de l'atome d'H ; notation d'un élément ; formule du méthane ; cristaux / mailles de diamant et de NaCl ; coordonnées géométrique de molécule diatomique générique ; nuage élect. au cours de la liaison H-H ; formules de Lewis ; mod. colorés compacts et éclatés pour HCl, NH_3, CH_4, etc. ; mod. éclaté de la molécule d'eau avec distance entre les atomes et l'angle de 105° ; mod. de stéréochimie.</p> <p>Tableaux : propriétés du p^+ & de l'e^- ; notation des couches du nombre quantique n ; formules élect. de remplissage des</p>
---	----------------------------	--	--	---	--	---

					<p>un homme dans 1Km³. Figure : mouvement brownien (appelé ici « le chaos moléculaire ».</p>	<p>éléments des 2^e et 3^e période ainsi que de la colonne des allogènes et des gaz nobles. Photos/portraits : N. Bohr ; nébuleuse contenant les différents nucléides naturels ; W. Pauli ; D. Mendeleïev ; accélérateur d'ions lourds ; portrait d'A. Avogadro ; molécule de phtalocyanine de cuivre. Analogie : mouvement désordonné d'électron dans un métal comparé à celui des élèves dans la cours. Encadrés : « Les semi-conducteurs » ; « Les modèles moléculaires ».</p>
8	Niche écologique	Ch. 25 « Les rayons X » §5 « La diffraction des rayons X par un cristal ». Ch. 26 « Masse et énergie. La relation d'Einstein ». §B « La stabilité des noyaux	Ch. 1 « Atomes et électrons » Sous-ch. 2 « Atomes et molécules » §2.3 « Symbole des éléments » ; §2.4 « Les	Ch. 13 « La structure des métaux ». Sous-ch. B « La structure de l'atome » §III « Liste d'éléments chimiques ». Ch. 15 « Le	Ch. 1 « Les gaz, un état dispersé de la matière » §2 « La structure moléculaire des	Partie I « Électricité » Ch. 1 « Le courant électrique » §1.1 « Les électrons en

		<p>atomiques et l'énergie nucléaire » ; §7 « Le rappel de la notion d'isotopie » ; §8 « Le défaut de masse et la stabilité du noyau ». Ch. 27 « La radioactivité » section A « Les rayonnements émis par les corps radioactifs » §1 « La mise en évidence expérimentale ».</p>	<p>molécules » (Corps simples, corps composés, atomicité ; Dimensions et masses des molécules). Sous-ch. 3 « Les phénomènes d'électrisation. L'électron » §3.2 « Les porteurs de charges » ; Sous-ch. 4 « Structure de l'atome » §4.5 « Les ions » (Ions positifs et ions négatifs ; Caractéristiques comparées des atomes et des ions). Sous-ch. 5 « La classification périodique des éléments ». Ch. 2 « Électricité » sous-ch. 1 « Courants dans les milieux matériels » §6.3 « Courant électrique dans les solutions » (Expérience ; Interprétation ; Mise en évidence directe de la migration des ions). Ch. 3 « Chimie » sous-ch. 16 « Les états de la matière » §16.2 « L'état cristallin » (Le chlorure de sodium : un cristal ionique ; Cristaux moléculaires ; Conclusion). Sous-ch. 17 « Structure de quelques molécules » §17.1 « La</p>	<p>courant électrique » §II « Interprétation électronique du courant » ; §IV « Cas des corps isolants ». Ch. 23 « Les ions métalliques » §I « L'ion cuivre. Transformation du cuivre en ion cuivre et inversement ».</p>	<p>gaz ». Ch. 2 « Atomes et molécules » §2 « Les molécules et leur représentation ». Ch. 3 « Les solides et les liquides, états condensés de la matière » §3 « La structure des liquides » ; §4 « La structure des solides ». Ch. 4 « Eau » §3 « La molécule d'eau » ; §4 « L'interprétation moléculaire de la synthèse et de la décomposition de l'eau ». Ch. 5 « Hydrocarbures » §2 « Le méthane » ; §3 « Les autres hydrocarbures gazeux » ; §6 « Interprétation des faits observés » (La dissociation des molécules d'eau ; Les ions H⁺ sont responsables de l'acidité d'un milieu ; Neutralité</p>	<p>mouvement dans le vide » (surtout §1.1.3 « D'où proviennent les électrons ? ») ; §1.2 « Les électrons en mouvement dans un métal ». Partie III « Chimie » Ch. 25 « Structure de l'atome » §25.4 « Ions » (obtention ; ions et neutralité électrique) ; §25.5 « Notion d'élément chimique » (exemple de l'élément cuivre » ; généralisation ; notation des atomes et des ions d'un élément) ; §26.2 « Classification périodique » ; §26.3 « Étude de quelques familles » ; §26.4 « Intérêt de la classification périodique » ; §27 « Vue d'ensemble sur les structures</p>
--	--	--	--	--	--	--

			<p>notion de liaison de covalence » (Retour sur la classification périodique ; La liaison de covalence) ; §17.2 « Les molécules diatomiques » (H_2, Cl_2, N_2, HCl, H_2O, NH_3, CH_4, C_2H_6, CO_2). Sous-ch. 19 « Les masses atomiques » §19.1 « La mole, unité de quantité de matière » (Nombre d'Avogadro) ; §19.2 « Équation bilan d'une réaction chimique » ; §19.3 « Signification massique d'une équation chimique » ; §19.4 « Conservation des éléments et loi de Lavoisier »</p>		<p>électrique et neutralité acido-basique). Ch. 8 « Quelques oxydations » §1 « La structure de certains corps simples à l'état solide ». Ch. 10 « Les plastiques » §2 « La structure des matières plastiques ». Ch. 23 « L'énergie : les données de la nature » avec citation des différentes formes d'énergie dont l'énergie nucléaire.</p>	<p>de la matière. Signification des formules » (La mole, unité de quantité de matière ; molécules ; ions polyatomiques ; cristaux non moléculaires). Ch. 28 « Les molécules. La liaison covalente » (existence des molécules ; structure géométrique des molécules ; la liaison chimique à l'intérieur d'une molécule de dihydrogène ; la liaison covalente ; autres molécules diatomiques ; la molécule d'eau ; la molécule d'ammoniac ; molécules contenant l'élément carbone ; pour conclure). Ch. 31 « Le chlorure de sodium » (le cristal de chlorure de sodium ; fusion du chlorure de</p>
--	--	--	--	--	--	--

						sodium et son électrolyse).
--	--	--	--	--	--	-----------------------------

Tableau 3Bb : Analyse didactique des manuels de physique-chimie français

Indicateurs génériques		Manuels de physique, chimie, physique-chimie français (1971-1990)		
1	Code	F13pc3	F14pc5	F15pc4
2	Informations générales : - titre - auteur - édition	- Sciences physiques - Y. Michaud, Y. Le Moal - Magnard 1984	- Sciences physiques - Y. Michaud, Y. Le Moal - Magnard 1987	- Physique-Chimie - M.-F. Allier, M. Fabre, T. Lévêque, C. Batho, A. Voinier, dir. G. Germain - Bordas 1988
3	Position et contenu des sections concernées	Ch. 16 « Les ions » §3 « Les ions H^+ et les ions OH^- » : « Qu'est-ce qu'un ion ? » ; « Ions positifs (ou cations) » ; « Ions négatifs (ou anions) ».	3 ^e partie « Chimie » Ch. 14 « Atomes et molécules » §I « Tous les corps sont constitués à partir d'atomes » (L'or ; Les atomes sont très, très petits ; Un atome est représenté par un symbole) ; §II « Certains corps sont formés d'atomes identiques » (Les atomes sont rangés côte à côte ; Les atomes sont groupés en molécules) ; §III « Certains corps sont formés d'atomes différents ».	2 ^e partie « Chimie » Ch. c1 « Structure atomique des métaux » §1 « La structure de la matière » ; §2 « La structure des métaux » sous-§2.1 « J'observe la photographie d'une lamelle d'atomes » ; sous-§2.2 « Je modélise la structure ordonnée des métaux ». Ch. c2 « Structure de l'atome » §2 « Structure de l'atome » sous-§2.1 « Composition de l'atome » ; sous-§2.2 « Les différents atomes » ; sous-§2.3 « Charge électrique de l'électron » ; sous-§2.4 « La charge du noyau » ; sous-§2.5 « La masse d'un atome et celle de l'électron » ; sous-§2.6 « La matière est essentiellement constituée de vide »
4	Part occupée nb d'images / nb de pages	47 / 22 = 2,14	33 / 12 = 2,75	23 / 12 = 1,92

5	Typologie iconique	39 modèles ; 6 photos ; 2 schémas	25 modèles ; 1 tableau ; 5 photos ; 2 encadrés	15 modèles ; 4 tableaux ; 3 photos ; 1 encadré
	Indicateurs spécifiques	Manuels de physique, chimie, physique-chimie français (1971-1990)		
6	Paradigme épistémologique	Structure interne de l'atome : noyau avec des protons et neutrons - électrons ; Mod. planétaire (implicite) : les électrons gravitent autour du noyau ; Modélisation de molécules à partir du mod. de Dalton.	Mod. de Dalton : « Un atome est une petite « boule » [...] comme une sphère élastique ne contenant aucun vide. [...] Les atomes sont des particules très, très petites [qui] se regroupent pour former des empilements compacts [et] molécules. » ; Références à l'atome de Démocrite (limite ultime de la matière), à la « théorie des atomes crochus » d'Épicure, aux idées de Lucrèce (rencontres et combinaison d'atomes) et à l'hypothèse de Bernoulli (particules sphériques espacées et rebondissant les unes sur les autres).	Mod. de Dalton (implicite) : « Les atomes sont les plus petits grains de matière. » ; Structure lacunaire de l'atome : « La masse d'un atome est concentrée dans son noyau. [...] l'espace autour du noyau, occupé par les électrons est donc essentiellement constitué de vide. » ; Structure interne : noyau et électrons « qui se déplacent de façon désordonnée ».

7	<p>Schématisme privilégiée</p>	<p>Modèles : fission d'²³⁵U et production d'énergie ; mod. moléculaires colorés de gaz tels O₂, H₂, CO₂, air, et explication de la compressibilité et de l'expansibilité ; mod. moléculaire de l'eau liquide et de la vapeur d'eau ; mod. compact de l'empilement d'atome dans un solide ; mod. moléculaire de l'iode solide I₂ et de la vapeur d'iode ; mod. moléculaires colorés d'azote, d'oxygène et de l'argon et leur mélange dans l'air ; mod. moléculaire compact de O₂ avec la distance en Å entre les noyaux - indiqués par « + » - et le rayon atomique ; mod. moléculaires compacte et éclatés de N₂, O₂, Ag qualifié celui-ci monoatomique ; maquettes de molécules compactes et éclatées avec les avantages et les inconvénients de ces représentations ; modèles compact et éclaté de H₂O avec les indications : masses et rayons des atomes (représentés en sphères), d(O-H)=0,96Å, HÔH=104°30' ; formule développée d'H₂O ; mod. moléculaires d'eau en trois états physiques ; mod. moléculaire du mécanisme de la réaction H₂+O₂ et maquette de molécules modélisant le bilan (légendée en termes de « mole ») ; maquette moléculaire modélisant la</p>	<p>Modèles : empilement d'atomes de zinc et de cuivre ; maquettes compactes de O₂, N₂, S₈, CO₂, CH₄, SO₂, H₂O ; molécule d'H₂ dans le vide ; mod. compact de la molécule d'eau ; mod. du cristal de neige ; mod. de l'eau liquide ; mod. d'agitation des molécules d'eau dans le vide ; mod. de la vapeur et de la buée ; mod. compacts de N₂, O₂ & Ar ; mod. d'agitation des molécules formant l'air ; mod. de disposition d'atomes dans le graphite et le charbon de bois ; mod. corpusculaires colorés de réactions ch. C+O₂, décomposition de CaCO₃, FeS+HCl, etc. ; mod. de réarrangement d'atomes dans la combustion de H₂S ; mod. corpusculaire pour détecter un atome de S dans la chaîne des réactions FeS+HCl & H₂S+O₂.</p> <p>Tableau : symboles et dessins colorés pour divers atomes.</p> <p>Photos : l'Atomium à Bruxelles ; cristal d'arséniure de gallium au microscope électronique ; un scientifique manipulant un microscope ultra perfectionné ; une lamelle d'or au microscope électronique ; cristal de neige.</p> <p>Analogie : molécules d'eau liquide comme des billes.</p> <p>Encadrés : « Les atomes », leur classification dans le tb périodique ; « Les atomes. Historique ».</p>	<p>Modèles : mod. corpusculaires colorés (molécules de O₂, H₂O, CO₂) ; empilement d'atomes en couches formant des hexagones réguliers ; mod. compact de l'anion SO₄²⁻ ; modèles atomiques (atome d'uranium et mouvement désordonné des électrons ; atomes et électrons libres dans un métal ; atome de Cu et ion Cu²⁺, de même pour Cl & Cl⁻ ; atomes d'H et d'He avec les p⁺ et n⁰ du noyau ; mod. de noyaux ; mod. de formation du noyau d'He avec le commentaire « énergie considérable ».</p> <p>Tableaux : subdivisions du mètre jusqu'au nm ; symboles d'atomes et de molécules monoatomiques ; symbole d'atomes et numéro atomique.</p> <p>Photos : atomes d'or au microscope à effet tunnel ; atomes de silicium ; structure atomique de l'or.</p> <p>Analogie : courant électrique : les e⁻ libres comme des sportifs au cours d'un défilé.</p> <p>Encadré : les réseaux métalliques » avec 3 configurations.</p>
---	---------------------------------------	--	--	---

		<p>décomposition de l'eau ; mod. compactes et éclatés (affichant la stéréochimie) et formules brutes et développées des molécules de C_nH_{2n+2}, $n \leq 4$; mod. moléculaires colorés de combustion d'alcane ; mod. des cristaux de soufre S_8, du diamant et du graphite ; mod. des cristaux $NaCl$ et Al_2O_3 ; mod. moléculaires colorés des réactions $C+O_2$, $S+O_2$, $Fe+O_2$ et $C+CuO$; mod. de Bohr des atomes d'H, et de Cl avec répartition d'e^- en couches ; mod. de la configuration d'e^- dans la molécule d'eau et dans les ions H_3O^+, OH^- ; couche de valence d'atome et d'ion de chlore ; mod. de la configuration d'e^- dans les ions SO_4^{--}, CO_3^{--} à partir des atomes.</p> <p>Photos/Portraits : centrale nucléaire, réacteur, etc. ; gisements d'uranium ; cristal de neige.</p> <p>Schémas : principe de la centrale ; subdivision d'une goutte d'eau aux molécules d'eau.</p>		
8	Niche écologique	<p>Ch. 9 « L'énergie électrique » §3 « Les centrales nucléaires » sous-§ « La fission nucléaire » ; sous-§ « Principe d'une centrale nucléaire » ; sous-§ « Bilan énergétique d'une centrale nucléaire ». Ch. 11 « Structure et propriétés des gaz » section III « La structure moléculaire des gaz » §1 « Exemple :</p>	<p>Ch. 15 « Les molécules et les états de la matière » §II « Les molécules et les trois états de l'eau » (La glace ; L'eau liquide ; La vapeur d'eau) ; §III « Un gaz formé de différents molécules : l'air ». Ch. 16 « Des variétés de carbone » (Le graphite). Ch. 18 « Le calcaire » §II « Les propriétés du calcaire » (Le calcaire est décomposé par la chaleur. La chaux). Ch. 20 « Le soufre » §II « Du soufre qui</p>	<p>2^e partie « Chimie » Ch. c2 « Structure de l'atome » §1 « Les phénomènes d'électrisation » ; §3 « Interprétation du phénomène d'électrisation ». Ch. c3 « Nature du courant électrique » §1 « Les électrons dans les métaux » ; §2 « Les électrons dans les isolants sont liés » ; §3 « Nature du courant électrique dans un métal ». Ch. c4 « Transformations : cuivre métal - ions cuivre par électrolyse » Ch. c8 « Cations et anions » §1.3 « L'ion de fer » ; §2 « Existence des anions » ; §3</p>

		<p>l'oxygène » ; §2 « Cas des autres gaz » ; section IV « Interprétation de la compressibilité et de l'expansibilité des gaz » §1 « La compressibilité » ; §2 « L'expansibilité » ; section V « Pourquoi les solides et les liquides ne sont-ils pas compressibles ? » §2 « Interprétation » ; section VII « Étude du passage de l'état solide ou liquide à l'état gazeux ». Ch. 12 « L'air » section II « La structure moléculaire de l'air ». Ch. 13 « L'eau » section II « La molécule d'eau » ; section III « Les molécules et l'état physique de l'eau » ; section IV « La synthèse de l'eau » ; §1 « Expérience » ; §2 « Interprétation de la réaction » ; §3 « Le bilan de la réaction » ; §4 « Remarques ». Ch. 15 « Réactions chimiques entre corps solides » ; section A « Idée de la structure des solides » ; §1 « Les corps simples solides » ; §2 « Les corps composés solides ».</p>	<p>disparaît...puis réapparaît » ; §III « Conséquences de la conservation des atomes » ; §IV « Les aventures d'un atome de soufre ».</p>	<p>« Étude de quelques anions ». 3^e partie « Optique » Ch. o7 « Spectres de raies. Applications à la connaissance d'un astre » §1 « Spectres émis par les sources lumineuses à l'état gazeux » ; §2 « Spectres de raies d'absorption » ; §4 « Spectres de bande d'absorption. Couleur des objets » <u>Remarque</u> : référence à des éléments chimiques, tel le sodium, mais aucune explication atomique. Ch. o8 « L'univers » §1 « Il y a quinze milliards d'années... » ; §2 « Les étoiles : formation, vie et mort ».</p>
--	--	---	--	---

Tableau 3Ca : Analyse didactique des manuels de physique-chimie français

Indicateurs généraux		Manuels de physique, chimie, physique-chimie français (1991-2014)			
1	Code	F16pc2	F17pc3	F18pc1S	F19pc2
2	Informations générales : - titre - auteur - édition	- Physique-Chimie - L. Capéran, M. Masle, M.F. Tordeux - Rosny ABC 1993	- Sciences Physiques - M.C. Baurrier, G. Gomez, J. Jourdain, J. Prat, dir. A. Goursault - Bordas 1994	- Physique-Chimie - G. Ansel, A. Chauveau - Hatier 1995	- Physique-Chimie - A. Tomasino, B. Gendreau, M. Horn, Ch. Parent, F. Patrigeon, Ch. Simon - Nathan 1997
3	Position et contenu des sections concernées	2 ^e partie « Chimie » Ch. I « Éléments et corps purs » précédé par le « Tableau périodique des éléments » et suivi par le Ch. II « Hydrocarbures ». §1 « Les atomes » (Les constituants de l'atome ; Les éléments ; La matière dans l'univers ; La classification périodique des éléments) ; §2 « Les corps purs moléculaires » (La liaison covalente ; Règle de l'octet) ; §3 « Les ions » (Structure d'un ion)	2 ^e partie « Chimie » Ch. 16 « La matière à l'état solide » §1 « Le solide métallique » §1.1 « Les atomes » ; §1.2 « Structure d'un métal » ; §1.3 « Symboles et formules ». Ch. 18 « Structure de l'atome » §1 « Un modèle pour l'atome » sous-§1.1 « Atome et électrisation » ; sous-§1.2 « Constituants de l'atome » ; sous-§1.3 « Neutralité électrique de l'atome » ; sous-§1.4 « Dimensions et masses atomiques » ; §2 « Les ions » ; sous-§2.1 « Les ions monoatomiques » ; sous-§2.2 « Les ions polyatomiques » ; sous-	1 ^{ère} partie « Physique » Ch. 8 « Énergie nucléaire » précédé du Ch. 7 « Bilan énergétique dans les systèmes électriques ». Savoirs abordés sous forme de questions-réponses : élément chimique ; nucléide ; nucléon ; notation A_ZX ; isotopes ; unité de masse atomique. 2 ^e partie « Chimie » Ch. 9 « Oxydoréduction : Introduction expérimentale » Savoirs abordés sous forme de questions-réponses : symboles des éléments ; ions monoatomiques ; configuration électronique et règle de l'octet ; neutralité de la matière.	5 ^e partie « Les éléments chimiques du globe et de l'univers » Ch. 15 « L'atome et l'élément chimique » section 2 « L'atome » §2.1 « Le noyau atomique » (A. Les nucléons ; B. Les nombres Z et A ; C. Représentation d'un noyau) ; §2.2 « Les électrons dans l'atome » (A. Où se trouvent les électrons ? ; B. Les caractéristiques de l'électron ; C. Conséquence) ; §2.3 « L'édifice atomique » (A. La masse de l'atome ; B. La structure lacunaire de l'atome) ; §2.4 « Notion d'isotopie ». Ch. 16 « La classification périodique » section 1 « Le cortège électronique d'un atome et les niveaux d'énergie » §1.1 « Les électrons dans un atome » ; §1.2 « Les couches électroniques ou niveaux d'énergie » ; §1.3 « Les règles de remplissage des niveaux

			§2.3 « Électroneutralité d'une solution ».		d'énergie » (A. Première règle ; B. Deuxième règle ; C. Exemples). Ch. 17 « La construction des édifices chimiques » section 1 « La règle de l'octet » §1.1 « Énoncé de la règle » ; §1.2 « Applications à la formation de certains ions » ; section 2 « La formation des molécules » §2.1 « La représentation de Lewis des atomes ». Ch. 18 « Atomes, molécules et ions à l'échelle humaine » section 1 « La mole » §1.1 « Définition de la mole » ; §1.2 « La constante d'Avogadro » ; section 2 « Les masses molaires » §2.1 « Définitions générales » ; §2.2 « Détermination des masses molaires » (A. Masse molaire atomique ; B. Masse molaire moléculaire ; C. Masse molaire ionique) ; section 3 « Masse et quantité de matière »
4	Part occupée nb d'images / nb de pages	4 / 6 = 0,67	19 / 4 = 4,75	7 / 11 = 0,64	49 / 21 = 2,33
5	Typologie iconique	1 modèle ; 2 tableaux ; 1 figure	2 modèles ; 6 tableaux ; 6 photos/portraits ; 1 analogie ; 4 encadrés	3 modèles ; 3 tableaux ; 1 schéma	12 modèles ; 20 tableaux ; 2 photos/portraits ; 3 diagrammes ; 12 encadrés
	Indicateurs spécifiques	Manuels de physique, chimie, physique-chimie français (1991-2014)			

6	<p>Paradigme épistémologique</p>	<p>Mod. planétaire (implicite) : « Un atome comprend un noyau central, constitué de protons et de neutrons (les nucléons) et des électrons formant un « nuage électronique » [au sens classique] autour du noyau. » ; Mod. de couches K, L... ou niveaux d'énergie caractérisés chacun par un nombre maximal d'électrons.</p>	<p>Mod. de Dalton (implicite) : « Les corps moléculaires [...] sont constitués d'atomes, identiques ou différents, liés entre eux [qui] peuvent être assimilés à des sphères [...] » ; Mod. de Rutherford : « un noyau central environné d'électrons [...] formant un nuage électronique », ici, au sens classique, c-à-d, les e^- « sont animés d'un mouvement rapide et désordonné autour du noyau. » ; Références au mod. de Thomson (gâteau aux raisins) et à celui de Rutherford (noyau central autour duquel gravitent, à grande distance, des électrons).</p>	<p>Structure interne de l'atome : noyau et électrons repartis en couches K, L... ; Règle de l'octet.</p>	<p>Références aux conceptions de Démocrite (la matière est constituée d'atomes) et d'Epicure (la cohésion de la matière s'explique par des atomes crochus) ; Dalton relance la théorie atomique (les corps simples sont formés d'atomes et les composés par proportions de différents atomes) ; Mod. de Thomson : l'atome comme un pudding où les électrons seraient les raisins secs ; Mod. de Bohr complétant le modèle planétaire : les électrons décrivent des trajectoires autour du noyau ; Mod. probabiliste : l'atome est un noyau entouré d'un nuage électronique, les électrons pouvant être n'importe où et seule la probabilité de présence à un point peut être évaluée ; Couches électroniques ou niveaux d'énergie K, L, M... ; Règles de remplissage ; Règle de l'octet (l'atome évolue pour acquérir la structure des gaz nobles).</p>
---	---	---	---	--	---

7	<p>Schématisme privilégiée</p>	<p>Modèle : formules brutes, développées et formules de Lewis ou stéréochimiques des molécules de H₂, Cl₂, H₂O, CH₄, C₂H₆, etc.</p> <p>Tableaux : tb périodique des 20 premiers éléments avec le nombre des électrons par couche ; liste de la notation des ions Cl⁻, S²⁻, Al³⁺, H₃O⁺, ClO₄⁻, etc.</p> <p>Figure : dessin animé « Ion Fer II, le retour ! ».</p>	<p>Modèles : mod. cristallins de Cu, Fe, Zn ; modèle d'atome avec le nuage électronique.</p> <p>Tableaux : nom d'élément, formule et diamètre atomique en nm dans le cristal ; nombre d'électrons de certains atomes ; diamètre et masse des constituants p⁺ & e⁻ ; masse relative de quelques atomes ; nombre de p⁺ & e⁻ pour atome et ion de Fe et de Cl.</p> <p>Photos : agrégat d'atomes d'or vus au microscope électronique ; centrale nucléaire ; dépôt d'atomes sur diverses surfaces</p> <p>Analogie : disposition d'atomes dans la matière comme des pommes dans le cageot.</p> <p>Encadrés : « Questions de méthode » : « Réaliser des empilements » ; « Activité de documentation » : « La course à l'ultramicroscopique » ; « Activité de documentation » : « À la découverte de l'invisible atome » ; « On en parle » : « Production</p>	<p>Modèles : une vingtaine d'équations de réactions nucléaires ; commencement et chaîne de réaction nucléaire ; formules de Lewis de H₂, HCl, H₂O.</p> <p>Tableaux : grandeurs atomiques ; masses molaires atomiques ; classification pér. avec l'électronégativité des atomes.</p> <p>Schéma : transfert d'énergie dans une centrale nucléaire.</p>	<p>Modèles : probabilité de présence de l'électron de l'H par un nuage ; arrachage de l'électron d'un atome ; formules de Lewis pour les atomes de C, N, H, O et S, formule H₂O avec explication de l'indice 2 ; électrons célibataires et liaison covalente dans H₂O ; mod. compact en blanc-rouge et géométrie dans H₂O ; nuage élect. dans la molécule de H₂ ; mod. corpusculaire de la réaction H₂+O₂→H₂O ; modèles éclatés des cristaux de diamant et de graphite ; mod. éclatés et formules de Lewis pour CH₄, C₂H₆, C₃H₈).</p> <p>Tableaux : masses et charges de p⁺ & n⁰ ; isotopes d'H, de C & d'U ; atomes et isotopes de Cu et nombre des constituants ; noms et symboles de quelques éléments ; répartition des éléments dans l'univers ; liste du nombre d'électrons par couche ; tb périodique avec la structure élect. des 20 premiers éléments ; formules de Lewis et valence d'atomes de H, C, N, O, Cl ; représentations de Lewis, formation des liaisons et mod. corpusculaires éclatés et compacts de H₂, Cl₂, HCl, NH₃, CH₄, etc. ; masses molaires atomiques de certains éléments) ; tableaux de structure élect. pour des alcalins, halogènes, gaz nobles, Ne/Na/Na⁺ et Ar/Cl/Cl⁻.</p> <p>Photos/Portraits : Mendeleïev ; J. Dalton.</p> <p>Diagrammes : abondance des éléments dans la croûte terrestre en</p>
---	---------------------------------------	--	--	---	--

			d'électricité ».		histogramme et diagramme circulaire ; abondance des éléments dans le globe terrestre. Encadrés : « Point historique : l'atome au cours des âges » ; « Chimie et électricité : la charge élémentaire » ; « Chimie et astrophysique : d'où viennent les éléments ? » ; « Le bestiaire des particules » ; « Des atomes d'antimatière » ; « Le 112, un atome pas vraiment naturel... » ; « Point historique : G. Lewis » ; Activité expérimentale : « Molécules, je vous aime ! Utilisation de l'informatique pour observer et analyser des molécules » ; « Point historique : A. Avogadro » ; « La théorie atomique de Dalton » ; « Point historique : Lavoisier, un des fondateurs de la chimie moderne » ; Activité expérimentale : « Une famille nombreuse : le pentane et ses isomères ».
8	Niche écologique	2 ^e partie « Chimie » Ch. I « Éléments et corps purs » §2 « Les corps purs moléculaires » (États physiques des corps purs moléculaires) ; §3 « Les ions » (États physiques des corps ioniques) ; §4 « Quantité de matière » (La mole ; Masse molaire ; Volume molaire des corps gazeux ; Densité d'un gaz) ; §5 « La réaction chimique » (Les lois de conservation ; Loi de Lavoisier ; Équation bilan). Ch. II	2 ^e partie « Chimie » Ch. 16 « La matière à l'état solide » §1.3 « Symboles et formules » ; §2 « Les oxydes métalliques » ; §3 « Équation-bilan ». Ch. 18 « Structure de l'atome » §2 « Les ions » ; sous-§2.1 « Les ions monoatomiques » ; sous-§2.2 « Les ions polyatomiques » ; sous-§2.3 « Électroneutralité	1 ^{ère} partie « Physique » Ch. 8 « Énergie nucléaire » précédé du Ch. 7 « Bilan énergétique dans les systèmes électriques ». Savoirs abordés sous forme de questions-réponses : rayonnements α , β , γ ; période radioactive ; transfert d'énergie dans un réacteur nucléaire ; fonction d'une centrale (fission d'un noyau d'uranium, modérateur, etc.) ; lois de	1 ^{ère} partie « Physique » Ch. 3 « Les circuits électriques » section 1 §1.1 « Nature et sens conventionnel du courant » (A. Le courant électrique dans un électrolyte ; B. Le courant dans les métaux). 4 ^e partie « Chimie des champs et des jardins » Ch. 13 « Étude chimique des sols » section 2 §2.2 « Nature des ions présents dans les terres » ; §2.3 « Électroneutralité des solutions » ; §2.5 « Équation-bilan de quelques tests d'identification des ions ». Ch. 14 « Les besoins des plantes. Les

		<p>« Hydrocarbures » §2 « Chaînes carbonées saturées : les alcanes »</p>	<p>d'une solution ». En annexe : Classification périodique. <u>Remarque</u> : Le terme « atome » est utilisé à la place du terme « élément ». Par exemple, on lit « Les atomes sont classés... » ou « Les atomes d'une même colonne... ».</p>	<p>conservation au cours d'une réaction nucléaire ; perte de masse ; fusion nucléaire. 2^e partie « Chimie » Ch. 11 « Nombre d'oxydation d'un élément » Savoirs abordés sous forme de questions-réponses : corps purs simples et composés ; réactions d'oxydoréduction ; liaisons covalentes et ioniques ; conservation de la charge électrique dans l'oxydoréduction. Ch. 15 « Processus endo- et exothermiques » (l'H₂O est une molécule polaire).</p>	<p>engrais » section 1 §1.1 « Composition chimique des plantes » ; §1.2 « Origine des éléments présents dans les plantes » ; §1.3 « Le cycle de l'azote ». Ch. 15 « L'atome et l'élément chimique » section 2 « L'atome » §2.5 « Qu'est-ce qu'un élément chimique ? » ; section 3 « Les éléments présents sur la terre et dans l'univers ». Ch. 16 « La classification périodique » section 2 « La classification périodique des éléments » ; section 3 « Étude de trois familles ». Ch. 17 « La construction des édifices chimiques » section 2 « La formation des molécules » §2.2 « La liaison de covalence » (A. Un exemple : la molécule d'eau ; B. Définition et règles générales) ; section 3 « Structure de quelques molécules ». Ch. 19 « Les réactions chimiques » section 1 « Bilan d'une réaction chimique » §1.1 « La loi de Lavoisier » ; §1.2 « Expérience et équation-bilan correspondante » ; §1.3 « Interprétation ». 6^e partie « Pétroles et gaz naturels » Ch. 21 « Le carbone dans la nature. La distillation des pétroles » section 1 §1.1 « Les formes du carbone pur » (A. Le diamant ; B. Le graphite). Ch. 22 « Le pétrole comme source d'énergie » section 1 « Les alcanes » §1.1 « Les alcanes les plus simples » (A. Le méthane ; B. L'éthane ; C. Le propane).</p>
--	--	--	---	---	---

Tableau 3Cb : Analyse didactique des manuels de physique-chimie français

Indicateurs généraux		Manuels de physique, chimie, physique-chimie français (1991-2014)			
1	Code	F20pTS	F21pc2	F22pc1S	F23pc4
2	Informations générales : - titre - auteur - édition	- Physique - J.-P. Durandeau, P. Bramand, Ph. Faye, R. Martegoutes, R. Sahun, G. Thomassier - Hachette 1999	- Physique-Chimie - A. Tomasino, G. Chappuis, J. Fay, B. Gendreau, D. Meur, C. Parent, H. Sliwa, M. Horn - Nathan 2000	- Physique-Chimie - N. Barde, M. Barde, V. Besnard, D. Caillet, L. Jackel, Conseiller sc. J.-P. Durandeau - Hachette collection Hélios 2001	- Physique-Chimie - S. Cousinié, G. Denis, M. Gendreau, S. Govaerts, M. Vignoles, Dir. H. Carré-Montréjaud - Nathan 2004, Programme 1998
3	Position et contenu des sections concernées	Partie 1 « Champs et interactions » Activités support I « Structure de la matière ». Partie 3 « Optique » Ch. 20 « Le photon » Activités documentaires « La dualité onde-corpuscule » ; Ch. 21 « Spectroscopie » §1 « Observation des spectres » sous-§1.2 « Spectres d'émission » (spectres de raies) ; sous-§1.3 « Spectres d'absorption » ; §2 « Interprétation énergétique » sous-§2.1 « L'énergie d'un atome » (L'atome ; Hypothèses de Niels Bohr) ; §2.2 « Bilan énergétique lors d'une interaction lumière-matière » ; §3 « Application à l'atome d'hydrogène » sous-§3.1 « Spectre de l'atome	Physique : Partie 1 « Exploration de l'espace » Ch. 1 « Présentation de l'univers » §1 « Au cœur de la matière : l'atome » sous-§1.1 « L'atome d'hydrogène » ; sous-§1.2 « La structure lacunaire de l'atome ». Chimie : Partie 5 « Constitution de la matière » Ch. 17 « Le noyau atomique et l'élément chimique » §1 « L'atome, constituant de la matière » sous-§1.1 « Un modèle de l'atome » (A. Historique de la théorie atomique ; B. La structure lacunaire	Partie 2 « Chimie » Ch. 17 « Les solutions électrolytiques » §1 « La structure des solides ioniques » sous-§1.1 « Les cristaux ioniques » ; sous-§1.2 « Exemples » ; §2 « Les solutions ioniques » sous-§2.1 « Dissolution de solides ioniques » ; §3 « La polarité des molécules et la solvatation des ions » ; sous-§3.1 « La polarité des molécules de chlorure d'hydrogène et de l'eau » (L'électronégativité et l'électropositivité ; La polarité de la molécule de chlorure d'hydrogène ; La polarité de la molécule d'eau) ; sous-§3.2 « La	Ch. 7 « La réaction chimique » §2 « Molécules et atomes. Comment modélise-t-on une molécule ? ».

		<p>d'hydrogène » ; sous-§3.2 « Énergie de l'atome d'hydrogène » (Les différents niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène ; Ionisation de l'atome d'hydrogène) ; sous-§3.3 « Interprétation des raies d'émission » (Transitions aboutissant au niveau fondamental n=1 ; Transitions aboutissant au premier niveau excité n=2 ; Autres séries de raies) ; sous-§3.4 « Interprétation des raies d'absorption » (L'énergie du photon est insuffisante pour ioniser l'atome ; L'énergie du photon est supérieure à l'énergie d'ionisation de l'atome » ; Exemple) ; §4 « Spectres, cartes d'identité des atomes ».</p>	<p>de l'atome) ; sous-§1.2 « Le noyau atomique » (A. Les nucléons ; B. Les nombres Z et A ; C. Les isotopes) ; sous-§1.3 « Propriétés de l'atome » (A. Electroneutralité de l'atome ; B. Les ions monoatomiques ; C. Masse d'un atome). Ch. 18 « Le cortège électronique » §1 « Les électrons dans l'atome » sous-§1.1 « Aperçu historique » ; sous-§1.2 « Où sont les électrons de l'atome » (A. Probabilité de présence d'un électron ; B. Les électrons ne sont pas également liés au noyau) ; §2 « Répartition des électrons d'un atome » sous-§2.1 « Les couches électroniques » ; sous-§2.2 « Les règles de remplissage des couches électroniques » (A. Première règle ; B. Deuxième règle) ; sous-§2.3 « La répartition des électrons ». Ch. 19 « Les édifices chimiques » §1 « Les règles du duet et de l'octet » sous-§1.1 « Stabilité chimique des gaz nobles » ; sous-§1.2 « Vers une plus grande</p>	<p>solvatation des ions » ; sous-§3.3 « La solvatation du proton ».</p>	
--	--	---	--	---	--

			stabilité chimique » ; sous-§1.3 « Application aux ions monoatomiques stables »		
4	Part occupée nb d'images / nb de pages	22 / 7 = 3,14	69 / 26 = 2,65	22 / 8 = 2,75	15 / 6 = 2,50
5	Typologie iconique	3 tableaux ; 4 photos/portraits ; 10 schémas ; 5 encadrés	24 modèles ; 12 tableaux ; 11 photos/portraits ; 1 analogie ; 3 schémas ; 1 figure ; 17 encadrés	16 modèles ; 1 tableau ; 2 photos/portraits ; 1 schéma ; 2: encadrés	9 modèles ; 1 tableau ; 1 photo/portrait ; 1 schéma ; 3 encadrés
	Indicateurs spécifiques	Manuels de physique, chimie, physique-chimie français (1991-2014)			
6	Paradigme épistémologique	Mod. planétaire ; Principes de Bohr quant à l'interprétation énergétique : quantification, transitions électroniques ; Niveaux d'énergie et nombres quantiques principaux n=1, 2... ; Dualité onde-corpuscule de De Broglie, étendue « à tous les éléments de la matière, en particulier aux électrons. » ; Mécanique ondulatoire : elle étend « à toute la matière les conceptions de probabilisme, d'incertitude, de non-individualité d'aspects complémentaires [...] »	Modèle pseudo-probabiliste : les électrons « en mouvement rapide autour » du noyau. L'électron de l'atome d'H « se situe le plus souvent à 53pm du centre du noyau » : Structure lacunaire de l'atome ; Mod. probabiliste (savoir « acquis du collège ») : l'électron est représenté par un nuage de points ; Références historico-épistémologiques : les 4 éléments de la matière en opposition à l'atome (Démocrite et al., les	Recours, dans le manuel, au modèle de Dalton (implicite) à propos des modèles moléculaires (boules de billard) ; Mod. planétaire	Mod. atomique de Dalton

			<p>atomes crochus) ; théorie atomique de Dalton avec les atomes indivisibles s'associant pour former la matière ; hypothèse d'Avogadro et la distinction atome / molécule ; mod. de « pudding aux électrons » de Thomson ; structure lacunaire de l'atome d'après Rutherford (noyau - cortège électronique) et l'échec du mod. planétaire « les électrons étant rapidement captés par le noyau » ; modèles du cortège électronique (mod. planétaire de Rutherford ; atome de Bohr, basé sur la mécanique quantique, avec des trajectoires circulaires et des transitions élect. ; mod. probabiliste de Schrödinger, basé sur la mécanique ondulatoire) ; Notion de couche électronique ; Règles de remplissage des couches ; Règles du duet et de l'octet.</p>		
--	--	--	--	--	--

7	Schématisation privilégiée	<p>Tableaux : caractéristiques des leptons, de quarks et des 4 interactions.</p> <p>Photos/Portraits : Louis de Broglie ; Niels Bohr ; raies du spectre d'émission de l'atome d'H ; spectre d'émission de l'atome de Cu.</p> <p>Schémas : illustration de la structure d'atome jusqu'aux quarks ; apparition temporelle d'entités matérielles depuis le big-bang ; transferts d'énergies entre divers niveaux d'énergie ; diagramme des niveaux d'énergie de l'H ; transitions électroniques et séries de Lyman, de Balmer, etc. ; absorption d'un photon par l'atome d'H ; raie H_α lors de l'absorption et la réémission par les atomes d'H ; émission spontanée d'un photon ; émission stimulée ; ionisation de population dans un laser.</p> <p>Encadrés : « Structure de la matière » ; « Le big-bang » ; « La dualité onde-corpuscule » ; « Un peu d'histoire : Niels Bohr » ; 3 extraits de revues sous la rubrique « Pour aller plus loin » intitulés : « Refroidissement d'un atome » ; « Les quasars, des astres très lointains » ; « Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène. Interférences ».</p>	<p>Modèles : trajectoires aléatoires d'une molécule dans un gaz à températures élevée et faible ; structure d'un gaz diatomique et d'un gaz parfait ; illustration de la loi d'Avogadro-Ampère ; mod. probabilistes de l'atome d'H illustrant le nuage électronique avec le maximum de sa densité à 53pm du noyau ; mod. corpusculaire compact et éclaté ; mod. d'atome historiques ; modèles de Rutherford, de Bohr et de Schrödinger ; mod. moléculaire compact et coloré de l'aspirine ; formule développée de l'eau ; formules de Lewis de l'eau, du dioxygène et du diazote ; formules développées de butane, éthanol, etc. ; géométrie et modèles moléculaires en 3D des CH₄, NH₃, H₂O ; modèles de Cram pour CH₄, et NH₃.</p> <p>Tableaux : charge et masse des particules subatomiques ; ordre de grandeur du rayon atomique ; isotopes d'H, de C, d'U ; nombre de p⁺ & e⁻ pour isotopes et ions</p>	<p>Modèles : en couverture, atome de Bohr ; mod. moléculaire de butane ; mod. moléculaires colorés - compact et éclaté - du cristal de NaCl ; mod. éclatés de la structure cristalline des NaCl et CaF₂ ; polarité des molécules d'HCl et d'eau ; hydratation de cations et d'anions ; courant électrique dans les électrolytes ; formule de la molécule du bleu de bromothymol ; formule développée de la molécule d'indigo ; mod. moléculaires de l'éthane, de l'éthylène et de l'acétylène avec les représentations Cram ; réseau cristallin coloré de la glace.</p> <p>Tableau : conductivité ionique molaire λ d'ions.</p> <p>Photos/Portraits : A. Avogadro ; dépôt de rouille sur l'épave de Titanic.</p> <p>Schéma : l'évolution de l'électronégativité dans le tb périodique.</p> <p>Encadrés : rubrique « Activités » avec les textes : « Comment est constitué un cristal ionique ? » ; « Quelle est l'influence de la nature des ions sur la conductance ? ».</p>	<p>Modèles : mod. corpusculaire d'un mélange de gaz ; la pression par les chocs des molécules sur les parois ; mod. moléculaire compact coloré de l'ADN ; mod. du nanotube et de la molécule de nicotine ; modèles compacts colorés de H₂O et de CO₂ ; mod. moléculaire de la réaction CH₄+O₂ accompagnée de l'équation chimique ; maquettes d'atomes d'H, d'O et de C et des molécules de H₂O, O₂ & CO₂ ; représentation en 3D du cristal d'or au microscope à effet tunnel.</p> <p>Tableau : noms, symboles et maquettes sphériques de C, d'H et d'O.</p> <p>Photo/Portrait : L.-J. Proust.</p> <p>Schéma : subdivision de la matière : du grain de sable à l'atome.</p> <p>Encadrés : rubrique « Je découvre et je réfléchis... » : 1) « ... avec les hommes et les femmes d'hier » ; 2) « ... en observant le monde qui m'entoure » ; document affichant la page 'Dalton's Atomic Symbols' « Les atomes de Dalton » ; rubrique « Sciences & » : « Atomes. Peut-on voir un atome ? Document de travail : le microscope à effet tunnel ».</p>
---	----------------------------	--	---	---	---

		<p>de Cu ; noms et symboles de principaux éléments ; noms, charges et année de découverte des 6 quarks ; répartition électronique des gaz nobles He, Ne, Ar et des atomes et ions de Na et de Cl ; nombre d'électrons de valence et de liaisons covalentes pour certains atomes ; les 18 premiers éléments dans le tb pér. avec leur répartition électronique ; répartition électronique pour certains alcalins, halogènes et gaz nobles ; masses molaires atomiques.</p> <p>Photos/Portraits : agrégat d'atomes d'or au microscope à effet tunnel ; coupoles du Kremlin recouvertes d'or ; E. Rutherford ; images formées par des électrons sur des écrans ; W. Pauli ; G. Charpak ; G. Lewis ; Mendeleïev ; H. Reeves ; A. Avogadro ; page de l' 'Atomic Symbols' de Dalton.</p> <p>Analogie : structure lacunaire : si noyau $\approx 1m$, l'électron se situant à 44Km.</p>		
--	--	--	--	--

			<p>Schémas : échelle de dimensions d'objets physiques à partir du noyau atomique jusqu'aux galaxies ; proton et neutron au noyau d'hélium 4 ; fusion des 3 noyaux d'hélium 4 pour créer un noyau de carbone.</p> <p>Figure : dispositif de l'expérience de Rutherford.</p> <p>Encadrés : extrait de « Méthodes de l'astrophysique » intitulé « Structure lacunaire de la matière » ; rubrique « info-sciences » : quelques textes intitulés « L'état de la matière au cœur même du Soleil », « Amadeo Avogadro », « L'expérience de Rutherford » et « Particules élémentaires et quarks » [extraits du livre de S. Hawking « Une brève histoire du temps »], « Voyage avec un physicien atomiste » [extrait du livre de G. Charpak et de R. Garwin « Feux follets et champignons nucléaires »], « Les noyaux émergent de l'océan de chaleur »,</p>	
--	--	--	---	--

			<p>« Atomes et molécules apparaissent à leur tour », « La naissance du carbone et des atomes », « Dalton relance la théorie atomique », « Avogadro distingue atomes et molécules », « Cannizzaro détermine les masses molaires atomiques » ; document « Les atomistes : du Démocrite à Rutherford » ; « Chimie et électricité » ; « Physique et histoire, les nucléons » ; « document « Les modèles successifs du cortège électronique » ; « Point histoire : Wolfgang Pauli » ; « Chimie et gaz nobles » ; « Point histoire : Gilbert Lewis » ; document « Le tableau de Mendeleïev » ; « Point histoire : Mendeleïev » ; « Point histoire : Amedeo Avogadro ».</p>		
8	Niche écologique	<p>Partie 1 « Champs et interactions » Activités support I « Le big-bang ». Partie 3 « Optique » Ch. 22 « Le Laser » sous-§1.3 « Monochromaticité » ; §2 « Lecture : le principe de fonctionnement du laser » sous-§2.1 « L'émission stimulée » ;</p>	<p>Physique : Partie 2 « L'univers en mouvements et le temps » Ch. 9 « Le temps et sa mesure » §1 « La mesure des durées » définition - destinée à l'enseignant - de la</p>	<p>Partie 2 « Chimie » Ch. 16 « Les quantités de matière » §1 « Quantité de matière et notion de mole » ; §2 « Quantité de matière et masse » sous-§2.1 « Masses molaires » ; sous-§2.2 « Relation entre quantité de</p>	<p>Ch. 5 « L'air qui nous entoure » §2 « L'air est un mélange » ; §3 « La pression atmosphérique ». Ch. 7 « La réaction chimique » §3 « L'équation-bilan ».</p>

		<p>sous-§ 2.2 « L'inversion de population ».</p>	<p>seconde à partir de la radiation de l'atome de ¹³³Cs. Partie 3 « L'air qui nous entoure » Ch. 10 « État gazeux et pression d'un gaz » §1 « Description d'un gaz à l'échelle microscopique » sous-§1.2 « Le mouvement brownien » ; sous-§1.3 « L'agitation moléculaire » ; sous-§2.3 « L'agitation moléculaire et la température ». Ch. 12 « Un modèle : le gaz parfait » §1 « Le modèle du gaz parfait ». Chimie : Partie 5 « Constitution de la matière » Ch. 17 « Le noyau atomique et l'élément chimique » §2 « L'élément chimique » sous-§2.1 « Qu'est-ce qu'un élément chimique ? » ; sous-§2.2 « Conservation des éléments chimiques ». Ch. 19 « Les édifices chimiques » §2 « La formation des molécules » sous-§2.1 « Les liaisons covalentes » (A. Définition ; B. Liaisons covalentes formées par un atome) ; sous-§2.2 « Représentation de</p>	<p>matière, masse et masse molaire ». Ch. 17 « Les solutions électrolytiques » §2 « Les solutions ioniques » sous-§2.2 « Dissolution de liquides » ; sous-§2.3 « Dissolution de gaz ». Ch. 19 « Mesure des quantités de matière par conductimétrie » §1 « La conduction de l'électricité dans les solutions » ; §2 « Conductance et conductivité ». Ch. 23 « La chimie organique au quotidien » §3 « Le carbone, élément fondamental de la chimie organique » sous-§3.1 « Les éléments constituant les substances organiques » ; sous-§3.2 « La tétravalence du carbone » ; sous-§3.3 « La géométrie des molécules organiques » (Le carbone tétragonal ; Le carbone trigonal ; Le carbone digonal). Ch. 28 « La cohésion de la matière » §1 « Les changements d'état » sous-§1.1 « Les différents états de la matière » ; sous-§1.2 « Les changements d'état ».</p>	
--	--	--	---	---	--

			<p>Lewis des molécules » (A. Doublets liants et doublets non liants ; B. Comment établir une représentation de Lewis) ; sous-§2.3 « Notion d'isomérie » (A. Formules développées et semi-développées ; B. Isomérie et isomères) ; sous-§2.4 « Géométrie de quelques molécules » (A. Disposition spatiale des doublets ; B. Application à quelques molécules ; C. La représentation de Cram). Ch. 20 « La classification périodique des éléments » §1 « La classification périodique des éléments » sous-§1.1 « Le tableau de Mendeleïev » ; sous-§1.2 « La classification périodique moderne » ; §2 « Utilisation de la classification périodique » sous-§2.1 « Les familles chimiques » (A. Mise en évidence ; B. Propriétés chimiques et répartition électronique ; C. Étude de trois familles) ; sous-§2.2 « Formule des molécules » ; sous-§2.3 « Formule des ions</p>		
--	--	--	--	--	--

			<p>monoatomiques ».</p> <p>Partie 6</p> <p>« Transformations de la matière » Ch. 21 « La mole et les grandeurs molaires » §1 « La mole d'une espèce chimique » sous-§1.1 « La mole, unité de quantité de matière » ; sous-§1.2 « Définition de la mole » ; sous-§1.3 « La constante d'Avogadro » ; §2 « Les masses molaires » sous-§2.1 « Définition générale » ; sous-§2.2 « Détermination des masses molaires (A. Masse molaire atomique ; B. Masse molaire moléculaire) ; sous-§2.3 « Masse et quantité de matière ».</p> <p>Ch. 23 « La réaction chimique » §2 « La réaction chimique et son équation » sous-§2.1 « Le modèle de la réaction chimique » ; sous-§2.2 « L'équation d'une réaction » (A. L'équation représente symboliquement la réaction ; B. Ajustement des nombres stœchiométriques) ; sous-§2.3 « Les</p>		
--	--	--	--	--	--

			correspondances en moles »		
--	--	--	----------------------------	--	--

Tableau 3Cc : Analyse didactique des manuels de physique-chimie français

Indicateurs génériques		Manuels de physique, chimie, physique-chimie français (1991-2014)			
1	Code	F24pc2	F25pc4	F26pc4	F27pcTS
2	Informations générales : - titre - auteur - édition	- Physique-Chimie - V. Besnard, P. Bramand, M. Dumont, O. Durupthy, R. Fanguet, M. Fanguet, P. Faye, M. Giacino, A. Jaubert, F. Patrigeon, Ch. Simon, G. Thomassier, Dir. J.-P. Durandeu, A. Durupthy, M.-B. Mauhourat - Hachette 2004	- Physique-Chimie - P. Borruto, É. Donadéi, F. Foltrauer, S. Grefan, N. Riverain, Dir. J.-M. Parisi - Belin 2007	- Physique-Chimie - F. Amauger, S. Cousinié, G. Denis, M. Gendreau, S. Govaerts, Dir. H. Carré-Montréal - Nathan 2007	- Physique-Chimie - V. Besnard, M. Bigorre, O. Durupthy, T. Dulaurans, M. Fanguet, R. Fanguet, M. Giacino, B. Poudens, Dir. J.-P. Durandeu, A. Durupthy - Hachette 2007
3	Position et contenu des sections concernées	Partie 2 « Chimie » sous-partie « Constitution de la matière » Ch. 16 « Structure de l'atome » §1 « Quelle est la structure d'un atome ? » sous-§1.1 « Les constituants du noyau : les nucléons » ; sous-§1.2 « Les électrons » ; sous-§1.3 « Masse et dimensions des atomes » ; §2 « Comment se forment les	Partie 1 « L'air » Ch. 5 « Les atomes et la transformation chimique » §1 « Les atomes, la transformation chimique » ; §2 « La masse et la transformation chimique »	Partie 1 « La chimie » Ch. 2 « Un modèle pour comprendre ». Ch. 5 « Des atomes pour comprendre » §1 « Masse et transformation chimique » ; §2 « Molécules et atomes »	aucune section explicite concernant l'atome

		ions ? » ; §3 « Qu'est-ce qu'un élément ? » sous-§3.4 « Isotopie » ; sous-§3.5 « Notation des atomes et des ions d'un élément » ; §4 « Quelle est la structure du cortège électronique ? » ; sous-§4.1 « Structure électronique » ; sous-§4.2 « Représentations de la structure électronique ». Ch. 17 « De l'atome aux édifices chimiques » §1 « Quelles sont les structures électroniques les plus stables ? » sous-§1.1 « Gaz nobles » ; sous-§1.2 « Règle de l'octet et du duet » ; §2 « Quelles charges électroniques portent les ions monoatomiques ? » ; §3 « Comment se forment les molécules ? » ; sous-§3.1 « Les molécules H ₂ , HCl et O ₂ » ; sous-§3.2 « Liaison covalente » ; sous-§3.3 « Représentation de Lewis ».			
4	Part occupée nb d'images / nb de pages	73 / 32 = 2,28	22 / 9 = 2,44	29 / 13 = 2,24	-
5	Typologie iconique	24 modèles ; 13 tableaux ; 24 photos/portraits ; 2 analogies ; 4 schémas ; 1 figure ; 5 encadrés	12 : modèles ; 4 : tableaux ; 1 : photo ; 5 : encadrés	15 modèles ; 2 tableaux ; 5 photos/portraits ; 1 analogie ; 2 schémas ; 4 encadrés	8 modèles ; 1 photo

	Indicateurs spécifiques	Manuels de physique, chimie, physique-chimie français (1991-2014)			
6	Paradigme épistémologique	Discontinuité de la matière dont l'atome est le plus petit élément ; Mod. de Démocrite : tout est constitué d'infimes parties, éternelles et immuables, solides et massives, les atomes (= insécables) ; Mod. de Dalton : la « boule de billard », plein de matière ; Mod. de Thomson : l'atome contient des électrons ; Mod. planétaire de Rutherford : noyau atomique d'un diamètre 10^{-5} fois inférieur à celui de l'atome ; Structure lacunaire de la matière à l'échelle atomique ; L'atome est devenu sécable ; Répartition des électrons en couches électroniques K, L... ou bien caractérisées par leur num. $n=1, 2, \dots$; Principe de Pauli : au maximum $2n^2$ électrons par couche ; Principe de construction ; Recours, dans le manuel, au modèle de Dalton à propos des modèles moléculaires.	Discontinuité de la matière (implicitement citée) ; Mod. antique (V ^e siècle av. J. -C.) de l'« atome crochu » ; Recours, dans le manuel, au modèle de Dalton (implicite) à propos des modèles moléculaires (boules de billard) : plusieurs atomes semblables ou non, liés entre eux forment une molécule.	Hypothèse des 4 éléments de la matière (Empédocle, Aristote) ; Discontinuité de la matière en référence à l'atome (Démocrite, Leucippe) particule ultime et insécable de la matière ; Thèse de Descartes : la matière est infiniment divisible ; Dalton réactualise le concept d'atome : la matière est composée d'atomes indivisibles (boules de billard) ; Mod. de pudding aux raisins de Thomson ; Rutherford aboutit au mod. planétaire : structure interne (lacunaire) de l'atome constitué d'un noyau autour duquel gravitent des électrons sur des orbites quelconques ; Mod. de Bohr avec des orbites non plus quelconques ; Chadwick découvre le neutron dans le noyau ; Recours, dans le manuel, au mod. de Dalton à propos de la modélisation moléculaire (boules de billard).	Recours, dans le manuel, au mod. de Dalton (boules de billard) à propos de la modélisation moléculaire.
7	Schématisation privilégiée	Modèles : molécule d'huile sur l'eau ; simulation du mouvement brownien ; maquettes colorées pour les atomes de H, C, O, N, Cl et S ; maquette compacte de la molécule d'oxybenzone ; notation chimique d'un atome et	Modèles : mod. corpusculaire d'un mélange homogène de l'air et d'un autre gaz ; mod. corpusculaire d'un corps pur et de l'air ; modélisation des 3 états de la matière ; liquides hétérogène et homogène ;	Modèles : mod. colorés corpusculaires de l'air et de l'eau ; l'air compressible, l'eau incompressible ; mod. moléculaires de l'air et de la vapeur d'eau ; modélisation des 3 états de la matière ; mod.	Modèles : formules développées de l'eugénol, de l'acétylégénol, de la trimyristine, ; formules de Lewis des molécules polaires de l'eau et de l'éther diéthylique et

		<p>d'un ion ; maquette compacte de la molécule d'insuline ; interprétation de l'expérience de Rutherford ; modèles moléculaires éclatés et formules de Lewis pour H₂, HCl, etc. avec la distance des noyaux en pm ; exemples de formules de Lewis ; formule de Lewis et formules développée et semi-développée de la molécule C₃H₅O₂Cl ; mod. compacts et éclatés pour CH₄, NH₃, H₂O et représentation de Cram de CH₄ ; maquette en 3D de l'ADN ; mod. éclaté et compact de butanone et de l'acétique ; formules de vanilline et d'iso-vanilline ; mod. moléculaire de l'acétone).</p> <p>Tableaux : constituants d'atome et caractéristiques comparées ; nombres Z et A et masse d'un atome d'H et de F ; noms, symboles et numéros atomiques des éléments usuels ; couches et nombre maximal d'électrons ; formule électronique de quelques atomes et ions avec indication de la couche externe ; formule électronique et numéro atomique pour He, Ne, Ar & Kr ; formule électronique et numéro atomique pour Ne, Al & Al⁺³, S & S²⁻, Ar ; formule élect. et nombre de doublets dans H₂, O₂ & HCl ; formule élect. et covalence de certains éléments ; symbole, numéro atomique et formule</p>	<p>évolution du modèle corpusculaire depuis les « atomes crochus » ; représentation du café comme un mélange de différentes molécules ; mod. compact de l'ADN ; maquettes moléculaires pour modéliser les réactions ch. avec indication des molécules et atomes ; illustration montrant la conservation de la masse lors d'une réaction suite à la conservation des atomes ; maquettes d'atomes équipant la moléculethèque.</p> <p>Tableaux : noms, symboles/formules et modèles des atomes d'H, d'O et de C et des molécules de O₂, de CH₄, de H₂O et de CO₂.</p> <p>Photo : test de déclenchement d'un airbag.</p> <p>Encadrés : document « Un modèle moléculaire de gaz » suivi des informations sur le logiciel de simulation « Animol » pour l'animation moléculaire, rubrique « Histoire des sciences » : « Les modèles pour mieux comprendre » ; Activité « Comment interpréter une transformation chimique ? » suivie de la rubrique « Vocabulaire » où est souligné le rapport molécule/atome ; document « Technologie : la</p>	<p>corpusculaire d'un mélange homogène de l'air et d'un autre gaz ; mod. du mélange d'un liquide avec l'eau ; maquettes moléculaires compactes ; subdivision de la matière ; maquettes moléculaires pour modéliser les réactions ch. C+O₂, CH₄+O₂ et C₄H₁₀+O₂ avec l'inférence de conservation de la masse totale lors d'une réaction suite à la conservation des atomes ; couche d'oxyde métallique ; le pudding de Thomson ; 2 mod. atomiques de Bohr.</p> <p>Tableaux : noms, symboles et modèles pour C, H, O et pour H₂O, O₂, CO₂, C₄H₁₀.</p> <p>Photos/Portraits : Démocrite ; le synchrotron Soleil ; atomes de Zn, de As et de Ga au microscope à effet tunnel ; maquette moléculaire de l'ADN ; E. Rutherford.</p> <p>Analogies : les 4 éléments fondamentaux, d'après Empédocle, comme 4 personnages féminins.</p> <p>Schémas : évolution depuis l'antiquité d'idées scientifiques et de modèles d'atome.</p> <p>Encadrés : rubrique « J'apprends et je retiens... » : 1) l'air est compressible, l'eau incompressible ; 2) le modèle particulière ; 3) modélisation des réactions ch. ; rubrique « La</p>	<p>représentation de Cram pour le tétrachlorométhane ; modèle moléculaire éclaté coloré de l'anéthole ; formules des colorants tartrazine E 102 et bleu parenté E 131 ; formules des molécules de l'acide sulfanilique, de l'N, N-diméthylaniline et de l'hélianthine ; modèle moléculaire éclaté coloré de l'acide ascorbique ou vitamine C ; modèle moléculaire éclaté coloré de l'acide acétylsalicylique ou aspirine.</p> <p>Photos/portraits : une chercheuse travaillant au microscope.</p>
--	--	---	---	--	--

		<p>élect. des trois premières lignes du tb périodique ; formation des ions à partir des formules élect. des atomes ; masses d'un atome et de $9,0 \times 10^{22}$ atomes ; pourcentage et masses d'une mole d'atomes des isotopes de Cl.</p> <p>Photos/Portraits : agrégats d'atomes au microscope à effet tunnel avec indication de la taille de $3,3 \times 10^{-10}$ m ; E. Rutherford ; des atomes de platine ; spectres de raies de vapeur de Na et de Hg ; spectres d'absorption et d'émission de Na et de Hg ; horloge atomique au Cs ; enclos quantique à partir de 48 atomes de fer d'usage dans les nanosciences ; cristal de silice au microscope à effet tunnel ; J.J. Thomson ; tube de Crookes ; univers : il contient 300 types d'atomes différents ; cristaux de CaF_2 ; W. Pauli ; Démocrite ; plante du café et formule brute de la caféine ; Mendeleïev ; atomes de carbone au microscope à effet tunnel ; A. Avogadro ; dirigeable contenant de l'hélium ; Loschmidt ; A.L. de Lavoisier.</p> <p>Analogies : noyau = balle de tennis, électron = ballon de handball à 1 Km de distance ; éléments de jeu de construction correspondant aux atomes qui forment la matière.</p> <p>Schémas : évolution des</p>	<p>matière organique » ; rubrique « La physique au quotidien » « Fabrique ta moléculothèque » ; « Fiche technique » « Comment construire des maquettes de molécule ? ».</p>	<p>science en construction » : 1) « Une histoire de la matière » ; 2) « Une histoire de l'atome » ; rubrique « Ça s'explique par la chimie » « Comment former une couche extrêmement fine d'oxyde métallique ? ».</p>	
--	--	---	---	---	--

		<p>structures formées depuis le Big Bang en termes de temps et de température ; quelques longueurs à partir de la cellule ; échelles atomique, humaine, cosmique ; transformations chimiques sur l'élément de Cu.</p> <p>Figures : dispositif de l'expérience de Rutherford.</p> <p>Encadrés : Activité : « Comment interpréter l'expérience de Rutherford ? » ; « Comment Démocrite imaginait-il la matière ? » ; « Comment Rutherford a établi le caractère lacunaire de la matière ? » ; « La structure spatiale des molécules » avec 3 textes : « Pourquoi et comment représenter les molécules ? », « Comment matérialiser la structure des molécules ? » et « Quelles sont les conséquences de l'isomérisation ? » ; « La constante d'Avogadro : aspect historique et utilisation actuelle » avec 5 textes : « Comment les scientifiques ont-ils déterminé la constante d'Avogadro ? », « Le nombre de Loschmidt », « Les travaux de Perrin », « Les mesures de Thomson et Millikan » et « Les recherches actuelles ».</p>			
8	Niche écologique	Partie 1 « Physique » Ch. 1 « De l'infiniment petit à l'infiniment grand » §1 « Comment décrire l'Univers ? » ; §2 « Comment la	Partie 1 « L'air » Ch. 3 « Matière et molécules » §1 « Les molécules » ; §2 « Les propriétés de la matière »	Partie 1 « La chimie » Ch. 3 « Le modèle particulaire » §1 « Mélanges et corps purs » ; §2 « États de la matière » ; §3	Partie 2 « Chimie » Ch. 11 « Extraction de substances naturelles », « Polarité des

		<p>matière est-elle répartie dans l'Univers ? » sous-§2.1 « Au niveau microscopique ». Ch. 2 « Mesurer les objets de l'Univers » rubrique « Rechercher et expérimenter : L'expérience de Benjamin Franklin ». Ch. 4 « Les messages de la lumière » sous-§1.2 « La lumière émise par un gaz » ; sous-§2.2 « La lumière traverse un gaz » ; rubrique « Rechercher et expérimenter : De la lumière aux éléments chimiques ». Ch. 8 « Mesurer une durée » § « La mesure du temps, une course à la précision ». Ch. 10 « Décrire l'état gazeux » §1 « Comment modéliser le comportement des gaz au niveau microscopique ? » sous-§1.1 « Comment mettre en évidence le mouvement désordonné des molécules ? » ; sous-§1.2 « Peut-on se limiter à une description au niveau microscopique ? » ; §2 « Comment interpréter et mesurer une pression ? ». Partie 2 « Chimie » sous-partie « Constitution de la matière » Ch. 16 « Structure de l'atome » §3 « Qu'est-ce qu'un élément ? ». Ch. 17 « De l'atome aux édifices chimiques » §4 « Des molécules différentes peuvent-elles avoir la même formule brute ? » ; sous-§4.1 « Notion d'isomérie » ; sous-§4.2</p>		<p>« Mélange de gaz ou de liquides » ; §4 « Changements d'état ». Ch. 5 « Des atomes pour comprendre » §3 « Les équations de réaction ».</p>	<p>molécules ». Ch. 12 « Synthèses d'additifs alimentaires » « Synthèse d'un colorant : l'hélianthine ». Ch. 15 « Titrages d'oxydoréduction » §1 « Comment titrer la vitamine C ? ». Ch. 20 « Formulation et conditionnement » §1 « L'aspirine : un médicament aux nombreuses formulations ».</p>
--	--	---	--	--	---

		<p>« Formules développées et semi-développées » ; §5 « Quelle est la géométrie des molécules ? » ; sous-§5.1 « Prévision de la géométrie » ; §5.2 « Moyens de représentation ». Ch. 18 « Classification périodique des éléments » §1 « Quelle est la structure de la Classification périodique ? » ; §2 « Qu'est-ce qu'une famille chimique ? » ; §3 « Comment utiliser la Classification ? » ; sous-§3.1 « Charge des ions monoatomiques » ; sous-§3.2 « Formation de liaison covalente ». Ch. 19 « Du microscopique au macroscopique : la mole » §1 « Qu'est-ce qu'une quantité de matière ? » ; sous-§1.1 « Changement d'échelle » ; sous-§1.2 « L'unité de quantité de matière » ; sous-§1.3 « La constante d'Avogadro N_A » ; §2 « Comment définir et calculer une masse et un volume molaires ? » ; sous-§2.1 « Masse molaire atomique » ; sous-§2.2 « Masse molaire moléculaire » ; sous-§2.3 « Masse molaire ionique » ; §3 « Comment déterminer une quantité de matière ? ». Ch. 21 « La transformation chimique » §1 « Qu'est-ce qu'une transformation chimique ? » ; sous-§1.1 « Description d'un</p>			
--	--	---	--	--	--

		<p>système chimique » ; sous-§1.2 « Évolution d'un système chimique » ; §2 « Comment modéliser une transformation chimique ? » ; sous-§2.1 « La réaction chimique » ; sous-§2.2 « L'équation chimique » ; sous-§2.3 « Ajustement des nombres stœchiométriques ».</p>			
--	--	--	--	--	--

Tableau 3Cd : Analyse didactique des manuels de physique-chimie français

Indicateurs génériques		Manuels de physique, chimie, physique-chimie français (1991-2014)			
1	Code	F28pc3	F29pc3	F30pc2	F31pc2
2	Informations générales : - titre - auteur - édition	<p>- Physique-Chimie - J.-M. Baby, Ch. Chevade, P. Fillon, O. Gaborieau, N. Verger, M. Vignoles, R. Moreau, Dir. H. Carré-Montréjaud - Nathan 2008, Programme 1999</p>	<p>- Physique-Chimie - F. Cambon, Ch. Daujean, F. Grimaud, M. Guérin, D. Joubert, J. Jourdan, C. Maurel, W. Vassiaux, Dir. J. Jourdan - Microméga, Hatier 2008, Programme 2007</p>	<p>- Physique-Chimie - X. Bataille, C. Bazot, E. Beauvineau, S. Berthelot, J.-L. Dormieux, S. Gentilhomme, C. Hoarau, D. Lambert, M. Le Floch, F. Minc, J.-M. Parisi, C. Ray, R. Simon, A. Wilm - Belin, Programme 2010</p>	<p>- Physique-Chimie - M. Barde, N. Barde, V. Besnard, M. Bigorre, É. Daini, M. Daini-d'Incan, M. de Flaugergues, M. Giacino, N. Lescure, B. Poudens, I. Tarride - Hachette, Programme 2010</p>
3	Position et contenu des sections concernées	<p>Partie « Chimie » Ch. 11 « Matériaux et électricité » §2 « Un modèle de l'atome » ; sous-§1 « La structure d'un atome » (le noyau ; les électrons) ; sous-</p>	<p>Partie 1 « La chimie, science de la transformation de la matière ». Ch. 2 « Courant électrique dans</p>	<p>Thème 1 « La santé » Ch. 2 « De l'atome à l'élément chimique » §1 « Un modèle de l'atome » ; sous-§1.1 « Constitution » ; sous-§1.2</p>	<p>Thème 1 « L'univers » Ch. 1 « Description de l'univers, du très petit au très grand » §1 « L'univers, du très petit au très grand ». Ch. 4 « L'atome » §1 « Quelle est la</p>

		<p>§2 « Un atome est électriquement neutre » ; sous-§3 « La classification périodique »</p>	<p>les métaux » §1 « Un modèle pour l'atome » ; §2 « Le classement des atomes » ; §3 « La nature du courant électrique dans un métal ». Ch. 3 « Courant électrique dans les solutions aqueuses » §1 « La conduction des solutions ioniques » ; §2 « Constitution et formule des ions » ; §3 « Identification des ions Cl^-, Cu^{2+}, Fe^{2+} et Fe^{3+} ». Ch. 7 « La synthèse des espèces chimiques » §3 « Synthétiser une espèce chimique n'existant pas dans la nature ».</p>	<p>« Représentation symbolique du noyau » ; sous-§1.3 « Charge électrique des particules de l'atome » ; sous-§1.4 « Neutralité de l'atome » ; sous-§1.5 « Le nuage électronique » (couches électroniques ; structure électronique) ; §2 « Les ions monoatomiques » ; sous-§2.1 « Définition » ; sous-§2.2 « Charge d'un ion » ; sous-§2.3 « Les composés ioniques » ; sous-§2.4 « La mise en évidence d'ions monoatomiques ». Thème 3 « L'univers » Ch. 16 « Les éléments chimiques » §1 « Caractéristiques de l'atome » ; §3 « La classification périodique » ; sous-§3.1 « Construction » ; sous-§3.2 « Notion de famille d'éléments chimiques » ; sous-§3.3 « Les familles d'éléments » ; §4 « Formation des ions monoatomiques » ; sous-§4.1 « Règle du duet et règle de l'octet » ; sous-§4.2 « Utilisation de la classification ».</p>	<p>structure de l'atome ? » ; sous-§1.1 « Constitution d'un atome » ; sous-§1.2 « Le noyau d'un atome » ; sous-§1.3 « Les électrons » ; sous-§1.4 « Masse d'un atome » ; sous-§1.5 « Dimensions des atomes et des noyaux » ; §2 « Comment se forment les ions ? » ; sous-§2.1 « Définitions » ; sous-§2.2 « Charge d'un ion » ; §3 « Qu'est-ce qu'un élément chimique ? » ; sous-§3.1 « Notation symbolique d'un atome » ; sous-§3.2 « Atomes et ions isotopes » ; sous-§3.3 « L'élément chimique ». Ch. 5 « Classification périodique des éléments » ; §1 « Comment se répartissent les électrons d'un atome ou d'un ion ? » ; sous-§1.1 « Couches électroniques » ; sous-§1.2 « Formule électronique » ; §2 « Quelles sont les structures électroniques les plus stables ? » ; sous-§2.1 « Les gaz nobles » ; sous-§2.2 « Règles du duet et de l'octet » ; sous-§2.3 « Charges des ions monoatomiques ».</p>
4	<p>Part occupée nb d'images / nb de pages</p>	<p>23 / 8 = 2,88</p>	<p>80 / 17 = 4,71</p>	<p>79 / 25 = 3,16</p>	<p>86 / 25 = 3,44</p>

5	Typologie iconique	13 modèles ; 1 tableau ; 5 photos/portraits ; 1 analogie ; 1 schéma ; 2 encadrés	31 modèles ; 2 tableaux ; 37 photos/portraits ; 2 schémas ; 2 figures ; 6 encadrés	27 modèles ; 23 tableaux ; 17 photos/portraits ; 3 diagrammes ; 1 analogie ; 1 figure ; 8 encadrés	20 modèles ; 24 tableaux ; 18 photos/portraits ; 3 diagrammes ; 3 schémas ; 3 figures ; 15 encadrés
	Indicateurs spécifiques	Manuels de physique, chimie, physique-chimie français (1991-2014)			
6	Paradigme épistémologique	Mod. de Thomson : le « pudding » aux électrons ; Mod. planétaire de Rutherford : le noyau contient presque toute la masse et des électrons tournent autour sur des trajectoires variables ; Mod. quantique de Bohr qui corrige l'échec du précédent que « les électrons perdent de l'énergie et devraient [...] finir par s'écraser sur le noyau » ; Mod. probabiliste : la trajectoire définie n'a pas de sens et seule la probabilité de présence des électrons peut être calculée, selon la mécanique ondulatoire (De Broglie, Born). Le « cortège électronique » (terme employé par les auteurs) désigne le nuage él. ; Recours, dans le manuel, au mod. de Dalton (boules de billard) à propos de la modélisation moléculaire.	Théorie des 4 éléments de Thalès et Empédocle ; Idées de Leucippe et Démocrite : la matière est constituée de corpuscules en perpétuel mouvement, indivisibles et éternels, les atomes ; Théorie atomique de Dalton ; Mod. de l'atome « fourré aux électrons » négatifs immobiles de Thomson ; Échec dans l'interprétation de l'expérience de Rutherford, qui élabore le mod. planétaire : noyau central positif et très dense, autour duquel tournent les électrons, mais très loin du noyau ; Structure lacunaire de l'atome ; Mod. probabiliste : la trajectoire définie n'a pas de sens et seule la probabilité de présence	Discontinuité de la matière ; Modèle planétaire (« simplifié d'une réalité plus complexe ») qui place les protons, neutrons et électrons dans les différentes zones de l'atome ; Mod. de Rutherford : « noyau central entouré de vide [sphère atomique], dans lequel des électrons sont en mouvement » et forment le « nuage électronique » ; <u>Remarque</u> : le terme de « nuage électronique » désigne ici le cortège électronique, au sens classique. Répartition des électrons en couches électroniques K, L... ; Règle de remplissage ; Recours, dans le manuel, au mod. de Dalton (boules de billard) à propos de la modélisation moléculaire ; Références à l'histoire de l'atome : les 4 éléments	Mod. de Démocrite : grains de matière indivisibles, insécables, pleins, éternels et immuables ; L'atome des philosophes grecs : association d'atomes par des points d'attache (crochets ou creux) ; Théorie des 4 éléments admise par Aristote contestant l'atomisme ; Mod. de Dalton : l'atome est une sphère pleine de matière. Son modèle explique les réactions chimiques ; Mod. de Thomson : l'atome est une sphère parsemée d'électrons en mouvement ; Mod. de Rutherford : noyau chargé positivement autour duquel les négatifs électrons sont en mouvement, leurs trajectoires désignant une sphère ; Mod. probabiliste : pas d'orbites précises, le noyau étant entouré d'un nuage électronique dans lequel seule la probabilité de présence des électrons peut être calculée ; Répartition des électrons en couches K, L... et nombre maximal par couche, établi par Pauli ; Règles du duet et de

			des électrons peut être calculée, selon le modèle actuel. Le « nuage électronique » désigne l'ensemble des électrons.	d'Empédocle, théorie défendue par Aristote ; mod. de Démocrite (grains de matière indivisibles, pleins, éternels, ronds ou crochus, lisses ou rugueux) ; mod. atomique de Dalton (sphères pleines qui peuvent se combiner) ; mod. de Thomson (pas décrit).	l'octet ; Recours, dans le manuel, au mod. de Dalton (boules de billard) à propos de la modélisation moléculaire.
--	--	--	---	--	---

7	<p>Schématisation privilégiée</p>	<p>Modèles : mod. colorés corpusculaires, eau, saccharose et leur mélange ; mod. moléculaire de l'eau ; mod. moléculaires des réactions ch. $C+O_2$, CH_4+O_2 et 'matériau organique'+O_2 ; modèle de Bohr de l'atome de béryllium ; modèles atomiques : non probabiliste et probabiliste ; électrons libres et courant électrique ; ions et courant dans les solutions conductrices ; les modèles atom. de Thomson, planétaire et probabiliste.</p> <p>Tableaux : classification simplifiée des éléments.</p> <p>Photos/Portraits : J. Thomson ; E. Rutherford ; électronicien dans son atelier ; D. Mendeleïev ; N. Bohr.</p> <p>Analogies : noyau = tête d'épingle, atome = stade.</p> <p>Schémas : tube cathodique d'un oscilloscope.</p> <p>Encadrés : rubrique « Infos Histoire » avec 4 textes : 1) « Le pudding aux électrons » ; 2) « Le modèle planétaire » ; 3) « Le modèle quantique » ; 4) « Le modèle probabiliste » ; rubrique « Infos Sciences » avec 2 textes : 1) « Des électrons dans l'oscilloscope et le téléviseur » ; 2) « La télévision couleur ».</p>	<p>Modèles : mod. moléculaires compacts colorés ; atome de carbone et molécule de O_2 comme bulles ; modèle atomique de Thomson ; modèle probabiliste ; modèle de Rutherford ; électrons libres en circuit ouvert et fermé ; modèle probabiliste et nuage électronique ; mod. des atomes de H et de Al ; dimensions du noyau et de l'atome et neutralité électrique illustrés par un modèle atomique (hybride) ; notation d'atome ; atome de sodium et composition du noyau ; molécules d'eau et solution eau-sucre ; aspect microscopique de NaCl ; solution aqueuse de NaCl ; atomes de Cl et de Na et leurs ions avec gain et perte d'un électron ; modèles d'ions ; double déplacement des ions dans les solutions ioniques ; notation d'ions ; mod. moléculaires de réactions ch. ; molécule de nylon ; molécules de l'arôme de banane et de</p>	<p>Modèles : sphère atomique, noyau et électrons ; noyau avec des protons et neutrons colorés ; modèle imagé de l'ion iodure ; cristal de NaCl ; maquettes compactes et éclatées de molécules ; formule développée de l'aspirine, de l'éthanal, de l'acide acétique, etc. ; mod. moléculaire éclaté de peroxyde d'H ; formule développée du cycle benzénique ; multi-présentation de la même molécule ; boîte de modèle moléculaire ; mod. moléculaires de l'acide urique, du glucose et du cholestérol ; masse molaire at. indiquée à propos des éléments Au et Cl du tb pér. ; $CaCl_2$ solide et solution aqueuse au plan microscopique ; conservation de la quantité de matière lors d'une dilution ; représentation de la molécule de taxol ; formules semi-développées des molécules d'acide salicylique et d'anhydrite acétique avec les liaisons rompues et créées lors d'une transformation ch. ; maquette éclatée colorée et formule brute de la molécule d'acide acétique ; mod. moléculaire</p>	<p>Modèles : mod. planétaires en 3D ; structure lacunaire ; mod. de Dalton 1805, de Thomson 1904 et de Rutherford 1911 ; interprétation de l'expérience de Rutherford ; structure du noyau atomique ; notation symbolique des atomes et des ions ; modèles moléculaires colorés compacts et éclatés ; mod. moléculaire de la réaction chimique.</p> <p>Tableaux : charge et masse du proton, neutron et électron ; masse approchée, Z et A des atomes d'H, de F et de Fe ; dimensions d'atome et de noyau ; noms et symboles de certains ions monoatomiques ; densité d'ions dans les eaux minérales ; noms, symboles et numéro Z d'éléments usuels ; tableau de Mendeleïev de 1869 ; des minéraux terrestres, leurs formules et les ions contenus ; numéro Z et formules électroniques des atomes de C, O, Al, Si, He, Ne, Ar ; num. Z et formules électroniques d'atomes et d'ions ; formules électroniques des éléments des trois premières périodes du tb pér. ; extrait du tb pér. ; formules électroniques des atomes Na, Mg, Al et de leurs cations ; formules électroniques des atomes N, O, F et de leurs anions ; charge des ions à partir de la classification pér. ; nombre d'atomes d'H, C, N, O dans certaines molécules ; symboles colorés d'atomes usuels ; constitution, formule et mod. moléculaire de</p>
---	--	---	---	---	--

		<p>l'éthylvanilline.</p> <p>Tableaux : nombre d'électrons, charge et formule de certains ions ; formules d'ions, détecteur et couleur du précipité.</p> <p>Photos/Portraits : chercheur manipulant le microscope électronique à effet tunnel ; atomes de cuivre, d'or et de platine au microscope élect. à effet tunnel ; portraits de Thalès, d'Aristote, de Leucippe, de Démocrite, de Dalton, de Mendeleïev ; cristaux de chlorure de sodium ; centrale nucléaire ; gestion de déchets nucléaires par des spécialistes ; portraits de savants depuis l'antiquité.</p> <p>Schémas : interprétation de l'expérience de Rutherford ; graphe de l'origine des sortes d'énergie en France.</p> <p>Figures : animation représentant Leucippe et Démocrite prononçant « Atomos » ; équivalences d'énergie : 7gr d'U = 1,4 tonne de C = 1 tonne de pétrole.</p> <p>Encadrés : « J'ai déjà des</p>	<p>de l'équation $CH_4 + O_2$; mod. moléculaires éclatés de constituants alimentaires ; agitation thermique des particules ; polymérisation d'acide lactique ; mod. moléculaires éclatés de styrène et de l'acide niflumique.</p> <p>Tableaux : formules d'ions et leur action biologique ; formules d'ions et couleurs en solution avec photos ; noms et symboles de quelques éléments ; cations et anions monoatomiques ; extrait du tb périodique ; formule développée, nom, propriétés et utilisation de I_2, H_2O, $HClO$, etc. ; symbole, nom et nb de liaisons formées par les atomes d'H, de C, d'O, d'N, etc. ; types de formules et leurs limites de la représentation des molécules ; noms, formules et exemples de quelques groupes caractéristique en chimie organique ; tb de proportionnalité entre n et N et entre n et m ; abondance d'éléments suivie par le numéro at. dans l'univers et dans la lithosphère ; extrait du tb pér. de Mendeleïev ; caractéristiques des constituants d'atome ; structure électronique</p>	<p>certaines molécules ; formule brute de molécules et mod. moléculaires éclatés et compacts ; masse par mol d'atomes des isotopes du Cu ; principaux groupes caractéristiques en chimie organique ; composition de l'air inspiré et expiré.</p> <p>Photos/portraits : spectres d'émission et d'absorption d'H, Na, Hg, He ; nébuleuses et origine céleste des atomes ; images de Démocrite, d'Aristote, de Dalton, de Thomson, de Rutherford et de Pauli ; les colonnes de Bryce Canyon [USA] contenant du C, O, Al et Si ; photo de l'écran du logiciel ChemSketch avec la molécule d'H_2 ; une cuillerée de charbon contenant 10^{23} atomes ; portrait d'A. Avogadro.</p> <p>Diagrammes : diagrammes circulaires de l'abondance d'H et d'He dans l'atmosphère du Soleil ; pourcentage massique d'éléments constituant la Terre.</p> <p>Schémas : échelle de dimensions d'objets physiques à partir du noyau atomique jusqu'aux galaxies ; cosmogénèse en termes de temps et de température.</p> <p>Figures : dispositifs expérimentaux d'observation de spectres ; dispositif de l'expérience de Rutherford.</p> <p>Encadrés : rubrique « Activités » : 1) « Description de l'Univers » ; 2) « L'atome, des philosophes grecs aux scientifiques du XX^e siècle » ; 3) « L'expérience décisive de Rutherford » ; 4) « La Classification</p>
--	--	---	---	---

			<p>connaissances ... sur la conservation des atomes lors d'une transformation chimique » ; Activité 1 « Quelle est l'origine de la théorie atomique ? » ; Activité 2 « Quelle est la structure de l'atome ? » ; Activité 4 « Pourquoi les métaux conduisent-ils le courant ? » ; « L'énergie nucléaire » ; « Histoire des sciences ».</p>	<p>d'éléments des trois premières lignes du tb pér. ; symbole, nom et applications pour les alcalins, les halogènes et les gaz nobles ; ions monoatomiques.</p> <p>Photos/Portraits : scintigraphie de la thyroïde et isotope de l'iode ; tissu osseux ; tests de flamme de divers éléments, Na, Li, Ca, etc. ; N. Bohr ; cristal macroscopique de la chlorure de sodium ; J. Perrin ; extrait d'un rapport d'analyses médicales ; la docteur travaille sur un fichier d'analyses de sang ; A. Avogadro ; scène du film « Les puissances de 10 » illustrant la taille de l'atome ; spectres d'émission et d'absorption d'H, de Hg, Na et Ne ; D. Mendeleïev ; classification pér. affichée sur un bus.</p> <p>Diagrammes : diagrammes circulaires de l'abondance de H et de He dans la photosphère et au cœur du Soleil ; abondance de certains éléments dans la croûte terrestre.</p> <p>Analogies : sphère atomique = stade de France, noyau = tête d'épingle.</p> <p>Figures : atome de Li selon l'animation « Entité</p>	<p>périodique des éléments » ; 5) « La visualisation des molécules » ; 6) « Dénombrer des grains de riz ou des atomes » ; rubrique « Savoir. Retenir l'essentiel » : 1) « L'Univers, du très petit au très grand » ; 2) « Connaître les constituants d'un atome » ; 3) « Définir un ion monoatomique » ; 4) « Définir un élément chimique » ; 5) « Décrire une molécule » ; 6) Représenter des formules développées et semi-développées » ; rubrique « Pour en savoir plus » : « La grande histoire de l'Univers : du Big Bang à la naissance de la vie... » ; rubrique « Savoir. Analyser, résoudre et rédiger » : 1) « Les composés ioniques » ; 2) « Déterminer la charge d'un ion ».</p>
--	--	--	---	--	--

				<p>Monoatomique ».</p> <p>Encadrés : rubrique « Activité expérimentale » : 1) « Atomes, ions et isotopes » ; 2) « Changement d'échelle » ; rubrique « Activité d'investigation » : « Mise en évidence d'ions dans les médicaments » ; rubrique « Compétence expérimentale » : « Analyse qualitative » ; rubrique « Activité découverte » : « Les représentations des molécules » ; rubrique « Activité documentaire » 1) « Analyse de sang » ; 2) « Les éléments chimiques de l'Univers » ; 3) « La naissance du tableau périodique ».</p>	
8	Niche écologique	Partie « Chimie » Introduction « Ce que nous savons... en chimie » §1 « Les corps purs et les mélanges » ; §4 « La		Thème 1 « La santé » Ch. 2 « De l'atome à l'élément chimique » §3 « L'élément chimique » ; sous-§3.1	Thème 1 « L'univers » Ch. 2 « La lumière des étoiles » §3 « Spectres d'émission et d'absorption d'une entité chimique ». Ch. 5

		<p>représentation d'une molécule » ; §5 « L'équation-bilan ». Ch. 9 « La combustion des matériaux organiques » §3 « La composition chimique ». Ch. 11 « Matériaux et électricité » §3 « Les conducteurs métalliques » ; sous-§1 « Les porteurs de charge dans la matière » ; sous-§2 « Le déplacement des ions dans les solutions » ; sous-§3 « Le modèle du courant dans les métaux ».</p>		<p>« Définition » ; sous-§3.2 « La classification périodique des éléments » ; sous-§3.3 « Les isotopes ». Ch. 3 « Les molécules » §1 « Les molécules » ; sous-§1.1 « Liaisons dans une molécule » (définition de la liaison ; nombre de liaisons ; liaison double) ; sous-§1.2 « Les représentations des molécules » (les différentes formules ; les modèles moléculaires) ; sous-§1.3 « Les isomères » ; §2 « Structure des molécules organiques » ; sous-§2.1 « Constitution d'une molécule organique » ; sous-§2.2 « Les groupes caractéristiques ». Ch. 4 « Quantités d'espèces chimiques » §1 « Quantité de matière et mole » ; §2 « Masse molaire » ; sous-§2.1 « Masse molaire atomique » ; sous-§2.2 « Masse molaire moléculaire » ; sous-§2.3 « Quantité de matière et masse ». Ch. 7 « Synthèse d'espèces chimiques » §2 « Réaction chimique » ; §3 « Équation d'une réaction chimique » ; sous-§3.1 « Équation chimique et nombres stœchiométriques » ; sous-</p>	<p>« Classification périodique des éléments » ; §3 « Quelle est la structure de la Classification périodique ? » ; sous-§3.1 « La Classification » ; sous-§3.2 « Quelques familles chimiques » ; §4 « Comment retrouver la charge des ions monoatomiques ? ». Thème 2 « La santé » Ch. 9 « Les molécules » §1 « Qu'est-ce qu'une molécule ? » ; sous-§1.1 « De l'atome à la molécule » ; sous-§1.2 « Modélisation des atomes et des molécules » ; sous-§1.3 « Les liaisons entre les atomes » ; §2 « Comment représenter une molécule ? » ; sous-§2.1 « Formules développée et semi-développée » ; sous-§2.2 « Notion d'isomérisation ». Ch. 10 « Quantité de matière » §1 « Qu'est-ce qu'une quantité de matière ? » ; sous-§1.1 « Un changement d'échelle est nécessaire » ; sous-§1.2 « La mole : unité de quantité de matière » ; sous-§1.3 « La constante d'Avogadro N_A » ; §2 « Comment définir et calculer une masse molaire ? » ; sous-§2.1 « Masse molaire atomique » ; sous-§2.2 « Masse molaire moléculaire » ; sous-§2.3 « Masse molaire ionique » ; §3 « Comment déterminer une quantité de matière ? » ; sous-§3.1 « Relation entre masse et quantité de matière » ; sous-§3.2 « Masse volumique et densité d'un corps » ; sous-§3.3 « Relations entre masse, volume et</p>
--	--	---	--	--	---

				<p>§3.2 « Ajustement des nombres stœchiométriques ». Thème 2 « La pratique du sport » Ch. 11 « La pression » §1 « L'agitation thermique ». Ch. 12 « Matériaux et molécules dans le sport » §1 « Les matériaux du sport » ; sous-§1.2 « Structure des matériaux » (les polymères) ; §2 « Les médicaments ». Thème 3 « L'univers » Ch. 13 « Présentation de l'univers » §2 « L'univers à l'échelle de l'atome ». Ch. 14 « La lumière des étoiles » §1 « Spectre de raie d'émission » sous-§1.2 « Spectre de la lumière émise par un gaz » ; sous-§1.4 « Spectre d'une entité chimique » ; §3 « Spectres de raies d'absorption ». Thème 3 « L'univers » Ch. 16 « Les éléments chimiques » §2 « Les éléments chimiques de l'univers » ; sous-§2.2 « Conservation des</p>	<p>quantité de matière... ». Thème 3 « La pratique du sport » Ch. 18 « La réaction chimique » §1 « Qu'est-ce qu'un système chimique ? » ; sous-§1.1 « Transformation physique, transformation chimique » ; sous-§1.2 « Description d'un système chimique » ; sous-§1.3 « État initial et état final d'un système chimique » ; §2 « Qu'est-ce qu'une équation chimique ? » ; sous-§2.1 « La réaction chimique » ; sous-§2.2 « L'équation chimique » ; sous-§2.3 « Écriture raisonnée d'une équation chimique ».</p>
--	--	--	--	--	--

Tableau 3Ce : Analyse didactique des manuels de physique-chimie français

Indicateurs généraux	Manuels de physique, chimie, physique-chimie français (1991-2014)	
1	Code	F32pc1S
2	Informations générales : - titre - auteur - édition	- Physique-Chimie - M. Barde, N. Barde, J.-Ph. Bellier, V. Besnard, M. Bgorre, É. Daini, M. Daini-d'Incan, M. de Flaugergues, M. Gacino, N. Lescure, V. Monnet, B. Poudens, I. Tarride, dir. T. Dulaurans et A. Durupthy - Hachette 2011
3	Position et contenu des sections concernées	Thème 1 « Observer. Couleurs et images » Ch. 3 « Sources de lumières colorées » §3 « Quelle est l'origine de l'émission de lumière par une source froide ? » ; sous-§3.1 « Le photon » ; sous-§3.2 « Quantification de l'énergie des atomes » ; sous-§3.3 « Émission de lumière ». Ch. 6 « Des atomes aux molécules » §1 « Comment se forment les molécules ? » ; sous-§1.1 « Stabilité chimique des gaz nobles » ; sous-§1.2 « La liaison covalente » ; sous-§1.3 « Le respect des règles du duet et de l'octet » ; sous-§1.4 « Représentation de Lewis d'une molécule ». Thème 2 « Comprendre. Lois et modèles » Ch. 7 « Cohésion de la matière » §1 « Quels sont les plus petits constituants de la matière ? » ; sous-§1.1 « Les particules élémentaires » ; sous-§1.2 « L'atome » ; §2 « Quelles sont les interactions fondamentales ? Quelles sont les dimensions des édifices de l'Univers ? ».
4	Part occupée nb d'images / nb de pages	124 / 24 = 5,17
5	Typologie iconique	55 modèles ; 10 tableaux ; 21 photos/portraits ; 9 diagrammes ; 3 analogies ; 8 schémas ; 4 figures ; 14 encadrés
Indicateurs spécifiques	Manuels de physique, chimie, physique-chimie français (1991-2014)	

6	Paradigme épistémologique	Mod. de Bohr : l'atome existe dans différents états correspondant chacun à un niveau d'énergie bien défini ; Recours, dans le manuel, au modèle de Dalton (implicite) à propos des modèles moléculaires (boules de billard) ; Règles du duet et de l'octet ; Discontinuité de la matière : les particules élémentaires ; Mod. de Rutherford : noyau et électrons ; Mod. de la mécanique ondulatoire (implicite) : densité de points autour des noyaux dans la molécule de I ₂ représentant la probabilité de présence des électrons.
---	----------------------------------	---

7	Schématisation privilégiée	<p>Modèles : chaîne carbonée d'une molécule colorée ; formules topologiques ; mod. moléculaires éclatés d'H₂ et O₂ avec indication de la distance interatomique ; formule de Lewis des molécules de maclurine, HF, CO₂ ; mod. tétraédrique du CH₄ ; maquette compacte de la molécule de CH₄ ; formules de Lewis et modèles spatiaux des molécules de NH₃, H₂O, HCHO, CO₂ ; maquettes éclatées des isomères du butène ; mod. générique de la molécule CH₂A=CH₂B illustrant l'isomérie Z/E ; divers modèles spatiaux de molécules en maquettes éclatées et colorées ; notation symbolique de l'atome générique ^AZX et exemple à propos des isotopes du C ; mod. bicolore du noyau atomique ; mod. de Rutherford avec composition du noyau ; noyau au repos et nucléons au repos ; équation de réaction nucléaire et calcul de l'énergie libérée ; modèle compact coloré du cristal NaCl ; mod. de la molécule de HCl ; moment dipolaire de molécule diatomique ; maquettes d'une molécule polaire, l'H₂O, et d'une autre apolaire, le CO₂ ; interactions dipôles-dipôles dans le I-Cl solide ; mod. probabiliste de la molécule de I₂ avec équipartition des nuages élect. ou non équipartition, donc apparition de moment polaire ; interactions Van der Waals ; liaison H dans l'éthanol ; maquette d'articulation des molécules de l'eau solide ; mod. générique de la liaison H ; évolution microscopique d'un corps pur en changement d'états ; mod. éclatés des molécules polaires de H₂O et de C₂H₅OH ; mod. éclatés des molécules apolaires de CCl₄ et de C₆H₁₂ ; hydratation d'un cation et d'un anion ; désintégration β⁻ d'un noyau radioactif ; formule topologique de la molécule d'ATP ; électrode de Cu ; fonctionnement de la pile Fe-Cu ; maquette du nanotube de carbone et du fullerène C₆₀ ; structure de feuillet de graphène ; silice cristalline et silice vitreuse.</p> <p>Tableaux : numéro Z et formule électronique de gaz nobles et des atomes d'H, C, N, O ; masse, charge et place des constituants de l'atome ; masse du neutron et de certains noyaux atomiques ; actions de la radioactivité et énergie en gray ; activité en becquerel/Kg d'objets quotidiens ; types de réactions spontanée et provoquée, particules associées, exemples et lois de conservation ; énergie libérée par type de réaction ; puissance en W de divers dispositifs dont la centrale nucléaire.</p> <p>Photos/Portraits : spectres d'émission de l'H, de Li et de Na ; 3 photos de Planck, Bohr, Einstein ; photo de l'écran du logiciel ChemSketch avec la molécule de CH₄ ; H. Becquerel, M. Curie, E. Rutherford, I. Joliot-Curie & F. Joliot-Curie ; séquence du film « Les Palmes » inspiré de la vie de M. et P. Curie ; compteur Geiger-Müller ; écran du logiciel Nucléus-Win ; radioactivité pour diagnostiquer : examen de scintigraphie ; radioactivité pour conserver : fraises traitées par irradiation ; cristaux de CaF₂ ; photos de W. Pauli, J. Chadwick, E. Fermi.</p> <p>Diagrammes : niveaux d'énergie des atomes d'H, de Li et de Hg ; émission d'un photon moyennant une transition énergétique ; 2 diagrammes de Ségré : Z en fonction du nb de neutrons N pour certaines décroissances radioactives ; énergie de liaison en fonction du nombre A des noyaux.</p> <p>Analogies : bras d'élèves articulés illustrant la liaison chimique ; inégalités des masses lors d'une réaction de fusion, illustrée avec une balance ; fullerène et ballon de football.</p> <p>Schémas : évolution historique de la notion de particule élémentaire ; dimensions d'objets physiques, de notre galaxie au nucléon ; réactions de fission, ²³⁵U, et de fusion, ⁴He ; noyaux stable et instables des isotopes de l'Al ; désintégration radioactive de type α ; évolution de l'électronégativité dans le tb pér.</p> <p>Figures : transfert d'électrons lors de l'électrisation par frottement ; loi de Coulomb ; centrale nucléaire.</p> <p>Encadrés : rubrique « Activités » : 1) « La lumière d'un atome » ; 2) Les liaisons des molécules colorées » ; 3) « Molécules en trois dimensions » ; 4) « Élémentaire... mon cher Rutherford ! Au cœur de la matière » ; 5) « Les interactions fondamentales » ; 6) « Histoire de la radioactivité » ; 7) « La radioactivité : un phénomène naturel » ; 8) « La fusion : l'énergie de demain ? » ; 9) « Quelques applications de la radioactivité » ; 10) « Le neutrino... une simple histoire de conservation d'énergie » ; 11) « Nos principales ressources énergétiques » ; 12) « Ces nanomatériaux qui nous entourent... » ; 13) « Deux prix Nobel pour le carbone ! » ; extrait de la pièce « Les Palmes » ; rubrique « Essentiel » : 1) « Les liaisons possibles d'un atome »</p>
---	----------------------------	--

8	Niche écologique	<p>Thème 1 « Observer. Couleurs et images » Ch. 6 « Des atomes aux molécules » §1 « Comment se forment les molécules ? » ; sous-§1.4 « Représentation de Lewis d'une molécule » ; §2 « Quelle est la géométrie des molécules ? » sous-§2.1 « Répulsion des doublets d'électrons » ; sous-§2.2 « Prédiction de la géométrie » ; §3 « Qu'est-ce que l'isomérie Z/E ? » ; sous-§3.1 « Définition » ; sous-§3.2 « Passage d'un isomère à l'autre ». Thème 2 « Comprendre. Lois et modèles » Ch. 8 « Radioactivité et réactions nucléaires » §1 « Qu'est-ce qu'une réaction nucléaire ? » ; sous-§1.1 « Réactions nucléaires spontanées » ; sous-§1.2 « Réactions nucléaires provoquées » ; §2 « Comment écrire une équation de réaction nucléaire ? » ; §3 « Quelle est l'énergie libérée par une réaction nucléaire ? ». Ch. 9 « Cohésion de la matière à l'état solide » §1 « Comment interpréter la cohésion des solides ioniques ? » ; sous-§1.1 « Électrisation par frottement » ; sous-§1.2 « Loi de Coulomb » ; sous-§1.3 « Le solide ionique » ; §2 « Qu'est-ce qu'une molécule polaire ? » ; sous-§2.1 « Polarité d'une liaison et moment dipolaire » ; sous-§2.2 « Électronégativité » ; sous-§2.3 « Polarité d'une molécule » ; §3 « Comment interpréter la cohésion des solides moléculaires ? » ; sous-§3.1 « Les solides moléculaires » ; sous-§3.2 « Les interactions de Van der Waals » ; sous-§3.3 « La liaison hydrogène » ; §4 « Que se passe-t-il lorsque l'on chauffe un solide ? ». Ch. 10 « Dissolution de composés ioniques ou moléculaires » §1 « Comment prévoir si un solvant est polaire ? » ; sous-§1.1 « Les solvants polaires » ; sous-§1.2 « Les solvants apolaires » ; §2 « Comment expliquer la dissolution d'un solide ionique dans un solvant polaire ? » ; sous-§2.1 « Dissolution d'un solide dans l'eau » ; sous-§2.2 « Équation d'une réaction de dissolution dans l'eau » ; sous-§2.3 « Dissolution d'un solide ionique dans un solvant polaire ». Thème 3 « Agir. Défis du XXI^e siècle » Ch. 17 « Piles et accumulateurs, une réponse au défi énergétique » ; sous-§2.2 « Fonctionnement d'une pile » ; sous-§2.3 « Polarité d'une pile et réactions aux électrodes ». Ch. 20 « Synthèse de nouveaux matériaux et de molécules biologiquement actives ».</p>
---	-------------------------	---

ANNEXE 5 : Analyse de contenu, à propos des entretiens

	Thèmes. Exemples de questions	Composantes	Exemples de citations par classe et série de 'bac'. (Des extraits différents sont séparés par « »)	Fréquence (%) (réf = référence ⁵⁶ ; éls = élèves ; ∅ = aucune statistique)
1	Objet microscopique Peut-on voir les atomes à l'œil nu ? À l'aide d'un microscope très puissant ?	Taille	4e : petite chose qui forme les choses plus grandes ils sont vraiment tout petits, tous petits, tout petits et c'est difficile à voir et à attraper 2de : trop petit pour être vu à l'œil nu TS : microscopique la plus petite particule qui définit un élément TL : On ne peut pas en attraper qu'un seul c'est trop petit	45 réf toutes qualitatives (« petit », « minuscule » et des synonymes), 100 %
		Microscope	4e : extrêmement petit, visible à un microscope très puissant 2de : trop petit, pour le visionner il faut un microscope plus perfectionné que le microscope de biologie TS : un microscope à effet tunnel qui permettrait de voir jusqu'à l'atome TL : trop petit, ça fait un truc nul, on le voit qu'au microscope de la biologie	29 réf dont 18 (62,1 %) « avec un microscope très fin », 6 au « microscope de Biologie » et 5 « invisible ni même au microscope »
2	Atome / Molécule / Cellule Quel est le plus petit ? Et, le plus gros ? L'atome relève-t-il du vivant ? Dans les cellules y-a-t-il des atomes ?	Rapport Atome / Molécule	4e : plusieurs atomes ça forme des... une molécule la cellule c'est la plus grande, après il y a l'atome, après y a la molécule 2de : une molécule c'est constitué de différents d'atomes, plusieurs atomes les molécules sont, en fait c'est un regroupement d'atomes, ou je sais plus si c'est les atomes qui sont un regroupement de molécules TL : dans l'atome peut-être il y a des molécules dans les cellules, y a des molécules, dans les molécules y a des atomes	37 réf dont 13 (35,1 %), notamment issues d'éls de 4 ^e , liées à la conception que l'atome est plutôt constitué à partir de molécules
		Matière inerte / vivante	4e : ça c'est une cellule, ça c'est une cellule et les deux collées ça fait un atome vivant, il y en a qui meurent, y en a qui reviennent après pas vivants la peau c'est pas un atome, non c'est pas possible ! Ah non, je ne pense pas que se soit un atome, ça c'est des cellules 2de : la membrane de l'atome le contour et le noyau TS : les atomes c'est ce qui constitue la matière donc c'est ce qui constitue la vie TL : dans les cellules, y a des molécules, dans les molécules y a des atomes	22 réf dont 11 (50 %) considèrent que l'atome relève du vivant ou que la cellule ne renferme pas d'atomes ou, encore, qu'elle est plus petite

⁵⁶ Par « référence », nous entendons chaque phrase, partie de phrase ou expression d'élève qui signale une unité de sens monosémique, pas nécessairement correcte, rattachée à la composante en question. Par exemple, nous extrayons, de la citation « la cellule c'est la plus grande, après il y a l'atome, après y a la molécule », la référence « après il y a l'atome, après il y a la molécule », concernant la composante « Rapport Atome / Molécule ».

3	Propriétés macroscopiques Un atome de carbone est-il noir ? Peut-on dire que chacun des atomes dans un bloc de fer est-il solide ? Ceux dans l'eau, liquides ? Un atome dans la neige est-il froid ? Est-ce qu'il existe des atomes de sucre ? De bois ?	Couleur	<p>4e : un seul atome de carbone n'est pas noir. C'est quand ils s'assemblent qu'ils deviennent noirs y a des atomes noirs, blancs, rouges</p> <p>2de : l'atome de carbone noir, celui d'or doré pas de couleurs, c'est une symbolisation, on le montre noir, mais non</p> <p>TS : la couleur c'est ce qu'il y a sur la matière, et que la matière n'est composée que d'atomes, on pourrait supposer qu'ils ont des couleurs non, ce sont les hommes qui ont donné des couleurs pour pouvoir les reconnaître</p> <p>TL : je pense qu'un atome c'est incolore et inodore</p>	47 réf dont 21 ou 44,7 % (soit le 45 % des éls de 4e et le 47 % des lycéens) croient à l'atome coloré
		État physique	<p>4e : gazeux. Parce qu'on les voit pas. On ne peut pas les porter. Mais, les atomes aluminium peut-être solides, parce que papier d'aluminium tu le portes de tout... non, je pense qu'ils sont solides... ils sont les trois peut être les atomes</p> <p>2de : gazeux les atomes dans un gaz. Solides dans les métaux</p> <p>TS : un atome tout seul, on le trouverait sous forme ionique, donc très souvent, liquide</p>	22 réf dont 18 (81,8 %) attribuent un état physique à l'atome. 5 éls (dont 4 parmi les 18) décrivent suffisamment le modèle microscopique des trois états de la matière
		Température	<p>4e : les atomes peuvent être chauds, froids</p> <p>2de : lors de la formation de la neige, les atomes deviennent froids, ils sont refroidis</p> <p>TS : en effet, tout dépend des conditions de température et de pression</p> <p>TL : ils sont pas froids, les atomes ils ont pas de température, quand on les touche, c'est une illusion</p>	∅ effectif de références faible
		Des atomes pour tout matériau	<p>4e : il existe des atomes pour tout : ceux du sucre et du sel sont solides là, c'est du plastique, c'est de l'atome de plastique</p> <p>2de : atome de bois, atome de sucre, non il n'existe pas, mais atome de fer, ça oui la table, elle est constituée d'atomes de bois</p> <p>TS : y a pas d'atomes de bois, mais un assemblage d'atomes qui forment le bois</p>	20 réf dont 11 (55 %) admettent des atomes de toute matière (bois, sable, plastique, etc.) et / ou ils nient les atomes d'éléments chimiques (autres que le fer)

4	Formation des atomes	Formation première	<p>4e : les atomes se créent tout seuls, fin, après c'est devenu des plantes, après c'est des animaux et... après c'est devenu... moi je crois en Dieu un peu plus récent que le Big bang créés dans les molécules et celles-ci dans l'air, dans la nature</p> <p>2de : créés dans l'espace, au moment du Big bang au tout début du monde vivant, avec l'apparition de la vie sur Terre</p> <p>TS : c'est le Big bang où y a tout, d'où tout viendrait. Les atomes sont apparus avant la vie et avant la formation de la Terre je pense à l'instant t_0 de la création de l'Univers</p> <p>TL : créés en même temps que la Terre, on va dire que y a tout qui s'est créé d'un coup</p>	32 réf dont 13 (40,6 %) mentionnent soit le créationnisme, soit une formation synchronisée à la formation de la Terre ou de la vie
	<p>Les atomes, où est-ce qu'ils sont formés ? Quand ?</p> <p>En ce moment, se créent des atomes ?</p> <p>Si oui, ça arrive où exactement ?</p>	Formation permanente	<p>4e : actuellement, oui, se créent des atomes sur Terre ils se créent en permanence dans l'espace actuellement, ils ne se créent plus, c'est toujours les mêmes</p> <p>2de : on peut en créer actuellement, l'homme peut en créer actuellement, ils se créent dans l'air</p> <p>TS : moi, je pense pas. Je pense qu'il y a un nombre terminé de protons et de neutrons, et qu'après y a des interactions entre eux, mais que y en a pas des nouveaux pour moi le système solaire n'est pas indispensable à la présence de matière</p> <p>TL : aujourd'hui ne se créent plus les atomes, car « rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme »</p>	20 réf dont 11 (55 %) rejetant la formation d'atomes permanente. Parmi les 9 autres références, les 4 indiquent comme lieu de création l'air ou la Terre
5	État cinétique	Mouvement des atomes dans des corps gazeux, solides et liquides	<p>4e : ils bougent dans toutes les directions, jusqu'à ce qu'ils aillent se cogner contre quelque chose et rebondir si le ballon d'hélium monte, ils bougent, ils poussent vers le haut. Si le ballon stagne, ils bougent plus ou ils vont dans tous les côtés</p> <p>2de : ils bougent et font des cercles</p> <p>TS : plus un atome est chaud, plus il bouge vite. Les atomes d'une bague d'or eux-mêmes sont immobiles, mais dans un gaz ils bougent</p>	28 réf dont 16 (57,1 %) décrivent, dans les gaz, un mouvement ordonné qui pousse le ballon et, dans les solides, aucune agitation, les atomes étant, pour ces éls, au repos
6	Localisation	Présence des atomes dans différents matériaux (bois, écran, habits, peau, cheveux...)	<p>4e : dans l'air, l'homme en crée en respirant dans l'air, les gaz, l'eau, l'oxygène. Non pas au Soleil ni dans le sol, ni dans le bois les atomes existent plutôt dans l'atmosphère et tout ce qui est naturel</p> <p>2de : de partout, les atomes ça constitue tout en fait, dans l'air, sur nous, dans l'ordi partout, les humains, nous on est constitués d'atomes. Puis la table, la chaise, mais nos cheveux sont faits de cellules</p> <p>TS : l'atome, c'est la base de la matière, il est de partout, dans l'air, autour de nous, sur nous, nos habits</p> <p>TL : c'est partout, dans l'atmosphère, dans la table, mais pas dans l'écran. Dans les cheveux c'est un mélange des deux, atomes et cellules</p>	40 réf dont 21 (52,5 %) plaident l'omniprésence des atomes (« partout, dans l'air, etc. »), mais pas dans la peau, ni dans les cheveux, ni dans l'écran

7	<p>Énergie dans l'atome. Bombe atomique.</p> <p>Est-ce que l'atome contient de l'énergie ?</p> <p>Ça veut dire quoi « atomique » dans le terme « bombe atomique » ?</p> <p>Hiroshima et Nagasaki, qu'est-ce que cela t'évoque ?</p> <p>C'est quoi exactement une centrale nucléaire ?</p>	Énergie contenue dans l'atome.	<p>4e : euh, ça je sais p... je ne pense pas parce qu'on... quand je pense en biologie, un peu biologie, il faut quand même des forces et l'atome je pense pas qu'il ait des forces, il a pas d'énergie</p> <p>2de : il a de l'énergie au centre, positivement, et il a de l'énergie autour, négativement oui, peut-être que l'atome contient de l'énergie</p> <p>TS : l'énergie de l'atome existe dans le noyau et dans les électrons aussi</p>	<p>∅</p> <p>9 réf dont 3 erronées : 2 éls en TS évoquent seulement l'énergie des électrons</p>
		Bombe atomique	<p>4e : ça explose, tout le monde meurt quoi... on dit bombe atomique parce que y a des atomes qui peuvent nous asphyxier nous devenir...avoir plus d'air elle projette des atomes enfin c'est des atomes qui sont comprimés et au moment où ça explose bah ça... c'est les atomes qui se libèrent et...</p> <p>2de : les lieux où ont été larguées deux bombes atomiques, à Nagasaki et à Hiroshima</p> <p>TS : Hiroshima, ça m'évoque une bombe nucléaire</p> <p>TL : Nagasaki, c'est la ville où y a eu un des deux bombardements atomiques en 1945</p>	<p>19 réf dont 9 (47,4 %) relatives à une tautologie (« a des atomes dedans ») ou à la conception d'armes chimiques (« des gaz dangereux, du poison »)</p>
		Centrale nucléaire, Radioactivité	<p>4e : la centrale est une usine où on fabrique de l'énergie à partir d'un atome, d'une molécule y a plein de gaz qui sort des... La centrale nucléaire ça sert à fabriquer de l'électricité. Ils transforment des atomes, enfin peut être, le nucléaire en électricité</p> <p>2de : le noyau de l'atome c'est nucléaire, il me semble, faut pas toucher au noyau, on touche jamais au noyau</p> <p>TS : l'uranium est un atome nuisible l'uranium, ça c'est en radioactivité, ça me fait penser à Marie Curie un atome en état fondamental ne contient pas d'énergie</p> <p>TL : Tchernobyl, c'est quand une centrale nucléaire a explosé</p>	<p>15 réf dont 4 (26,7 %) ne lient pas la centrale nucléaire avec la production de l'électricité</p>
PARTIE LYCÉENNE DES ENTRETIENS				
	Thèmes. Exemples de questions	Composantes	Exemples de citations par classe et série de 'bac'. (Des extraits différents sont séparés par « »)	Fréquence

8	<p>Électricité. Magnétisme. Forces</p> <p>Est-ce que l'atome a de l'électricité ?</p> <p>Est-ce qu'il a un pouvoir magnétique ?</p> <p>Y-a-t-il des forces dans l'atome ?</p>	<p>Électricité Magnétisme Forces</p>	<p>2de : je pense que les protons sont magnétiques parce qu'ils sont attirés parce que les électrons sont attirés par le noyau, sinon ils partiraient</p> <p>TS : électricité : sous forme ionique oui, mais sinon si l'atome est stable il n'a pas de courant électrique le magnétisme, je sais pas trop, c'est en fonction des électrons dont il a besoin, s'il doit s'en débarrasser, enfin les partager, ou plutôt en prendre à quelqu'un, à un autre atome, à ce moment-là, on pourra savoir s'il est positif ou négatif les électrons sont attirés par le noyau, et le noyau va attirer les électrons, mais y a l'interaction forte qui se fait, en un chemin microscopique, qui va les repousser et faire rester en dehors</p> <p>TL : y a différentes sortes d'atomes, les cations et les anions</p>	<p>∅</p> <p>L'effectif des lycéens étant faible (15 élèves, dont au moins le tiers s'abstient de répondre), nous n'effectuons pas de traitement quantitatif.</p>
9	<p>Cortège électronique</p> <p>Peux-tu dessiner l'atome de Li, avec ses trois électrons ? Et, celui d'O qui en a huit ?</p> <p>C'est quoi le nuage électronique ?</p> <p>Nuage électronique et couches, des synonymes ?</p>	<p>Couches électroniques. Nuage électronique</p>	<p>2de : les électrons sont sur plusieurs couches la couche externe empêche les électrons de sortir. Comme une membrane, parce que les électrons ils sont en mouvements et donc ça permet de pas s'enfuir les électrons, ils circulent librement autour du noyau, y a pas de... trajectoire précise, c'est comme un nuage</p> <p>TS : on dit nuage électronique parce que c'est des positions aléatoires que les électrons ils prennent, on peut savoir à quelle distance ils vont être mais pas où dans l'espace les électrons dans l'atome d'oxygène se déplacent sur plusieurs couches. On les classe avec des lettres, K, L, M, N, c'est un nuage électronique, c'est les couches d'électrons autour d'un noyau nuage électronique c'est justement les différentes couches, couche et nuage, oui, se sont des synonymes</p>	<p>∅</p> <p>L'effectif des lycéens étant faible (15 élèves, dont au moins le tiers s'abstient de répondre), nous n'effectuons pas de traitement quantitatif.</p>

10	<p>Évocations</p> <p>Qu'est-ce que t'évoque... ?</p>	<p>La Villette Démocrite Lavoisier Dalton Bohr Rutherford Louis de Broglie</p>	<p>2de : La Villette, oui c'est un parc Lavoisier : a découvert les constituants de l'air. Dalton : a donné une définition de l'atome. Démocrite : celui qui a donné sa théorie sur... qui pense qu'il y a quelque chose qui existe dans la...</p> <p>TS : Démocrite a sorti le mot atome, et ça veut dire insécable, atome en grec. Dalton, Lavoisier, non, je vois pas du tout Lavoisier : un grand chimiste qui a dit « rien en se perd, rien ne se crée, tout se transforme » Niels Bohr ? Ça me dit quelque chose, mais je saurai pas vous dire. Rutherford, non. Louis de Broglie ? Le nom me dit quelque chose mais je ne pourrais pas vous dire</p> <p>TL : Démocrite : c'est un philosophe, il pensait qu'il y avait des atomes d'eau, des atomes de terre, des atomes d'air et des atomes de feu, et que selon comment ils se combinaient ça créait des choses</p>	
----	---	--	---	--

ANNEXE 6 : Décision de l'Institut Pédagogique de Grèce de non autorisation
d'enregistrement audiovisuel des élèves enquêtés



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ
ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ

ΕΝΙΑΙΟΣ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ
Π/ΘΜΙΑΣ ΚΑΙ Δ/ΘΜΙΑΣ ΕΚΠ/ΣΗΣ
Δ/ΝΣΗ ΣΠΟΥΔΩΝ Δ/ΘΜΙΑΣ ΕΚΠ/ΣΗΣ
ΤΜΗΜΑ Α'

Ταχ. Δ/ση: Ανδρέα Παπανδρέου 37
Τ.Κ. – Πόλη: 151 80 Μαρούσι
Ιστοσελίδα:
Πληροφορίες: Αν. Πασχαλίδου
Τηλέφωνο: 210-3442238

ΠΡΟΣ :

Να διατηρηθεί μέχρι

Βαθμός Ασφαλείας

Μαρούσι 29-12-2010
Αριθ. Πρωτ 165145/Γ2
Βαθ. Προτερ.

- κ. Κων/νο Γριβόπουλο
Επ. Δεληγιώργη 49
30200 Μεσολόγγι.
- Διεύθυνση Δ/θμιας Εκπ/σης
Αιτωλοακαρνανίας.

ΘΕΜΑ : Έγκριση διεξαγωγής έρευνας

Απαντώντας σε σχετική αίτηση και μετά τη γνωμοδότηση του Τμήματος Ερευνών, Τεκμηρίωσης και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου (πράξη 12/2010) σας γνωρίζουμε ότι **επιτρέπουμε** τη διεξαγωγή έρευνας από τον **κ. Κων/νο Γριβόπουλο** κατά τη διάρκεια του σχολικού έτους 2010-2011 με τις εξής προϋποθέσεις: α) Πριν από την έναρξη της έρευνας να γίνει ενημέρωση των Διευθυντών και του συλλόγου διδασκόντων των σχολικών μονάδων Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, οι οποίες θα συμμετάσχουν στην έρευνα, σχετικά με τη διαδικασία διεξαγωγής της. β) Η έρευνα να γίνει με τη σύμφωνη γνώμη τους. γ) Οι μαθητές να συμπληρώσουν τα ερωτηματολόγια και να συμμετάσχουν στις συνεντεύξεις **ανώνυμα** και εφόσον το επιθυμούν. δ) Η έρευνα να πραγματοποιηθεί χωρίς **οπτικοακουστικά μέσα καταγραφής** ε) Οι μαθητές θα απασχοληθούν έως δύο (02) διδακτικές ώρες.

Επισημαίνεται ότι η συμμετοχή στην έρευνα δεν είναι υποχρεωτική.

Η έρευνα έχει θέμα: «Συγκριτική εξέλιξη του διδακτικού μετασχηματισμού των ατομικών μοντέλων στην Ελλάδα και στη Γαλλία

από το 1945 έως σήμερα. Αντιλήψεις μαθητών των περιοχών Αιτωλοακαρνανίας (Ελλάδα) και Προβηγγίας (Γαλλία)»

και απευθύνεται στους μαθητές των σχολικών μονάδων Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης του συνημμένου πίνακα.

Για την πραγματοποίηση της έρευνας θα πρέπει :

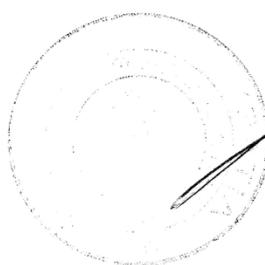
1. Οι επισκέψεις στα σχολεία να γίνουν μετά από συνεννόηση με το Διευθυντή τους και σε συνεργασία με το σύλλογο καθηγητών, ώστε να μην παρεμποδίζεται η ομαλή διεξαγωγή των μαθημάτων.

2. Τα αποτελέσματα της έρευνας μετά την ολοκλήρωσή της να κοινοποιηθούν στο Παιδαγωγικό Ινστιτούτο και στο Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας (Αδριανού 91, 10596 Αθήνα).

3. Ο Διευθυντής της Διεύθυνσης Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης Αιτωλοακαρνανίας να ενημερώσει σχετικά τους Διευθυντές των σχολείων ευθύνης του, ώστε να διευκολύνουν τον ενδιαφερόμενο στην πραγματοποίηση της έρευνας αυτής σύμφωνα με τα παραπάνω.

Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ

ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ ΜΕΡΚΟΥΡΗΣ



Πιστό Αντίγραφο
Από τα Αρχεία της Διευθυντικής
Υπηρεσίας & Πρωτοκόλλου

ΚΟΤΖΑΜΠΙΑΣΑΚΗΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ

Συν. 1 σελίδα

Εσωτ. Διανομή

Δ/ση Σπουδών Δ.Ε. Τμήμα Α'

ANNEXE 7 : Effectifs de lycéens dans l'enseignement général de la Région d'Étolie-Acarnanie (Grèce), au cours de l'année scolaire 2010-11

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Δ.Ε ΝΟΜΟΥ ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΙΚΟ ΕΤΟΣ 2010 - 2011		Α' ΤΑΞΗ				Β' ΤΑΞΗ				ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ						Γ' ΤΑΞΗ				ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ						ΣΥΝΟΛΟ	
										ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ		ΘΕΤΙΚΗ		ΤΕΧΝΟΛ.						ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ		ΘΕΤΙΚΗ		ΤΕΧΝΟΛ.			
Α/Α	ΓΕΝΙΚΑ ΛΥΚΕΙΑ	ΜΑΘ.	Α	Κ	ΤΜ.	ΜΑΘ	Α	Κ	ΤΜ.	ΜΑΘ	ΤΜ.	ΜΑΘ	ΤΜ	ΜΑΘ	ΤΜ	ΜΑΘ.	Α	Κ	ΤΜ.	ΜΑΘ	ΤΜ.	ΜΑΘ	ΤΜ	ΜΑΘ	ΤΜ	ΜΑΘ	ΤΜ
1	ΕΥΗΝΟΧΩΡΙΟΥ	41	18	23	2	45	18	27	2	20	1	6	1	19	1	24	12	12	2	18	1			6	1	110	6
2	1ο ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	73	33	40	3	80	37	43	4	26	1	20	1	34	2	64	27	37	3	26	2	11	1	27	2	217	10
3	2ο ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	83	45	37	4	53	31	22	3	21	1	20	1	12	1	65	28	37	3	27	2	6	1	32	2	205	10
4	Δ.Τ.Π.Μ.Γ.ΑΓΡΙΝΙΟΥ	41	13	28	2	45	25	20	2	22	1	7	1	16	1	29	14	15	2	17	1	4	1	8	1	115	6
ΣΥΝΟΛΟ		238			11	223			11							182			10							647	32

1ο ΓΡΑΦΕΙΟ Δ.Ε ΝΟΜΟΥ ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΙΚΟ ΕΤΟΣ 2010 - 2011		Α' ΤΑΞΗ				Β' ΤΑΞΗ				ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ						Γ' ΤΑΞΗ				ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ						ΣΥΝΟΛΟ		
										ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ		ΘΕΤΙΚΗ		ΤΕΧΝΟΛ.						ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ		ΘΕΤΙΚΗ		ΤΕΧΝΟΛ.				
Α/Α	ΓΕΝΙΚΑ ΛΥΚΕΙΑ	ΜΑΘ.	Α	Κ	ΤΜ.	ΜΑΘ	Α	Κ	ΤΜ.	ΜΑΘ	ΤΜ.	ΜΑΘ	ΤΜ	ΜΑΘ	ΤΜ	ΜΑΘ.	Α	Κ	ΤΜ.	ΜΑΘ	ΤΜ.	ΜΑΘ	ΤΜ	ΜΑΘ	ΤΜ	ΜΑΘ	ΤΜ	
1	1ο ΑΓΡΙΝΙΟΥ	177	91	86	6	144	82	82	5	65	3	42	2	37	2	176	71	105	7	62	3	25	1	89	4	497	18	
2	2ο ΑΓΡΙΝΙΟΥ	163	81	82	6	145	65	80	5	44	2	53	2	48	2	143	73	70	5	59	3	32	2	52	3	451	16	
3	3ο ΑΓΡΙΝΙΟΥ	152	88	84	6	160	70	90	6	76	3	39	2	45	3	148	71	77	6	70	3	27	2	51	3	460	18	
4	4ο ΑΓΡΙΝΙΟΥ	152	72	80	6	182	92	90	8	78	3	45	3	59	2	140	54	86	6	62	3	24	1	54	3	474	20	
5	5ο ΑΓΡΙΝΙΟΥ	77	34	43	4	75	38	37	4	52	3	-	-	23	1	70	26	44	4	53	3	-	-	17	1	222	12	
6	ΘΕΡΜΟΥ	41	23	18	2	38	15	23	2	20	1	6	1	11	1	29	16	13	2	11	1	7	1	12	1	108	6	
7	ΠΑΝΑΙΤΩΛΙΟΥ	30	18	12	2	27	11	16	2	11	1	-	-	16	1	25	8	17	1	11	1	4	1	10	1	82	5	
8	ΠΑΡΑΒΟΛΑΣ	52	27	25	3	26	8	18	1	17	1	-	-	9	1	36	12	24	2	29	1	3	1	4	1	114	6	
ΣΥΝΟΛΟ		844			35	797			33	363	17	185	10	248	13	767				33	357	18	122	9	289	17	2408	101

2ο ΓΡΑΦΕΙΟ Δ.Ε ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΙΚΟ ΕΤΟΣ 2010 - 2011		Α' ΤΑΞΗ				Β' ΤΑΞΗ				ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ						Γ' ΤΑΞΗ				ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ						ΣΥΝΟΛΟ	
										ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ		ΘΕΤΙΚΗ		ΤΕΧΝΟΛ.						ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ		ΘΕΤΙΚΗ		ΤΕΧΝΟΛ.			
		Α/Α	ΓΕΝΙΚΑ ΛΥΚΕΙΑ	ΜΑΘ.	Α	Κ	ΤΜ.	ΜΑΘ	Α	Κ	ΤΜ.	ΜΑΘ	ΤΜ.	ΜΑΘ	ΤΜ	ΜΑΘ	ΤΜ	ΜΑΘ.	Α	Κ	ΤΜ.	ΜΑΘ	ΤΜ.	ΜΑΘ	ΤΜ	ΜΑΘ	ΤΜ
1	ΑΜΦΙΛΟΧΙΑΣ	88	44	44	4	86	40	46	4	42	2	9	1	36	2	64	24	40	3	22	2	6	1	36	2	238	11
2	ΒΟΝΙΤΣΑΣ	51	21	30	2	45	13	32	2	28	2	6	1	11	1	58	17	41	3	30	2	2	1	26	2	154	7
3	ΕΜΠΕΣΟΥ	29	9	20	3	26	9	17	2	15	1	1	1	10	1	25	9	16	1	10	1			15	1	80	6
4	ΚΑΤΟΥΝΑΣ	53	33	20	3	28	14	14	2	16	1	1	1	11	1	39	20	19	2	24	2	1	1	14	1	120	7
5	ΜΥΤΙΚΑ	25	17	8	1	32	11	21	1	15	1	3	1	14	1	40	20	20	1	22	1	5	1	13	1	97	3
6	Λ.Τ. ΠΑΛΑΙΟΥ	18	12	6	1	26	14	12	2	8	1			18	1	18	6	12	1	5	1	3	1	10	1	62	4
7	Λ.Τ. ΦΥΤΕΙΩΝ	9	4	5	1	12	3	9	1	7	1	2	1	3	1	11	6	5	1	3	1	5	1	3	1	32	3
ΣΥΝΟΛΟ		273			15	255			14						255			12								783	41

3ο ΓΡΑΦΕΙΟ Δ.Ε ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΙΚΟ ΕΤΟΣ 2010 - 2011		Α' ΤΑΞΗ				Β' ΤΑΞΗ				ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ						Γ' ΤΑΞΗ				ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ						ΣΥΝΟΛΟ	
										ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ		ΘΕΤΙΚΗ		ΤΕΧΝΟΛ.						ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ		ΘΕΤΙΚΗ		ΤΕΧΝΟΛ.			
		Α/Α	ΓΕΝΙΚΑ ΛΥΚΕΙΑ	ΜΑΘ.	Α	Κ	ΤΜ.	ΜΑΘ	Α	Κ	ΤΜ.	ΜΑΘ	ΤΜ.	ΜΑΘ	ΤΜ	ΜΑΘ	ΤΜ	ΜΑΘ.	Α	Κ	ΤΜ.	ΜΑΘ	ΤΜ.	ΜΑΘ	ΤΜ	ΜΑΘ	ΤΜ
1	ΑΙΤΩΛΙΚΟΥ*	67	30	37	3	65	36	29	3	16	1	9	1	40	2	48	17	31	3	20	1	7	1	21	1	180	9
2	ΑΣΤΑΚΟΥ	47	24	23	2	49	26	23	2	31	2	10	1	8	1	49	17	32	2	36	2			13	1	145	6
3	ΝΕΟΧΩΡΙΟΥ	71	23	48	3	69	32	37	3	29	1	6	1	35	2	54	12	42	3	28	2	4	1	22	1	194	9
4	1ο ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ	101	47	54	4	103	47	56	5	27	2	36	2	40	2	92	42	50	4	30	2	24	2	38	2	296	13
5	2ο ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ	94	42	52	4	77	29	48	4	23	1	26	2	28	2	71	32	39	3	24	1	10	1	37	2	242	11
6	ΓΑΒΑΛΟΥΣ	35	17	18	2	38	14	24	2	25	1	0	0	13	1	29	14	15	2	17	1			12	1	102	6
7	ΜΑΤΑΡΑΓΚΑΣ	22	6	16	1	26	7	19	2	15	1	3	*1	8	1	13	7	6	1	5	1	1	**1	7	1	61	4
ΣΥΝΟΛΟ		437			19	427			21						356			18								1220	58

Source : Direction de l'enseignement secondaire d'Étolie-Acaranie

ANNEXE 8 : Démonstration de la condition des courbes quasi-J

Une courbe quasi-J a la forme de la courbe ABC (cf. fig. 4), entre les modalités mc, nc et pc (« moins caractéristique », « non choisi », « plus caractéristique », respectivement). C'est-à-dire, qu'elle remplisse la condition : $\theta_1 > \theta_2$, ($0 < \theta_i < 90^\circ$, $i = 1, 2$).

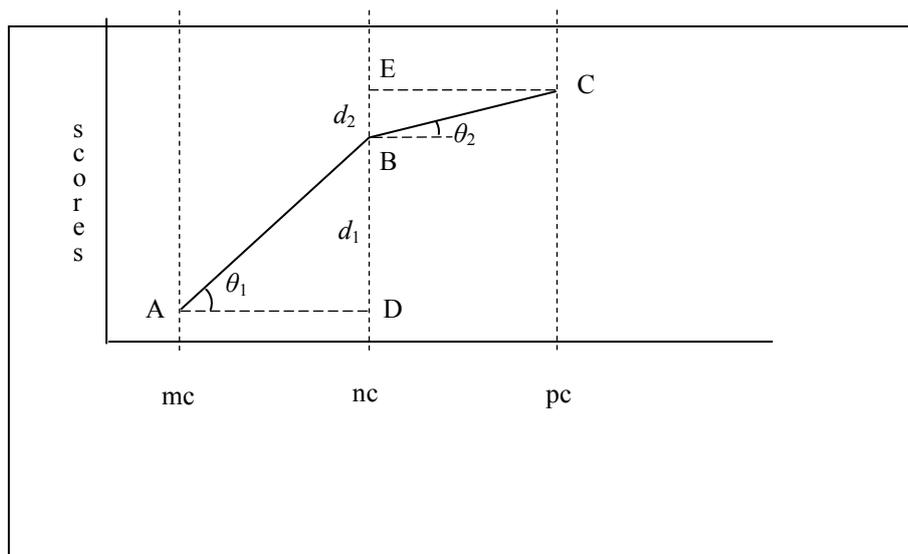


Figure 4 : La courbe quasi-J.

Nous allons montrer que si $d_1 > d_2$ ($d_1 = BD$; $d_2 = BE$), alors $\theta_1 > \theta_2$ et donc on a une courbe quasi-J. Effectivement :

$$\tan \theta_1 = d_1 / AD \text{ et } \tan \theta_2 = d_2 / CE, \text{ avec } AD = CE$$

$$\text{d'où, } d_1 = (AD) \cdot \tan \theta_1 \text{ et } d_2 = (CE) \cdot \tan \theta_2$$

Donc, $d_1 > d_2 \Leftrightarrow (AD) \cdot \tan \theta_1 > (CE) \cdot \tan \theta_2 \Leftrightarrow \tan \theta_1 > \tan \theta_2 \Leftrightarrow \theta_1 > \theta_2$, vu que la fonction de la tangente est strictement croissante dans l'intervalle $[0^\circ, 90^\circ[$. Étant donné que d_1 désigne la différence entre les scores du « non choisi » et du « moins caractéristique », $\Delta(nc - mc)$, et que, d_2 désigne la différence entre les « plus caractéristique » et « non choisi », $\Delta(pc - nc)$, alors pour les courbes quasi-J : $\Delta(nc - mc) > \Delta(pc - nc)$.