



UNIVERSITÉ D'AIX-MARSEILLE
ÉCOLE DOCTORALE 356
COGNITION, LANGAGE, ÉDUCATION

UFR LABORATOIRE ADEF / Équipe d'accueil EA 4671

Thèse présentée pour obtenir le grade universitaire de docteur

Discipline : Sciences de l'Éducation

Fabrice GUNTHER

**Étude de l'efficacité des outils de l'analyse fonctionnelle
dans l'enseignement et l'apprentissage
de systèmes techniques au collège.**

Sous la direction de
Marjolaine Chatoney

Soutenue le 11 juillet 2016 devant le jury :

Jean-Marie Boilevin	Professeur - Université de Brest – Examineur
Marjolaine Chatoney	Maitre de conférences HDR - Aix Marseille Université – Directrice
Mario Cottron	Professeur - Université de Poitiers – Rapporteur
Marc de Vries	Professeur - Technische Universiteit Eindhoven Pays Bas – Rapporteur
Jacques Ginestier	Professeur - Aix Marseille Université – Président

Aix Marseille
2016

Résumé

L'étude des systèmes techniques occupe une position centrale dans l'éducation technologique. Elle permet de comprendre la complexité de ces systèmes dans leur dimension pluritechnologique.

Les méthodes qui permettent d'enseigner l'éducation technologique sont diverses et variées. Dans le cas des filières technologiques en lycée, on parle de méthodes pédagogiques inductives où les théories sont déduites de cas particulier, puis appliquées à des objets d'étude concrets. C'est une alternative aux enseignements purement abstraits de la voie générale. Les approches par analyses fonctionnelle, structurelle ou comportementale sont à la base de cet enseignement. Si l'on se focalise sur l'analyse fonctionnelle, différents outils sont associés à cette méthode. Ces outils sont propres aux techniciens et ingénieurs : diagrammes, représentations symboliques, organigrammes, schémas... Ils peuvent s'apparenter à des langages. Dès le collège, les enseignants en font des artefacts censés mettre à la portée des élèves la compréhension d'objets plus ou moins complexes. Mais la mise place de l'analyse fonctionnelle issue du monde industriel révèle deux problèmes : un problème de transfert des outils industriels vers l'éducation technologique concernant les savoirs en jeu et les références, et un problème d'appropriation et de transformation de ces outils en artefacts à des fins d'enseignement. L'apprentissage de ces modes de description qui ajoutent de la complexité est-il pertinent ? Quels artefacts l'enseignant choisira-t-il pour que l'élève acquière de la connaissance en technologie ? Comment s'effectue la transmission de savoirs à l'élève ? L'analyse de la réaction des élèves dans des situations sociales courantes comme l'achat, la réparation ou le réglage d'un objet technique devrait aider à comprendre ces mécanismes.

Cette recherche doctorale concerne l'étude de l'efficacité de certains outils liés à l'analyse fonctionnelle dans le cadre d'enseignements - apprentissages qui visent la compréhension de systèmes techniques en éducation technologique. Notre question de recherche traite des modalités d'enseignement et d'utilisation des outils particuliers d'analyse des systèmes dans des conditions identiques à celles dans lesquelles se trouvent les enseignants et les élèves de collèges.

La transposition de ces outils issus de l'industrie pose également des problèmes d'adaptations. Pour tenter de répondre à ces questions, notre cadre théorique et méthodologique comporte différentes composantes éducatives, cognitives et systémiques. Cet élargissement permet d'intégrer les différents processus étudiés dans cette problématisation éducative, que nous voulons situer dans une vision globale et généraliste. Notre méthodologie a été menée de manière qualitative et quantitative

auprès des enseignants et des élèves. Il s'agit d'appréhender la manière dont ces acteurs mobilisent l'analyse fonctionnelle. Nous avons mené deux expérimentations, une première avec les enseignants, basée sur une enquête et des entretiens, et une seconde avec les élèves qui s'appuyait sur différents exercices écrits et une manipulation opératoire dans l'objectif d'une fabrication via une imprimante 3D. Les analyses sont effectuées sur la façon dont les compétences et les connaissances qui permettent une approche systémique en éducation technologique sont mises en œuvre. Notre étude comporte nécessairement des limites notamment liées à des choix méthodologiques nécessaires, à l'aspect humain des analyses qualitatives et à certaines variables non contrôlées. D'autre part, l'interaction directe enseignant/élève a volontairement été ignorée. Ces éléments sont explicités, approfondis et mis en perspective dans cette thèse.

Mots clés : analyse fonctionnelle, éducation technologique, système technique, enseignement.

Abstract

The study of technical systems occupies a central position in technological education. It allows to understand the complexity of these systems in their technological multi dimension.

They are many and varied methods that allow to teach technology education. In pre-professional high schools, inductive teaching methods are used, their theoretical basis are deduced from real cases and applied to concrete objects of study. It is an alternative to the purely abstract teaching that we find in general high schools. Functional, structural or behavioural analysis approaches are at the basis of this teaching. We focus on one of the methods used to teach technology: the functional analysis. The tools associated with this method are specific to technicians and engineers: diagrams, symbolic representations, charts, diagrams...

They can be related to languages. In comprehensive schools, teachers transform them in artefacts. The purpose is to allow pupils to understand technical systems. But two problems appear: a problem of transferring tools from an industrial world to technological education including problems of knowledge and references, and a problem of appropriation and transformation of these artefacts by teachers and pupils. As they add complexity, is the learning of these modes of description relevant? What kind of artefacts will the teacher choose so the student acquires knowledge in technology? How happens the transmission to the pupils? And what the pupils do with this? The analysis of the students' reaction in social situations as they manipulate or adjust a technical object should help to understand these mechanisms.

This doctoral research concerns the study of the efficiency of certain tools coming from the functional analysis within the framework of teaching - learning processes. These processes are central in the technical understanding of system in technological education. Our question of research is about methods of teaching and about the use of particular tools from the systems' analysis. The experimental conditions are identical to those in which are the teachers and the pupils of middle schools.

The transposition of these tools from the industry also raises problems of adaptations. To try to answer these questions our theoretical and methodological framework contains various educational, cognitive and systematic components. This extension allows to integrate the several processes studied in this educational teaching. We want to place this work in a global and non-specialized vision. Our methodology was to lead in a qualitative and quantitative way both with the teachers and pupils. We want to know how these actors mobilize the functional analysis. We led two experiments, one

with the teachers, based on a survey and interviews and one with the pupils based on various written exercises and an operating manipulation in the objective of a fabrication via a 3D printer. The purpose is to analyse the skills and the knowledge which allow a systematic approach in technological education. Our study contains inevitably limits, as the necessary selection, the human aspect of the qualitative analyses and on certain uncontrolled variables of the quantitative part. On the other hand, the direct interaction teacher / pupil was also voluntarily ignored. These elements are clarified, deepened and put in perspective in this thesis.

Keywords: functional analysis, technological education, technical system and education.

Remerciements

Je remercie toutes les personnes qui ont de près ou de loin participé à l'élaboration de ce travail. Tout spécialement ma directrice de thèse Mme Chatoney, qui a accepté de me guider dans cette entreprise. Faire une thèse après plusieurs années de pratiques professionnelles dans l'industrie puis dans l'enseignement apparaît à la fois comme une suite logique et un défi inhabituel dans un parcours déjà atypique. C'est une suite logique dans le sens où mon parcours m'a permis de m'adapter à différents domaines professionnels et de lier tout au long de la vie formation, vie professionnelle, vie familiale et loisirs. Je crois profondément que cette approche est préfiguratrice d'un futur proche où ces différents éléments seront indissociables. C'est aussi un défi, celui d'intégrer le monde de la recherche et d'espérer pouvoir y apporter mes idées et mon expérience. J'avais effectué un premier pas dans ce domaine lors de ma validation de stage en tant qu'enseignant. Si c'est en revendiquant un côté pionnier que je me suis engagé dans ce travail, je suis conscient que, sans un entourage familial, professoral et professionnel adéquat, cela aurait été bien difficile de mener ce projet à terme. Je tiens donc particulièrement à remercier :

- ma famille, ma femme et mes deux filles, pour leur patience, leur accompagnement et leur soutien. Mon père pour m'avoir montré et me montrer encore aujourd'hui ce qui est possible,
- les membres de l'équipe Gestepro, pour m'avoir intégré dans leur équipe et pour l'ensemble des conseils et apports non seulement techniques et théoriques, mais aussi humains qui ont eu lieu et sont encore présents,
- l'administration et le personnel du collège où je suis employé, pour avoir facilité cette activité particulière,
- très spécialement les relectrices et correctrices, pour le temps passé et la mise à disposition d'une compétence où je ne suis pas très performant.
- ceux qui dans d'autres collèges ont activement participé aux enquêtes, entretiens et expérimentations que ce soit les enseignants ou les élèves. Chacun a, à sa manière, pu m'aider dans cette recherche et sans cet ensemble de personnes avec lesquelles j'ai eu différents rapports, je n'aurais certainement pas réussi à aboutir au résultat qui est présenté dans ce document,
- les membres du jury qui ont bien voulu s'impliquer et me conseiller pour améliorer certains aspects de cette thèse.

Donc merci à tous et si certains se sentent oubliés qu'ils veuillent bien m'en excuser.

Remerciements à :

C. Andreucci – N. Arrous – C. Augusto – V. Baranes – V. Beaucousin – J. M. Boilevin – I. Bonal – A. Boyer – P. Brandt-Pomares – J. Castéra – M. Chatoney – M. Cottron – A. Delsérieys Pedrosa – M. de Vries – S. Doye – L. Flippo – J. Ginestié – D. Givry – M. Grubbs – S. Guillou – A. Gunther – F. Gunther – N. Gunther – J. F. Herold – C. Jegou – P. Laisney – M. Larini – G. Leiba – D. Louis – N. Mencaci – S. Mezui Mobiang – C. Moineau – au regretté S. Nolasque – l'ensemble des enseignants de l'association Pagestec et de l'académie qui ont répondu au questionnaire – F. Said – E. Tortochot – P. Terracher – L. Trouchet.

Fonction : du latin *functio*, -onis « accomplissement, exécution » (source CNRTL).

Inspiration issue de l'œuvre « une et trois chaises » de Kosuth.

« Welcome my son, welcome to the machine »
Roger Waters.

Table des matières

RÉSUMÉ	1
ABSTRACT	3
REMERCIEMENTS	5
TABLE DES MATIÈRES	8
INTRODUCTION	11
1. LA TECHNOLOGIE : DE LA MÉTHODE À L'ENSEIGNEMENT	13
1.1. LES MODES DE PENSÉE EN TECHNOLOGIE	13
1.1.1. <i>Objets et enjeux sociaux</i>	13
1.1.2. <i>Méthodes et outils de la technologie (zoom sur l'analyse fonctionnelle)</i>	16
1.2. LA TECHNOLOGIE DANS L'ENSEIGNEMENT GÉNÉRAL	22
1.2.1. <i>Un enseignement de l'école au lycée</i>	24
1.2.2. <i>L'étude de systèmes</i>	25
1.3. L'ANALYSE FONCTIONNELLE DANS L'ÉDUCATION TECHNOLOGIQUE	28
1.3.1. <i>L'analyse fonctionnelle à travers les programmes institutionnels</i>	29
1.3.2. <i>L'analyse fonctionnelle en classe de 4^e et 3^e</i>	33
1.3.3. <i>L'analyse fonctionnelle à travers les manuels scolaires</i>	34
1.4. UNE TRANSPOSITION À PROBLÈMES	36
1.4.1. <i>L'objectif d'efficacité</i>	37
1.4.2. <i>La finalité et la place de ces savoirs</i>	38
2. ENSEIGNEMENT - APPRENTISSAGE EN TECHNOLOGIE	40
2.1. UN PROCESSUS	40
2.1.1. <i>De la pédagogie à la didactique</i>	40
2.1.2. <i>L'action conjointe en didactique</i>	41
2.1.3. <i>Une orchestration instrumentée</i>	42
2.2. L'ÉLABORATION ET LA CONSTITUTION DES CADRES THÉORIQUES	42
2.2.1. <i>L'approche par l'action conjointe</i>	43
2.2.2. <i>L'approche par l'activité</i>	44
2.2.3. <i>L'approche cognitiviste</i>	44
2.2.4. <i>Applications à l'enseignement - apprentissage</i>	46
2.3. DE LA GENÈSE INSTRUMENTALE À L'EXTENSION AUX CONCEPTS	55
2.4. L'EXTENSION DE LA THÉORIE DE L'ACTIVITÉ : ERGONOMIE ET PSYCHOLOGIE DU TRAVAIL	56
2.5. L'ENSEIGNEMENT ET L'APPRENTISSAGE DES LANGAGES TECHNIQUES	58
2.6. QUESTIONS ET HYPOTHÈSES	59
2.6.1. <i>L'analyse fonctionnelle : un instrument</i>	59
2.6.2. <i>La relation aux savoirs</i>	60
3. PLAN EXPÉRIMENTAL	62
3.1. MÉTHODOLOGIE APPLIQUÉE AUX ENSEIGNANTS	62
3.1.1. <i>Objectif</i>	62

3.1.2.	<i>Questionnaire</i>	65
3.1.3.	<i>Protocole et documents des entretiens</i>	68
3.2.	MÉTHODOLOGIE APPLIQUÉE AUX ÉLÈVES.....	71
3.2.1.	<i>Objectif des exercices et manipulations élèves</i>	71
3.2.2.	<i>Test d'entrée pour évaluer les élèves</i>	74
3.2.3.	<i>Les enseignements dispensés</i>	75
3.2.4.	<i>Expérimentation avec des classes</i>	85
3.2.5.	<i>Activité sur une tâche de fabrication</i>	93
4.	L'ANALYSE FONCTIONNELLE ET LES ENSEIGNANTS : MÉTHODES ET INSTRUMENTS (RÉSULTATS).....	104
4.1.	ANALYSE DES RÉPONSES AU QUESTIONNAIRE.....	104
4.1.1.	<i>Utilisation de l'analyse fonctionnelle par les enseignants</i>	104
4.1.2.	<i>Pratique de l'analyse fonctionnelle par les enseignants</i>	112
4.2.	ANALYSE DES ENTRETIENS	113
4.2.1.	<i>Les objectifs visés et la pratique effective</i>	114
4.2.2.	<i>Comparatif questionnaire – entretien</i>	115
4.3.	LIENS AVEC LE CADRE THÉORIQUE - CONCLUSION SUR L'ANALYSE FONCTIONNELLE ET LES ENSEIGNANTS	117
5.	L'ANALYSE FONCTIONNELLE ET LES ÉLÈVES : ASSIMILATION ET PRATIQUES (RÉSULTATS)	118
5.1.	ANALYSE QUANTITATIVE	118
5.1.1.	<i>Test d'entrée</i>	119
5.1.2.	<i>Résultats pour la phase 1, test après enseignement, description d'une imprimante 3D...</i>	132
5.1.3.	<i>Résultats pour la phase 2, classification de l'ordre des opérations</i>	142
5.2.	ANALYSE DES EXPÉRIMENTATIONS QUALITATIVES EN CLASSE.....	146
5.2.1.	<i>Constatations sur les résultats</i>	148
5.2.2.	<i>Prise en compte des interactions du système</i>	151
5.2.3.	<i>Analyse des termes : entre notion et conception</i>	153
5.2.4.	<i>Description du système</i>	156
5.3.	LIENS AVEC LE CADRE THÉORIQUE CONCLUSION SUR L'ANALYSE FONCTIONNELLE ET LES ÉLÈVES	159
6.	EFFICACITÉ DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE LORS DE L'ENSEIGNEMENT – APPRENTISSAGE ET CONCLUSION.....	160
6.1.	RÉSULTATS CROISÉS	160
6.2.	LES LIMITES DE LA RECHERCHE.....	162
6.3.	CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	163
	BIBLIOGRAPHIE.....	166
	ANNEXES	175
	ANNEXE 1 : QUELQUES OUTILS DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE	176
	ANNEXE 2 : QUESTIONNAIRE ENSEIGNANT.....	177
	ANNEXE 3 : DOCUMENTS PRÉSENTÉS AUX ENSEIGNANTS.....	181
	DOCUMENT A.....	181
	DOCUMENT B.....	181
	DOCUMENT C.....	182
	DOCUMENT D.....	182
	DOCUMENT E	183
	ANNEXE 4 : RETRANSCRIPTION DES ENTRETIENS ENSEIGNANTS.....	184
	ENSEIGNANT 1 (E1).....	184

ENSEIGNANT 2 (E2).....	189
ANNEXE 5 : BANDE SON DES ENSEIGNEMENTS DISPENSÉS	197
ENSEIGNEMENT NAF (SANS UTILISATION DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE)	197
ENSEIGNEMENT AF (AVEC UTILISATION DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE).....	199
ANNEXE 6 : FICHES OPÉRATOIRES FOURNIES AUX ÉLÈVES	202
ANNEXE 7 : RETRANSCRIPTION DES DISCOURS ÉLÈVES	206
BINÔME AF1.....	206
BINÔME AF2.....	210
BINÔME AF3.....	213
BINÔME NAF1	217
BINÔME NAF2	219
BINÔME NAF3	225
ANNEXE 8 : EXEMPLES DE PRODUCTIONS D'ÉLÈVES.....	229

Introduction

L'origine de ces travaux se place à la croisée de différents pôles. Ils sont cités dans un certain ordre, pas nécessairement chronologique, mais cela n'apporte aucun jugement de valeur. L'écriture seule impose cette présentation, la réalité est nettement plus complexe, mais difficile à retranscrire. Dans un cadre professionnel et professoral, des observations de plusieurs années sur le terrain nous ont permis de percevoir certains problèmes liés à l'éducation technologique au collège. Celle-ci ne semble pas toujours efficace et n'est pas toujours perçue de façon positive ou utile. De la même manière, le comportement quotidien des individus face à des objets techniques nous laisse perplexes. Les réactions d'incompréhension, d'abandon, de colère ou autres face à ces objets sont courantes. En parallèle, l'apprentissage de moyens de communication se met très tôt en place dans notre société. Mais les travaux de recherche pour comprendre les phénomènes cognitifs qui correspondent à ces apprentissages ont manifestement encore un bel avenir. Sur les plans scientifique et technique, ces apprentissages semblent appartenir à un monde différent de celui des pratiques observées pour d'autres disciplines littéraires ou artistiques. Il est vrai que notre regard est celui de quelqu'un qui a suivi ces enseignements scientifiques puis informatiques avec notamment un travail sur la gestion et l'élaboration de bases de données conceptuelles. Sur un autre registre, notre contact avec la recherche s'est fait par l'intermédiaire de l'étude de pratiques enseignantes sur la fabrication d'objets à l'école primaire. Cette thèse, même si elle explore un axe différent, s'inscrit cependant dans la continuité de ces travaux. C'est cet ensemble qui nous a incités à poursuivre dans cette voie et à présenter ces travaux.

Le document de thèse s'organise en six principaux chapitres :

- le premier chapitre aborde le contexte institutionnel. Il situe la place de la technologie dans le système éducatif et aborde les aspects théoriques, historiques et épistémologiques. Une méthode spécifique d'analyse y est détaillée,
- le deuxième chapitre pose les postulats de notre recherche. Après avoir établi les bases de nos cadres théoriques, nous avançons les hypothèses qui ont orienté nos travaux,
- la troisième partie aborde la méthodologie et décrit de façon précise le mode opératoire mis en place dans cette recherche,
- les quatrième et cinquième chapitres présentent les résultats qui font suite aux deux populations concernées : les enseignants et les élèves,

- le sixième et dernier chapitre conclut ce travail en croisant notamment les résultats des chapitres précédents puis en ouvrant les perspectives et discussions de ces travaux.

1. La technologie : de la méthode à l'enseignement

Cette première partie fournit les bases essentielles pour comprendre cette recherche. Nous commençons en décrivant le contexte général dans lequel se situent nos travaux, c'est-à-dire la technologie et les systèmes techniques¹. Cette approche anthropologique nous permet d'introduire une présentation du support de notre étude : l'analyse fonctionnelle avec un rappel de sa provenance, son utilisation, ses limites. Puis une analyse plus sémantique de cette méthode nous rapproche du monde de l'éducation. Nous verrons dans quelles conditions et de quelles façons l'analyse fonctionnelle y a été introduite et ce qu'il en est aujourd'hui.

1.1. Les modes de pensée en technologie

1.1.1. Objets et enjeux sociaux

Si l'on se demande ce que sera la technologie dans le futur, c'est un mélange de crainte et d'espoir qui est le plus souvent reproduit. La préoccupation principale reste cependant de poursuivre ce qui apparaît comme le progrès. L'humanité va de l'avant et la tendance est d'accroître les connaissances et compétences de chacun et pour tous. Dans cet objectif, comme le déclare S. Bohler (2015), la meilleure manière d'obtenir un cerveau augmenté c'est de lui donner de l'éducation. Pour lui, si on délègue cette mémoire à des appareils ou technologies externes, la créativité en pâtira. Le lien avec la créativité passe obligatoirement par une mémoire intégrée. On aborde ici les relations entre ce progrès technologique et la volonté d'accroître les connaissances. La connaissance est rendue accessible par la technologie, mais cette accessibilité universelle apparaît comme un frein à la compréhension et ne permet plus de comprendre les systèmes technologiques qui sont omniprésents. Pour s'affranchir de cette ambiguïté, il faut alors regarder la technologie comme un instrument de la pensée complexe.

¹ Le terme « système technique » est ici utilisé en regard du terme « objet technique », tel que cela avait été proposé par la COPRET (Commission permanente de réflexion sur la technologie) lors de la mise en place de la discipline technologie dans les collèges en 1985 : un objet se lit comme un système de fonctions techniques en interrelations.

C'est avec ce type de pensée qu'il nous faut comprendre les systèmes et objets techniques. Ces systèmes font partie de notre environnement, ils forment une part indissociable de l'évolution, c'est ce qu'ont montré notamment Simondon (2012) et Leroi-Gourhan (1964). L'un des objectifs de l'éducation technologique s'inscrit dans cette continuité, et ce qui apparaît à travers les programmes de technologie de l'éducation nationale est de comprendre ces systèmes (MEN, 2008b). Cependant la compréhension d'un système technique n'est pas forcément triviale, la différence entre son étude et sa compréhension peut aboutir à une impasse et n'être que de peu d'intérêt pour l'élève. Afin d'éviter cet état, des dispositifs sont censés être utilisés dans le système éducatif. Si les systèmes ou objets sont développés de manière linéaire en suivant des démarches telles que la démarche de projet, les enjeux de cette éducation et ce qui se rapporte à l'intelligence technologique ne sont pas nécessairement linéaires. Des recherches actuelles sur la conception, l'analyse décisionnelle, l'intelligence artificielle ou l'étude des rapports de l'éducation technologique avec l'intelligence, s'ils existent, sont autant d'axes pour tenter d'associer les systèmes techniques et leur compréhension. On peut cependant se demander quels sont les enjeux liés à la compréhension d'un système. La valeur éducationnelle de la compréhension doit pouvoir trouver des prolongements sur le plan sociétal. On cerne alors l'importance de l'éducation technologique qui guide nos travaux. Nous abordons donc les us et coutumes en technologie qui ont pour objectif de comprendre un système.

Pour notre part, et dans le cadre des sciences de l'éducation, nous pensons que la description de ces systèmes est un des moyens d'activer cette compréhension. Suivant les systèmes abordés, la description peut s'entrevoir comme une procédure aisée. Il n'en est rien. Il se pose tout d'abord le problème de la perception que l'on a de l'objet lui-même. À ce sujet, Simondon (1958) note qu'un objet comme un ressort hélicoïdal peut être simple par sa forme et sa matière, mais sa fabrication peut s'avérer complexe. L'objet technique peut toujours être perçu comme complexe, on ne peut s'arrêter à une analyse qui se baserait sur une perception subjective simple ou non de l'objet.

Pour prolonger cette réflexion sur la complexité, on rencontre rapidement les problèmes posés par la description d'un système qui intègre différents composants. Par exemple, Akrich (1987) cerne la difficulté à décrire un objet technique telle que la voiture, car il correspond à « la mise en forme d'un ensemble de relations entre des éléments tout à fait hétérogènes ». Le système fait donc intervenir des relations entre différents éléments, mais d'autres problèmes liés purement à la description apparaissent.

Une description peut prendre différentes formes. Des représentations plus ou moins éloignées les unes des autres existent : langagières, graphiques, schématiques, symboliques...

Comme cela est communément admis, en ce qui concerne le mode de représentation, Simondon (1958, p. 139) a insisté sur l'universalité de l'image et des représentations schématiques, vis-à-vis des expressions verbales. Cependant, dans le domaine

technique et suivant le milieu abordé, qu'il s'agisse de dessin industriel, d'architecture, d'économie et gestion ou d'industrie, l'objet à représenter n'est pas le même. La description peut concerner un objet réel avec échelle, voire une grandeur ou une variation ou même une relation entre éléments. Les supports sont alors adaptés : on peut ainsi obtenir un dessin technique, un plan, un organigramme, un graphique ou autre. Les compétences et connaissances mises en œuvre pour ces réalisations diffèrent. Il peut s'agir, par exemple, d'une analyse de l'objet réel, de codes et de règles à apprendre, de respecter des systèmes de représentation, de manipuler des unités ou des concepts techniques, de détailler des liaisons, d'organiser ou de hiérarchiser des relations. La finalité est pourtant toujours la même : transmettre une information qui se substitue au réel.

Pour que cette transmission soit efficace, il faut tenir compte de ces différents facteurs. Chaque mode de représentation, dessin, schéma, plan ou autre, a ses spécificités et ses fonctions. Chaque mode relève d'un processus d'élaboration et demande des qualités à développer. Certaines informations seront dominantes et jouent un rôle sur l'objet à représenter. Dans notre contexte éducatif, l'élève rencontre alors des difficultés pédagogiques à surmonter. Ces difficultés s'apparentent aux apprentissages propres à d'autres disciplines. L'analogie avec un problème de langage peut se relier à certains problèmes de sémiotiques. Ces problèmes ont été pointés notamment par Duval (Duval, 2007) pour les mathématiques, où les difficultés se situent du passage de l'objet au concept et à la formulation sémiotique. Il s'appuie sur l'exemple de « Une et trois chaises » de Kosuth ou trois représentations d'une chaise, une photo, une définition et une chaise réelle, forment une œuvre. Il précise qu'il serait tout à fait possible d'ajouter à cet exemple d'autres modèles descriptifs, pourquoi pas dans notre cas une représentation issue d'un modèle technologique. Duval (2007, p. 15) insiste sur l'importance de pouvoir passer d'une représentation à une autre. Pour lui, les problèmes cognitifs sont différents si l'objet est présent ou absent. Toujours pour Duval, le passage entre les différentes représentations est fait par une juxtaposition avec l'objet quand celui-ci est accessible.

Pour notre part, nous poursuivrons l'analogie entre une description et un langage, en restant dans une optique technique. Dans sa thèse, S. Szoniecky (2012), après avoir défini le terme de symbole appliqué notamment à l'informatique et en regard des langages formels, présente la nécessité de langages symboliques pour cultiver une intelligence collective. C'est dans cette perspective que s'inscrivent nos travaux. Ne pourrait-on pas résoudre les problèmes de langage propre à une description technique avec une sémiotique différente ? Une représentation technique particulière constitue-t-elle une sémiotique ?

1.1.2. Méthodes et outils de la technologie (zoom sur l'analyse fonctionnelle)

Les origines de la technologie se situent à la fin du XIXe siècle. Comparé à d'autres disciplines telles les mathématiques ou la physique, on voit nettement, pour ce domaine, une certaine proximité temporelle avec notre époque. La technologie est jeune, mais cela n'occulte pas la complexité qui apparaît lorsque son étude est nécessaire. Sur l'origine de la technologie et sa complexité, nous pouvons nous référer à Grison qui cite Hassenfratz (Grison, 1996). Ce dernier aurait été, aux alentours de 1800, le premier à utiliser le terme technologie dans les programmes d'enseignement, s'appuyant sur les sciences pour enseigner un cours de technologie qui d'après Grison avait alors le sens de « traité général des arts » ou de « science des arts industriels ». Cette vision donne bien une place complète à la technologie en tant que science et annonce que la technologie ne peut pas être considérée comme une simple adaptation de ce qui est « praxis », au sens d'activité pratique et « techné », au sens de savoir-faire.

Plus tard, pour Espinas (1897), qui recherche les origines de la technologie et aborde son côté sociologique, cette complexité ne peut s'exprimer qu'au travers de langages spécifiques et s'appuie sur l'écriture ou des langages symboliques comme outils de transmissions du savoir technologique (Espinas, *ibid.*).

Différentes actions font partie de ce qui fait la technologie. Ces actions se retrouvent notamment dans les programmes de l'éducation nationale (MEN, 2008a) ou dans les projets de programmes de 2016. Comme exemples, nous pouvons citer : observer et décrire un système, établir des relations de cause à effet, concevoir, créer, réaliser... Cet ensemble d'actions qui est lié à la technologie la rend complexe. Pour la mettre en place à quelque niveau que ce soit, industriel, éducatif, social, il faut s'appuyer sur des outils.

L'analyse fonctionnelle est un de ces outils que nous allons détailler. Elle traite de l'approche technique des systèmes. Comme nous le verrons plus loin, cette analyse repose sur plusieurs méthodes. Elle est principalement utilisée lors de la conception ou l'amélioration des objets techniques. L'analyse fonctionnelle associée à l'approche systémique constitue la base de l'enseignement technologique. Elle est clairement confirmée comme une partie importante de cet enseignement (Deforge, 1993 ; de Vries, 2005).

Nous devons d'abord préciser que l'analyse fonctionnelle que nous introduisons ici se rapporte au monde de la technique et de la technologie. Elle n'a rien de commun, si ce n'est le nom, avec l'analyse fonctionnelle telle qu'elle est définie en mathématiques et qui se rapporte à l'analyse et l'étude des fonctions mathématiques.

L'origine de l'analyse fonctionnelle remonte aux alentours de 1940. C'est aux États-Unis que s'est développée cette approche systémique qui fut introduite et vulgarisée en

France par de Rosnay à travers son ouvrage “ le macroscopie, vers une vision globale” (de Rosnay, 1977).

L'analyse fonctionnelle s'inscrit comme une voie d'accès à l'analyse systémique et en serait un des piliers. L'aspect structurel et l'aspect historique, au sens de ce que le système devient, sont des compléments indissociables de l'analyse fonctionnelle pour effectuer une analyse systémique (Donnadieu et al., 2003). Comme l'analyse fonctionnelle, l'analyse systémique est née aux États-Unis en 1940. Outre de Rosnay (1975), qui s'intéressait plus spécifiquement à la biologie, différents auteurs ont vulgarisé ce type de démarche en France ; Morin (1990) dans le domaine social, Le Moigne (1990) en ingénierie, Simon (1991) dans le domaine de l'intelligence artificielle ou encore Inhelder & Cellier (1992) en sciences cognitives. Pour définir cette notion de systémique qui initiait l'analyse fonctionnelle, on peut se référer à von Bertalanffy (1973). Celui-ci a travaillé dans le domaine de la biologie et a présenté dès 1965 une approche globale qui incluait la notion de système. Pour lui l'approche systémique est définie comme un ensemble complexe et dynamique qui interagit à la fois comme une unité fonctionnelle structurée et comme un groupe d'éléments interconnectés dans lequel le tout est supérieur à la somme des parties (von Bertalanffy, *ibid.*). Elle est, pour ces raisons, plus adaptée aux besoins du monde actuel qui apparait systémique qu'une logique cartésienne qui resterait linéaire. Elle permet de caractériser les systèmes en spécifiant leurs limites, leurs relations internes et externes, leurs structures et les nouvelles lois ; elle rend manifeste la fonctionnalité socio-organisationnelle de l'entreprise et la rend plus fluide (Scaravetti, 2004).

La finalité consiste à aboutir à la compréhension de la dimension systémique d'un système technique, à la fois de manière globale et dans ses spécificités. Zehtaban & Roller en 2012 mentionnent que pour réaliser cette compréhension, des outils adaptés sont nécessaires. Ces outils doivent avoir pour caractéristique de permettre de visualiser les relations internes et externes d'un système. Ils doivent permettre d'expliquer les structures et les lois qui régissent le système tout en spécifiant ses frontières. Selon cette perspective, l'analyse fonctionnelle est une approche qui associe des outils et des éléments structurants (Scaravetti, 2004). Ces outils servent dans la phase de formalisation des contraintes et d'écriture de modèles. Cette méthodologie vise à obtenir des modèles à la fois parcimonieux et exacts (Vernat, 2004).

C'est sur ces fondements, avec une approche des systèmes techniques à la fois « macro » et « micro », qu'est apparue l'analyse fonctionnelle et les outils qui y sont associés.

L'analyse fonctionnelle vient du monde de la production industrielle, et plus précisément de ce que la technologie industrielle classe sous le terme d'« Analyse Systémique et Fonctionnelle » (Howard, 2007). Dans le monde industriel de la production, différentes méthodes issues de l'analyse fonctionnelle permettent de

comprendre la dimension systémique d'un système technique (Zehtaban & Roller, 2012).

Un regard social vient compléter cet aspect technique. En plus de cette vision systémique, l'autre rôle de l'analyse fonctionnelle est de rendre plus fluide et apparente la fonction socio-organisatrice d'une entreprise. Ce qui est signifié c'est que différents acteurs d'un projet peuvent ainsi plus facilement échanger, aussi bien à un niveau hiérarchique, par exemple entre un ouvrier et un ingénieur, qu'à un niveau structurel, par exemple entre les concepteurs qui sont au bureau d'études et les réalisateurs des ateliers de production. Cette notion a été développée par Scaravetti dans sa thèse doctorale en 2004 (Scaravetti, 2004) et reprise par Audry (2010) qui précise que les outils créés correspondent à des représentations symboliques du système, sont issus de l'entreprise et permettent un dialogue et une communication avec un langage commun. Les outils de l'analyse fonctionnelle peuvent alors être considérés comme des instruments sémiotiques, en effet la plupart comprennent des éléments graphiques et langagiers.

L'analyse fonctionnelle est un ensemble de techniques utilisées en phase de création ou d'amélioration d'un produit pour identifier les vrais besoins, les quantifier, définir les vraies problématiques et saisir ce qui est important à obtenir. C'est une démarche utilisant différents outils pour caractériser un produit sous forme de graphes ou de diagrammes. Elle est utile dans les phases de conception ou d'amélioration du projet. En France, plusieurs normes concernent l'analyse fonctionnelle et les outils qui y sont associés. Ces normes sont adaptées au milieu industriel et formalisent les différents outils.

Nous allons maintenant expliciter quelques-uns des différents outils inhérents à l'analyse fonctionnelle. Ces outils sont couramment utilisés et sont formalisés dans le cadre de l'utilisation de l'analyse fonctionnelle. Ils peuvent se compléter et aller de descriptions et conventions élémentaires à des structures beaucoup plus complexes et élaborées. Dans le cadre de cette recherche, nous nous focalisons sur les outils plus particulièrement utilisés en éducation technologique en France.

Parmi ces méthodes et outils, nous trouvons couramment les suivants :

- SADT (System Analysis Design Technic), qui peut se traduire par analyse structurée et conception technique,
- APTE ®, nom déposé pour « Application aux Techniques d'Entreprise »,
- FAST, qui signifie technique d'analyse fonctionnelle de système,
- CDCF, un acronyme de « Cahier Des Charges Fonctionnel », et qui correspond aux spécifications fonctionnelles.

Une traduction des termes anglais et une brève définition des méthodes associées à ces acronymes se trouvent en annexe 1.

Pour imager l'analyse fonctionnelle, nous nous arrêtons sur deux représentations

symboliques du système : le graphe des inter-acteurs et le diagramme FAST. Notre choix est orienté par l'importance qui est donnée à ces représentations lors de l'initiation à l'analyse fonctionnelle dans le cadre de l'éducation technologique. Nous voulons aussi que ces exemples soient représentatifs de ce qu'est l'analyse fonctionnelle.

Le graphe des inter-acteurs est un des éléments de la méthode APTE. Ce graphe prend en compte les contraintes fonctionnelles principales d'un produit ainsi que celles, dénommées secondaires, qui sont reliées aux différents éléments de l'environnement d'un produit.

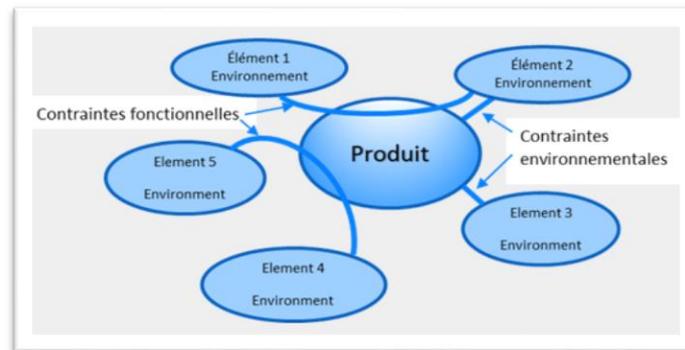


Figure 1 : exemple de graphe des inter-acteurs – format générique

Sur ce graphe on trouve, représenté dans le cercle central, le produit qui fait l'objet de l'analyse fonctionnelle. En périphérie, les divers éléments qui environnent le produit. Ces éléments sont ensuite reliés au produit soit en tant que contraintes fonctionnelles, soit en tant que contraintes environnementales. Les contraintes fonctionnelles peuvent être qualifiées de principales, et celles environnementales peuvent apparaître comme secondaires. La différence entre ces deux types de fonctions provient de la distinction entre celles qui sont propres au système étudié et celles induites par des éléments extérieurs. Si nous prenons l'exemple d'une voiture, sa fonction principale est de transporter des personnes et des bagages, ce qui répond aux normes AFNOR. Rappelons que les normes AFNOR² définissent une fonction comme « l'action d'un produit, ou de l'un de ses constituants, exprimée uniquement en termes de finalité. Une fonction est formulée par un verbe à l'infinitif suivi d'un complément ». Le produit est ici vu comme un assemblage de fonctions. Ces fonctions répondent à des critères, ce qui catégorise certaines fonctions en tant que contraintes. La même norme définit une contrainte comme « la limitation à la liberté de choix du concepteur – réalisateur d'un produit ». Le produit peut être lié à des contraintes telles que la route ou les ressources énergétiques nécessaires à la propulsion du véhicule. Cet outil peut paraître trivial, mais il permet de lister l'ensemble des contraintes sur un produit. C'est une première étape vers une hiérarchisation de ces contraintes.

² La norme française sur les caractéristiques fondamentales de l'analyse fonctionnelle (NF X50-101) date de 1996 et a subi une révision en 2008. Celle liant l'analyse de la valeur, l'analyse fonctionnelle, l'expression fonctionnelle du besoin et le cahier des charges fonctionnel (NF X50-151) date de 2007.

Notre deuxième exemple est le diagramme FAST. Ce choix n'est pas anodin et nous retrouverons le diagramme FAST dans la suite de nos travaux. Il est donc essentiel de présenter plus en détail et de montrer sur quels critères et dans quelles perspectives s'est fait ce choix.

À la base, un système technique est imaginé pour répondre à un besoin. Afin de concevoir un système qui répond à ce besoin, il faut parvenir à définir les fonctions que doit remplir ce système et la solution qui va permettre de remplir cette fonction. Le diagramme FAST s'intéresse à cette deuxième partie de la conception d'un produit : définir les fonctions et apporter des solutions. Ce genre de représentation à l'avantage de permettre de décrire rapidement l'ensemble d'un système. Le diagramme FAST traduit chacune des fonctions d'un objet en solutions techniques.

Voici ci-dessous un diagramme FAST dans une forme générique :

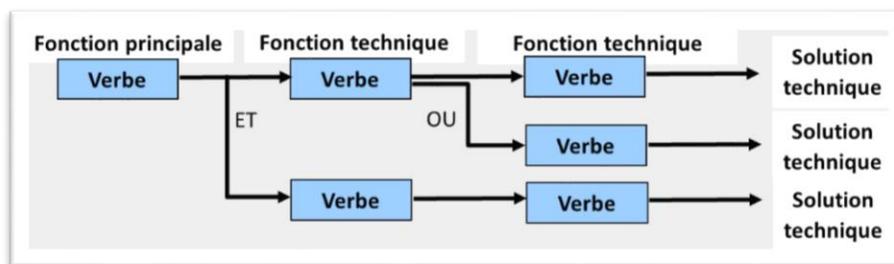


Figure 2 : exemple de diagramme FAST – format générique

Une première façon d'interpréter ce diagramme est de partir de la gauche pour aller vers la droite. Tout à gauche figure la fonction principale. Pour un système technique donné, on se pose la question « Comment remplir cette fonction ? ». Plusieurs fonctions techniques répondent à cette question. Ces fonctions techniques s'inscrivent dans la 2^e colonne. Il est possible qu'une fonction technique se décompose à son tour en différentes fonctions, ces dernières trouvent leurs places dans la 3^e colonne. À travers la question « comment effectuer les fonctions ? », on parvient finalement à trouver des solutions techniques qui s'inscrivent dans la colonne de droite. Le diagramme FAST peut aussi être interprété de la droite vers la gauche. On part alors des solutions techniques en se posant la question « Pourquoi ? » cette solution, ou fonction est en place. Si la démarche précédente, de gauche à droite, est une aide à la conception d'un produit, la démarche de droite à gauche permet de vérifier la bonne adéquation des solutions d'un système existant, et éventuellement de l'améliorer.

Ce diagramme répond à un certain formalisme. Ce formalisme est apparent, par exemple, avec le graphisme associé aux branches Et/Ou. Les normes françaises citées précédemment décrivent cette méthode. En sciences de l'éducation, on notera tout de même que des adaptations sont très souvent mises en place pour aligner cette représentation soit aux connaissances des élèves soit aux objectifs de l'apprentissage.

Par exemple, le formalisme cité des branches Et/Ou peut disparaître dans un but de simplification. Ces adaptations peuvent aussi être induites par un manque de connaissance du formalisme ou une approche approximative de l'analyse fonctionnelle. Nous en tiendrons compte dans notre étude.

D'autres études, issues d'une analyse effectuée dans le monde professionnel, justifient et explicitent l'intérêt qui est porté à la représentation d'un système par un diagramme FAST. Hunter et Kelly ont travaillé sur l'efficacité du management et de l'ingénierie par la valeur³ (Hunter & Kelly, 2007). En se basant sur une enquête qui fait suite à des ateliers de 1 à 5 jours sur le management par la valeur, ils en concluent qu'« en termes d'outils, les avis sont partagés sur l'avantage du diagramme FAST et que son efficacité parmi les utilisateurs reste incertaine ». Il faut cependant noter que leur enquête ne se base que sur une vingtaine de réponses à un questionnaire. Ils disent se situer dans le prolongement de l'étude de Fong et Lam (1998). Cette étude porte sur ce que pensent 67 praticiens spécialistes du domaine quant à des méthodes de l'analyse de la valeur. Si 52 % l'utilisent pour réduire les coûts, la plupart (96 %) pensent que cela permet en grande partie de renforcer la créativité d'un projet. Tous sont tout à fait d'accord ou d'accord pour affirmer que cela permet d'avoir une meilleure compréhension du projet. L'analyse fonctionnelle est, pour les auteurs, un élément important et spécifique de la méthodologie de la valeur et 87 % des interrogés trouvent qu'elle peut aider à comprendre plus spécifiquement un projet. Aucun ne pense que l'analyse fonctionnelle peut avoir un effet négatif sur la compréhension de projets. De plus 60 % pensent que l'analyse fonctionnelle n'est pas difficile à effectuer. Les outils de l'analyse fonctionnelle telle que la description avec des binômes verbes/noms, donc semblable au diagramme FAST, sont utiles selon pratiquement tous les consultés ; pour 71 % c'est « très utile » et pour 24 % c'est « utile ». Les auteurs se posent aussi la question du devenir du management par la valeur, et se font les ambassadeurs de cette méthode en précisant qu'éliminer l'analyse fonctionnelle ferait perdre la puissance de discerner les composants fonctionnels d'une manière simplifiée et systémique.

Ces résultats montrent que l'analyse fonctionnelle est à la fois utile et utilisée. Nous restons cependant conscients que ces résultats sont le fruit d'une enquête effectuée auprès de partisans du management par la valeur, et cela il y a une vingtaine d'années dans des pays anglophones. On peut cependant préciser qu'en France, un tel soutien existe aussi, avec par exemple l'Association Française pour l'Analyse de la Valeur qui est actuellement active à travers des publications et des conférences et participe à la normalisation française dans ce domaine de compétence.

D'autres outils sont associés à l'analyse fonctionnelle, parmi les plus courants on peut citer le diagramme des besoins et le cahier des charges, qui apparaîtront dans notre étude. Les descriptions peuvent aussi être basées sur d'autres méthodes comme la

³ L'analyse fonctionnelle fait partie intégrante de l'analyse de la valeur qui se définit comme une méthode globale s'appuyant sur des méthodes plus spécifiques telle l'analyse fonctionnelle pour optimiser un produit.

méthode SADT (Structured Analysis and Design Technic) qui est une approche d'analyse descriptive par niveaux successifs, les langages de modélisation de domaine de l'ingénierie des systèmes comme le SysML (System Modeling Language), ou la méthode PERT (Program Evaluation and Review Technic) adaptée à la gestion de projets. On retrouve ces méthodes dans l'enseignement et elles font aussi l'objet de normes ou de formalismes spécifiques. Ces exemples correspondent aussi à des représentations symboliques de systèmes.

En termes d'enseignement nous pouvons voir tout l'intérêt de cette analyse fonctionnelle. Cela a été démontré par Barak et de Vries, ainsi que Dorst, Gattiser & Dubois en 2005. L'enseignant possède un outil capable de lui simplifier la tâche, qui s'appuie sur des principes existants, validés et utilisés par une communauté externe à l'éducation technologique.

Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes intéressés à ce qui se passe lorsqu'on initie les élèves à une approche de l'analyse fonctionnelle. Nous nous sommes donc limités aux premiers outils cités et nous avons volontairement laissé de côté ce qui n'apparaît pas, à l'heure actuelle, dans le champ fixé.

Nous venons de souligner certaines possibilités de l'analyse fonctionnelle. Il faut cependant être conscient que, même si elle apporte des bénéfices certains, l'analyse fonctionnelle a cependant quelques limites. Ainsi pour Viard, l'analyse fonctionnelle seule ne peut pas permettre de comprendre le fonctionnement d'un système, la physique est nécessaire (Viard, 2002). Cet auteur est aussi cité par Andreucci dans sa thèse : « sur le plan didactique, le travail de Viard montre lui aussi clairement en quoi la méthode de l'analyse fonctionnelle descendante des systèmes techniques qui est prépondérante en technologie, présente des limites du point de vue de l'appréhension restrictive qu'elle entraîne quant aux fonctionnalités des dispositifs » (Andreucci, Froment, & Verillon, 1996). Cette appréhension restrictive peut paraître liée à la technicité complète de cette méthode descriptive. La définition même des fonctions revêt une importance certaine et c'est certainement là que des concepts liés à une approche systémique peuvent apparaître alors qu'ils auraient certainement du mal à trouver leurs places dans d'autres modes de description. On peut cependant comprendre que l'analyse fonctionnelle reste éloignée des processus cognitifs. C'est aussi pour cela que dans nos travaux nous nous attachons à relier ce qui peut être utile à l'élève de ce point de vue cognitif. Pour cela nous allons tout d'abord aborder la place de la technologie puis de l'analyse fonctionnelle dans l'enseignement.

1.2. La technologie dans l'enseignement général

L'introduction de la technologie dans l'enseignement sous sa forme actuelle est assez récente. C'est suite aux discours de 1985 après la mise en place de la COPRET

(Commission Permanente de Réflexion sur l'Enseignement de la Technologie) que les fondements de la technologie en tant que discipline sont instaurés. Paradoxalement et comme précisé par Meirieu, le système scolaire s'est développé en s'inspirant du contexte industriel (Kambouchner et al., 2012). Si ce dernier a beaucoup évolué, les principes de base du système éducatif français sont restés relativement stables. La technologie a logiquement amené quelques changements (travail en groupe, approche par projets ...), mais reste dépendante de l'image des autres disciplines beaucoup plus ancrées dans les concepts scientifiques.

L'enseignement de la technologie est omniprésent de la maternelle jusqu'au lycée. Elle y apparaît sous différentes formes. Il ne s'agit pas ici d'effectuer une description exhaustive de ces formes, mais de pouvoir saisir les différents objectifs visés par son enseignement pour étudier leurs interdépendances avec ceux de l'analyse fonctionnelle telle que nous l'avons abordée. Dans l'histoire de la technologie enseignée, ces objectifs ne sont pas toujours apparus comme essentiels et n'ont pas été perçus comme très stables. Il ne faut cependant pas que ces différentes variations soient vues comme un frein à son enseignement. L'existence de l'éducation technologique est indéniable, et il existe de nombreux établissements prestigieux comme, par exemple le Massachusetts Institute of Technology⁴, qui enseigne différentes technologies. Ils sont la preuve, par leur actualité et dynamisme, des possibilités offertes par ce que l'on peut considérer comme une méta-science. Le journal éponyme « Metascience » publie tout autant des articles dans le domaine de l'histoire et la philosophie des sciences que des études en sciences et technologie.

Si l'on s'intéresse aux toutes premières formes de la technologie, certains historiens des sciences arrivent à dater les débuts de son enseignement en France durant la révolution (Grison, 1996). Les suppressions temporaires de son enseignement ou les orientations vers une finalité plus portée vers une orientation professionnelle ne doivent pas faire oublier son aspect pluriscientifique et anthropologique qui paraît aujourd'hui plus que jamais nécessaire à l'éducation des futurs citoyens de notre monde. En effet il ne s'agit pas de restreindre l'enseignement de la technologie. Deforge (1993) a montré que cet enseignement doit tout autant être présent dans la voie d'orientation générale que dans la voie professionnelle. Pour lui, cette culture technique doit être une composante essentielle de tous les enseignements.

Nous allons voir ce qu'il en est dans le système éducatif français actuel.

⁴ Créé en 1861.

1.2.1. Un enseignement de l'école au lycée

L'éducation technologique en France fait partie de l'enseignement général. C'est un enseignement obligatoire prescrit à tous les niveaux de la scolarité de 3 à 14 ans.

1.2.1.1. À l'école primaire

Les travaux de Chatoney insistent sur le fait qu'il est à la fois plus important d'étudier des systèmes que des objets, et ce dès le début de la scolarisation des enfants (Chatoney, 2003, 2005). Elle rappelle que l'éducation technologique à l'école primaire est intégrée aux sciences. La pratique de cette éducation repose majoritairement sur l'habileté des élèves par une approche concrète. Il en découle des problèmes de relations entre les savoirs enseignés, les connaissances et les situations d'apprentissage. Le plus souvent l'activité est guidée et de ce fait, toujours d'après Chatoney, l'ingénierie se fait « à minima ». Nous pouvons alors prendre en compte le besoin de considérer les artefacts techniques comme des systèmes plutôt que comme de simples objets. Ce besoin peut apparaître très tôt dans notre système éducatif.

Des études empiriques, menées là encore par Chatoney et centrées sur l'école primaire, indiquent que l'analyse fonctionnelle est un élément structurant aussi pour les enseignants.

1.2.1.2. Au collège

La technologie doit trouver sa place parmi les autres disciplines. Si, en restant dans le domaine scientifique, on la compare aux mathématiques, à la physique ou aux sciences naturelles, la technologie apparaît comme une discipline récente. Son introduction dans les programmes du collège date des années 1980. Les programmes qui la concernent évoluent régulièrement et les contenus sont transformés au gré de modifications qui veulent adapter la technologie aux exigences didactiques et intellectuelles actuelles. C'est encore le cas aujourd'hui. À ce jour, c'est dans les programmes du collège qu'est introduite l'analyse fonctionnelle. Son enseignement peut se poursuivre suivant les options et filières choisies une fois que les élèves quittent le collège.

1.2.1.3. Au lycée

À partir de 15 ans, l'éducation technologique devient alors optionnelle. Les élèves qui choisissent cette option se préparent au baccalauréat de Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable (STI2D). Dans cette filière, les élèves sont censés acquérir un socle de compétences nécessaires pour comprendre et expliquer la structure et/ou le fonctionnement des systèmes (BO n°3 du 17 mars 2011). Si cette perspective concerne des élèves plus âgés que ceux dont nous parlerons dans nos travaux, on remarque cependant qu'elle se place dans la continuité de ce que nous avons présenté pour le moment. L'analyse fonctionnelle y est présente notamment dans les démarches d'ingénierie qui doivent être mises en œuvre pour concevoir, réaliser, améliorer ou optimiser un système. Si au collège, la finalité est axée vers la compréhension et l'analyse des objets techniques, au lycée elle concerne l'étude des processus. Les objets de savoir peuvent apparaître différents, on peut avoir la sensation de passer d'une logique de causalité directe à des interactions complexes, mais c'est certainement la continuité de l'apprentissage qui doit être mise en avant. Il est nécessaire que les élèves s'appuient sur des bases solides avant de poursuivre leur cursus.

Au lycée la tendance est de n'étudier le rôle de l'analyse fonctionnelle que par une entrée sur la programmation tel que cela s'effectue en automatisme. Si Hamon déclare que « La programmation repose essentiellement sur une analyse fonctionnelle du problème alors que la conception nécessite une analyse structurale de l'unité de contrôle » (Hamon, 2009) et même s'il souligne que peu de recherches sont faites au collège, c'est quand même pour nous un point de désaccord selon son interprétation d'une unité de contrôle. Pour nous, la conception et la programmation d'un système, que ce soit en informatique ou en automatisme, ne peuvent chacune faire partie d'une analyse différente. Fonctions et structures sont présentes dans chaque composante d'un système. Il est cependant clair qu'à ce niveau, les différentes formes de représentation d'un système prennent toute leur importance. Comme l'ont montré Talis et Ginestí (2005), il ne faut pas qu'une ambiguïté apparaisse dans le passage d'approches qui peuvent être descriptives ou procédurales à une représentation par des langages de programmations ou de conception. Au lycée aussi, l'étude des systèmes doit se faire de manière globale, même si dans un deuxième temps des langages techniques doivent être mis en place pour adapter le système aux besoins et contraintes envisagés.

1.2.2. L'étude de systèmes

L'étude de systèmes pluritechnologiques occupe une place centrale dans l'enseignement de la technologie. Comme nous venons de le voir, cette étude des

systèmes techniques s'intègre à l'éducation technologique et apparaît à tous les niveaux d'enseignement, de la maternelle au lycée.

Les objets sont intégrés dans des systèmes et milieux techniques : le rapport entre complexité / simplicité, entre besoins, fonctions et usages, entre structures, solutions et composants, entre échanges, interactions et comportement, est à examiner selon le point de vue étudié : approche fonctionnelle, systémique interne ou externe, en tant que simple composant ou faisant partie d'un tout. Nous voulons ici montrer comment l'analyse fonctionnelle s'intègre et découle d'une approche systémique.

Pour définir la manière d'analyser un système, nous nous référons à ce que nous comprenons des travaux de Le Moigne (1999) qui oppose deux registres de modélisation : la modélisation analytique et la modélisation systémique. Il part du principe que si les modèles les plus courants sont analytiques, ils ne rendent pas compte de la situation complexe. La modélisation systémique prend en compte le système d'action, ce que ne fait pas la forme analytique qui décrit un système fermé et raisonne sur un seul critère. Le Moigne reproche également au système éducatif de choisir la voie de la simplicité en enseignant uniquement des modèles analytiques, plus facilement accessibles que les modèles systémiques. Toujours pour Le Moigne, les processus de décision n'apparaissent pas dans les modèles analytiques alors que la modélisation systémique intègre ce facteur décisionnel et peut découler de la modélisation des processus cognitifs de résolution de problème, ce que nous reprendrons dans nos travaux. C'est pour nous cette liaison entre des prises de décision et une activité captée qui permet d'approcher de manière autonome un système. D'évidence si l'objet technique est défini comme un système et si celui-ci est trop vaste, on ne peut pas tout apprendre. On peut donc se demander s'il est plus judicieux d'enseigner l'objet d'étude dans son ensemble ou dans ses particularités. Si l'objectif principal est d'envisager l'autonomie des élèves, il faut alors que face à un système complexe il y ait un équilibre et une coopération entre l'activité et les prises de décisions (Le Moigne, *ibid.* ; Simon, 1996). Dès qu'un choix apparaît, une prise de décision doit être effectuée. Le choix fait suite à un problème qu'il faut résoudre. L'activité de résolution de problème est donc centrale en éducation technologique.

Pour Laisney, la résolution de problème semble peu adaptée à la phase de conception (Laisney, 2012, p. 53). Elle n'est pas toujours souhaitable dans un enseignement technologique scolaire (Ginestié, 2005). Elle pourra cependant apparaître comme valide dans notre cadre dans la mesure où, afin de juger les différentes réactions et l'utilisation de connaissances et savoirs acquis ou non précédemment, l'élève serait mis en situation devant un objet technique en panne. On rejoint par la même des situations sociales courantes, mais dans un cadre éducatif qui pourrait permettre de déceler les mécanismes mis en jeu et issus d'un apprentissage. L'importance des organisations didactiques pour comprendre les stratégies de résolution de problème par les élèves a déjà été démontrée (Ginestié, 2000, p. 6). Ces expérimentations basées sur un langage d'automatisme, le GRAFCET, ont montré que les élèves effectuent les tâches demandées

par routines habituelles et s'interrogent assez peu sur les fonctionnalités des systèmes (Ginestié, 2000, p. 21). Si l'on veut s'affranchir de cette logique, la résolution de problème doit faire intervenir des éléments spécifiques qui dévient l'élève de ces routines habituelles. L'objectif de nos travaux n'est pas de faire acquérir ou de renforcer un apprentissage, mais d'étudier les processus qui permettent l'étude d'un système.

Il nous faut cependant être conscients qu'il n'est pas envisageable d'apprendre tout d'un système. D'évidence on ne peut maîtriser l'ensemble d'un système. Avec les ouvertures citées précédemment, nous comprenons que celui-ci est alors trop vaste. Ce qui nous amène sur le plan éducatif à nous demander ce qu'il est pertinent de faire apprendre aux élèves. Faut-il privilégier les particularités ou au contraire l'ensemble ?

Cette différenciation se produit suivant la façon dont un système est présenté à un non-expert. Le système peut être vu comme une boîte noire, on ignore sa constitution et on analyse les entrées et sorties, c'est une approche holistique. On peut y opposer une analyse qui vise à expliquer le fonctionnement du système et va mettre en avant l'ensemble des éléments en interaction. Cette vision cartésienne ne peut pas être appliquée lorsque le système atteint une certaine complexité. Si la vision cartésienne apparaît séduisante pour faire comprendre un système, la complexité ne peut pas être réduite à des composants élémentaires. L'approche systémique se situe en dehors de cette logique d'enchaînement causale qui est traditionnellement utilisée en éducation et qui ne permet pas de tenir compte des changements et des différents comportements d'un système. Dans son étude comparative bibliographique, Host, après avoir détaillé le cheminement des différents acteurs à l'origine de l'approche systémique, conclut que dans un but pédagogique, il est important que les activités scientifiques concrètes permettent de dégager les concepts fondamentaux et s'oppose à une étude formelle des systèmes (Host, 1989).

Dans notre contexte de l'éducation technologique, l'approche systémique constitue un important changement. Cette approche a très probablement un effet positif sur la capacité des élèves à faire face aux problèmes d'une manière holistique. Les compétences et connaissances pour résoudre un problème doivent se monopoliser de manière structurée et globale. C'est une nouvelle façon d'aborder l'enseignement, et la nécessité d'envisager des artefacts techniques comme des systèmes plutôt que de simples objets apparaît très tôt. Ce fut déjà le cas pour des objets qui subissaient des innovations techniques majeures. Deforge cite l'exemple de l'étude des balances de pesées devenant électroniques et n'ayant plus rien à voir avec une balance à fléau (Deforge, 1993). Les objets peuvent être isolés, mais les liaisons avec ce qui donne du sens aux activités humaines ne font apparaître aucune frontière nette (Gilles, 1978). C'est par une approche systémique que peut alors se conduire et se concevoir l'éducation technologique (Barak, 1990, 2007 ; Brown et coll., 1989 ; de Vries, 2005 ; Dorst, 2006 ; Gartiser & Dubois, 2005). Pour Barak et de Vries, cela apporte une nouvelle vision de la conception. De Vries (2011) insiste sur le fait que la technologie doit être complétée par l'ingénierie, il utilise le terme anglais d'« engineering ». Ce terme ajoute

la dimension de développer et de produire de la technologie. Barak (2013) le rejoint sur ce sujet et ces auteurs parlent alors d'ingénierie et d'éducation technologique : ETE (Engineering and Technological Education). Barak (ibid.) montre cependant qu'il est important que cette éducation se fonde sur l'ensemble complet des compétences nécessaires à l'enseignement de l'ingénierie et de concepts technologiques. La combinaison de la technologie et de l'engineering permet de situer l'éducation dans l'activité humaine de la production d'objet technique. C'est cette adéquation entre une étude de système accès sur l'éducatif et le monde de l'industrie qui permet de donner du sens au processus de création des artefacts lors de l'apprentissage.

Meyer-Dohm dans une publication sur les concepts et perspectives internationales de l'éducation technologique (Graube, Dyrenfurth, & Theuerkauf, 2003) indique que l'approche systémique est essentielle à l'éducation technologique. Il place la pensée systémique avec la capacité d'abstraction comme les deux principaux objectifs de l'éducation technologique. Il définit la pensée systémique comme la capacité à prendre en compte et à traiter les connexions relationnelles, les logiques et les causalités, dans un monde de plus en plus complexe.

En s'inscrivant dans ce courant, nos travaux veulent montrer que la mise en place d'une éducation à « la systémique » est essentielle. La manière dont cette éducation est dispensée est primordiale. Différentes procédures sont envisageables, l'une d'elles concerne l'application de méthodes analogues à celles utilisées pour l'apprentissage d'un langage. En effet les représentations qui servent de support à la pensée systémique sont de véritables langages (Gérard Donnadieu, Daniel Durand, Danièle Neel, Emmanuel Nunez, Lionel Saint-Paul, 2003). Ces auteurs de l'Association Française de Science des Systèmes citent « une appréhension globale et rapide du système représenté, après apprentissage » comme l'un des avantages communément admis du langage graphique.

Nous allons maintenant étudier comment l'outil analyse fonctionnelle a été intégré aux programmes de technologie des collèges français.

1.3. L'analyse fonctionnelle dans l'éducation technologique

L'étude des programmes officiels et des manuels scolaires indique de quelles façons l'analyse fonctionnelle peut s'étudier au collège. Les choix pédagogiques et l'environnement épistémologique sont des indicateurs de la manière dont les connaissances sont transmises (Johsua & Dupin, 1993). Dans le cas de l'analyse fonctionnelle, la transposition peut s'effectuer avec au moins deux approches différentes. La première consiste en une indication des principaux concepts comme les interrelations dans un système, le rapport de l'homme au système. Chatoney (2003)

explique que, pour conceptualiser, il faut discerner les attributs d'une acceptation générique et sélectionner l'information. Cette démarche est destinée aux enseignants. Une autre approche plus pragmatique considère l'enseignement des outils à partir de la description d'un objet, c'est un modèle utilitaire qui est proposé, il est pensé pour l'apprenant. Il s'agit de lui fournir une représentation qui peut aider à la conceptualisation (J. L. Martinand, s. d.) et qui soit inhérente aux pratiques (Lebahar, 2006).

Les programmes de technologie au collège incluent également un aspect économique et présentent toujours des connaissances à acquérir qui concernent le coût d'un objet technique ou des matériaux utilisés. Cette entrée par l'analyse de la valeur nous amène aussi à l'analyse fonctionnelle. Cette dernière est en effet définie comme un moyen de l'analyse de valeur (Jouineau, 1982). C'est par une analyse fonctionnelle correcte que les coûts inhérents à la conception et à la fabrication d'un produit pourront être réduits. Nous retrouvons ici une partie de l'aspect systémique présenté au chapitre précédent.

Nous nous sommes donc intéressés aux programmes officiels de technologie et aux manuels scolaires, pour y analyser la présence des outils de l'analyse fonctionnelle.

1.3.1. L'analyse fonctionnelle à travers les programmes institutionnels

Le terme d'analyse fonctionnelle apparaît dès l'introduction d'un enseignement de la technologie dans l'éducation nationale vers 1960. On le trouve dans les programmes du collège, sous la forme d'un enseignement optionnel. C'est par l'observation des objets techniques, associée au dessin technique que sont abordées les notions de logique fonctionnelle (Lebeaume & Martinand, 1998). La technologie voudrait s'imposer comme une discipline à part entière, en se basant sur le fait que certains langages graphiques sont essentiels à la compréhension de notre monde où les systèmes et objets techniques tiennent une place qui ne cesse de croître. Dans les années 1970, lorsque l'enseignement de la technologie est rendu obligatoire, c'est principalement au travers de schémas et toujours par l'intermédiaire du dessin technique que sont étudiés des objets mécaniques simples. Ces études concernent majoritairement l'aspect pratique plutôt que l'aspect fonctionnel même si à la base, les programmes mettent en évidence les fonctions techniques et leurs organisations logiques. C'est un mélange de sciences physiques et de technologie qui est enseigné (MEN, 1974).

Vient ensuite en 1977 la période de l'EMT (Éducation Manuelle et Technologique). La réforme mise en place est principalement orientée vers un renoncement à l'aspect « physique ». Le terme « physique » est dans ce cas associé à la discipline du même nom, elle concerne la science qui tente de comprendre et modéliser le monde qui nous

entoure. Les programmes indiquent clairement que l'analyse fonctionnelle doit être enseignée, mais dans les classes la réalité de l'enseignement de la technologie est plus axée sur la partie « éducation manuelle ». Les travaux manuels sont largement dispensés durant cette période tout en accordant une moindre importance à l'aspect technologique (Harlé, 2012).

La technologie fut instaurée en tant que discipline en 1985, faisant suite aux travaux de la COPRET (Commission Permanente de Réflexion sur l'Enseignement de la technologie). Les programmes introduisent alors la démarche de projet et l'ensemble se veut proche de l'organisation réelle du monde du travail et de l'entreprise. De fait, l'analyse fonctionnelle est alors plus centrée sur les outils tels que le cahier des charges, le cycle de vie d'un produit.

En 1996 de nouveaux programmes de technologie sont adaptés aux différents niveaux du collège. Le but est d'amener l'élève à maîtriser la démarche de projet en dernière année de collège. Dans les classes précédentes, seule la partie acquisition des chaînes fonctionnelles est étudiée. Il est aussi précisé que les langages spécifiques de programmation, tel que le Grafcet ou des langages procéduraux ne doivent pas être enseignés (France & Direction de l'enseignement scolaire, 1999).

Les derniers programmes mis en place en 2009 fournissent de nouvelles indications et repositionnent l'objet technique d'une nouvelle manière.

Cela se visualise sur la figure 3. Ce nuage de mots est obtenu par analyse lexicale, avec le logiciel Iramuteq. Les différents termes ont une taille plus ou moins importante et sont plus ou moins éloignés du centre suivant leurs occurrences et leurs co-occurrences dans les programmes des classes de 4^e et 3^e, qui concernent les élèves de 14 et 15 ans. Plus un terme apparaît souvent dans ces programmes, plus sa taille est importante et plus souvent il est dans la même phrase ou le même paragraphe que le terme central, plus il est proche du centre du cercle.

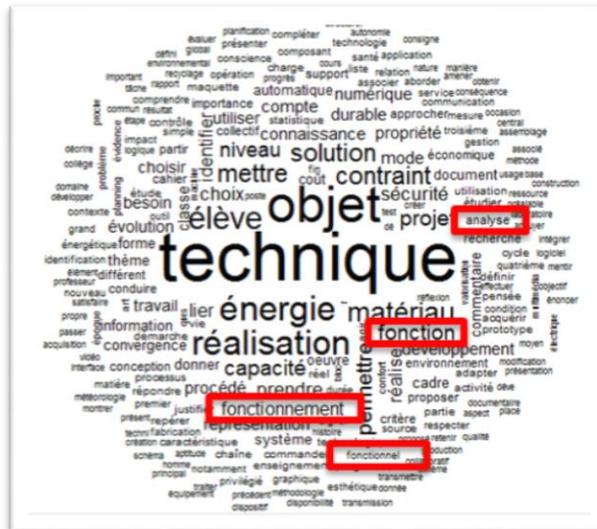


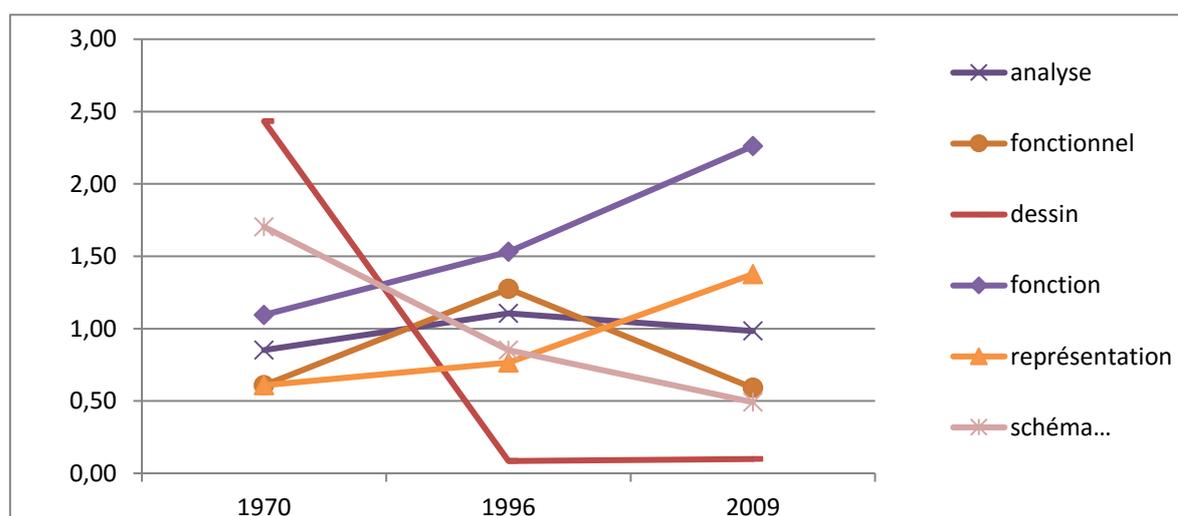
Figure 3 : présence lexicale dans les programmes de technologie de 4^e et 3^e

Nous observons que les programmes sont centrés sur l'objet technique, ce qui correspond bien à une des préoccupations principales de la technologie. Les termes « analyse », « fonction » et « fonctionnement » apparaissent assez fréquemment. Le terme « fonctionnel » a lui, beaucoup moins d'occurrences. Nous les avons encadrés pour mieux les repérer dans le nuage de mots. Il apparaît ainsi que l'analyse fonctionnelle est bien présente en éducation technologique, sa place n'est cependant pas prépondérante. L'étude de l'objet technique est fortement dépendante de sa fonction et de son fonctionnement. Cependant l'analyse fonctionnelle n'apparaît pas comme une part essentielle de cette étude, mais plus comme un complément. Il faut toutefois être conscient des limites de cette représentation qui ne tient pas compte du contexte des termes.

Les programmes de la technologie au collège de 2009 (MEN, 2008) introduisent le rapport à l'objet technique du point de vue de son coût, sa commercialisation ou de sa valeur pour l'utilisateur ou l'acheteur. Ces fonctions sont intégrées à la compréhension du fonctionnement de l'objet, de sa conception, de sa fabrication et des matériaux utilisés. C'est cette combinaison entre l'aspect purement technique et les aspects sociaux, économiques, artistiques qui amènera l'élève à un certain degré de réflexion. Cela pourra l'aider dans les choix auxquels il aura à faire face. Si en classe de 6^e, c'est-à-dire pour des élèves de 11 à 12 ans, l'accent est mis sur le fonctionnement de l'objet, en classe de 5^e (les élèves ont alors 12 ou 13 ans) les contraintes sociales et économiques sont prises en compte et présentées aux élèves. De nouvelles fonctions sont également introduites : « prix, fiabilité, disponibilité, délai ».

L'évolution de l'occurrence de certains termes propres à nos préoccupations fournit un indicateur des orientations des divers programmes de technologie (Graphique 1). L'analyse a été faite sur les programmes des classes de quatrième et troisième depuis l'introduction de la technologie au collège en 1970.

L'axe des abscisses correspond aux années et l'axe des ordonnées à une occurrence relative, rapportée au texte total, du nombre de mots spécifiques à l'étude des systèmes de chacun des programmes de 1970, 1996 et 2009. Nous avons choisi les termes « analyse - fonctionnel - fonction », car ils sont directement au centre de nos préoccupations, les termes « dessin - représentation - schéma » sont ceux qui ont subi des variations significatives et s'inscrivent dans les principaux modes de représentation utilisés en technologie.



Graphique 1 : occurrence de certains termes dans les programmes de technologie de 3^e et 4^e

Ainsi le terme « dessin » présent dans les premiers programmes en 1970 et, à un degré moindre le terme « schéma », deviennent pratiquement absents dans les nouveaux programmes. La disparition des tables à dessin dans les bureaux d'étude au profit d'ordinateurs équipés de logiciels spécifiques de CAO - DAO (conception assistée par ordinateur, dessin assisté par ordinateur) et l'avènement de la CFAO (conception et fabrication assistées par ordinateur) ont contribué à ce fait (Laisney, 2012). On s'aperçoit que l'orientation des textes officiels vers la compréhension du fonctionnement de l'objet technique prend de l'importance à chaque réécriture des programmes : le terme « fonction », est en progression au fil des années. Il en va de même avec le terme représentation, la nécessité de donner un sens à l'objet technique implique nécessairement une représentation de celui-ci dans la mesure où dessin et schéma sont plus ou moins absents.

L'occurrence du terme analyse reste pratiquement constante au fil des différents programmes. Comme le terme « fonctionnel »⁵ subit plus de variations que « analyse », ces deux termes ne sont donc pas systématiquement associés. Le terme fonctionnel était plus présent dans les programmes de 1996 que dans ceux des autres années : cela s'explique par l'orientation vers la démarche de projet. La démarche de projet se caractérise par l'utilisation d'outils comme le cahier des charges fonctionnel. L'abandon

⁵ Les formes féminines et masculines des mots sont comptabilisées comme un seul terme.

de cette démarche en 2009 explique la baisse de l'occurrence du terme fonctionnel dans les programmes de technologie de 2009. En France, nous observons donc actuellement une disparition de l'analyse fonctionnelle, alors qu'elle était présente depuis 1970.

De manière plus générale, les savoirs et connaissances à acquérir en technologie semblent toujours chercher leur place. Le rapport à l'objet technique et l'industrie restent encore à approfondir. Et même si elle est apparue plus clairement dans certaines versions antérieures des programmes, à l'heure actuelle, l'analyse fonctionnelle ne fait pas encore partie des enseignements qui pourraient être propres à cette discipline. Des éléments de l'analyse fonctionnelle, même s'ils sont reconnus comme des références, apparaissent ou disparaissent des programmes au gré des méthodes mises en place (Lebeaume, 2012).

Au niveau international, on retrouve cette problématique d'une technologie en rupture avec d'anciens enseignements plus proches de l'Éducation Manuelle et Technologique, citée précédemment, mais toujours rattachée au contexte de chaque pays et explorée par des auteurs internationaux dans l'ouvrage édité par Jones et de Vries (2009).

Même si en France, l'analyse fonctionnelle fait l'objet de plusieurs normes, le problème de son utilisation dans l'industrie est pointé de manière assez générale dans différents pays, entre autres par manque de compétences (Spaulding, Bridge, & Skitmore, 2005). L'étude de sa présence dans les différents systèmes d'enseignement internationaux demanderait une enquête plus approfondie. On note cependant que des représentations graphiques, comme les blocs fonctionnels, le diagramme « tortue » au Royaume-Uni, ou des méthodes plus globales comme la démarche de projet avec le cycle de vie d'un produit, proches de l'analyse fonctionnelle, sont introduits dans des curriculums éducatifs de certains pays.

1.3.2. L'analyse fonctionnelle en classe de 4^e et 3^e

C'est principalement en classe de 4^e, pour des élèves de 13 à 14 ans, qu'apparaît le terme de représentation fonctionnelle. Seules, la modification ou la création partielle de diagrammes ou schéma-blocs, sont préconisées. Pas plus que le codage de programmation d'automatisme, ces outils ou méthodes ne doivent être un objet d'enseignement à part entière pour ce niveau. En classe de 3^e, entre 14 à 15 ans, l'élève doit acquérir certaines capacités sur la représentation fonctionnelle : énoncer et décrire sous formes graphiques, rédiger ou compléter un cahier des charges. C'est à partir de ces fonctions que l'élève sera sensibilisé à la notion de valeur d'un objet technique. Cela lui permettra de prendre conscience que les contraintes citées précédemment, sociales et économiques, jouent un rôle non négligeable lors de la conception et de la fabrication. Dans cette perspective, il faut lui apprendre à connaître d'où viennent les éléments

constitutifs du coût d'un objet technique. Des domaines d'application, du niveau de l'élève, sont mis en place : les transports en 6^e, habitats et ouvrage en 5^e, confort et domotique en 4^e. En 3^e aucun domaine d'application n'est imposé.

Dans les ressources pour faire la classe (MEN, 2009), la question posée est de savoir si un objet technique choisi par l'élève lui convient, en tenant compte de l'ensemble des contraintes, des performances de l'objet ainsi que de son influence et de son intégration dans le monde extérieur. Si certaines ressources documentaires citées spécifient que des documents issus de l'entreprise peuvent être utiles aux professeurs, seules des décompositions suivant les principales fonctions d'un objet technique sont données en exemples. Tout comme dans le programme officiel, dans ce document de ressources complémentaires, ce n'est qu'au niveau de la 4^e qu'apparaît le terme de représentation fonctionnelle.

La réforme du collège qui sera appliquée en 2016 introduit de nouvelles prescriptions dans les programmes de technologie. Dans ces futurs programmes qui seront mis en place à la rentrée 2016, le découpage se fait par cycles. Le cycle 4 correspond aux classes de 5^e, 4^e et 3^e, c'est-à-dire pour les élèves de 12 à 15 ans. Pour ce cycle la technologie est aussi dénommée science des systèmes artificiels. L'accent est mis sur la nécessité pour les élèves de pratiquer une discipline qui leur permette d'agir et d'intervenir dans le milieu technique contemporain. Les inventions, innovations et usages des produits sont étudiés de façon à prendre en compte les relations sociales, économiques, environnementales, techniques et scientifiques (MEN, 2015, p. 50). Nous voyons ici que c'est bien dans un objectif de placer la technologie comme un enseignement général avec une ouverture systémique indéniable que ces nouveaux programmes sont mis en place. C'est l'intérêt de l'éducation technologique pour former des futurs citoyens qui est mis en avant. Toujours d'après ces programmes cela doit se faire au travers d'activités de modélisation et de réalisation au cours de travaux individuels ou collectifs. Cette nouvelle écriture des programmes se situe à la fois dans la continuité des précédents, les compétences et connaissances à acquérir sont identiques et replace la technologie dans un contexte scientifique et social.

1.3.3. L'analyse fonctionnelle à travers les manuels scolaires

Nous nous sommes intéressés aux manuels pour les classes de 4^e et 3^e des deux principaux éditeurs en éducation technologique ; Delagrave et Foucher. Ces deux éditeurs ne présentent pas tous les outils de l'analyse fonctionnelle dans les manuels scolaires. Ils en sélectionnent pour l'intérêt pédagogique qu'ils apportent en termes de compréhension de systèmes. Ils privilégient par exemple le graphe des inter-acteurs ou d'autres outils de la méthode APTE comme le diagramme des besoins voire le diagramme FAST et s'appuient sur les représentations graphiques d'exemples. La figure

4 est un de ces exemples, extrait du manuel « Technologie nouveau programme 3^e » de 2010.

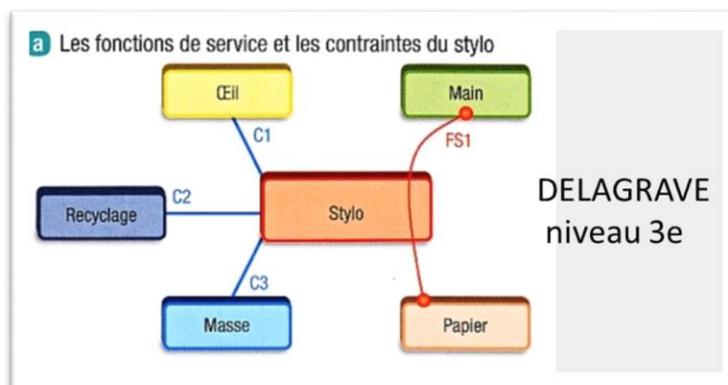


Figure 4 : exemple de représentation graphique

Cet exemple est tout à fait représentatif de ce que fournissent ces manuels. De manière générale, dans ces ouvrages d'une centaine de pages, on en trouve moins d'une dizaine consacrée à l'analyse fonctionnelle. Les supports sont systématiquement des exemples d'objets variés tels qu'un baladeur MP4 ou un système d'éclairage. Nous retrouvons ici trois des fonctions d'un manuel, décrites par Choppin (2005) : « la fonction référentielle » qui retranscrit ce qui est prescrit dans les programmes, « la fonction instrumentale » qui sert à l'élève pour son apprentissage et « la fonction documentaire » qui s'appuie sur un exemple et le formalisme de l'outil pour représenter l'objet technique qui sert de support.

On connaît le faible usage des enseignants pour les manuels en technologie⁶ mais on note que les exemples avancés ici se retrouvent nettement à l'identique dans divers sites internet officiels et officieux (pour la plupart des sites d'enseignant). Notre but n'est pas ici de faire une recherche exhaustive sur ces pratiques des enseignants, ce qui pourrait faire l'objet d'une étude particulière, mais d'approcher les représentations de l'analyse fonctionnelle qui sont mises à disposition des enseignants. Nous nous arrêtons à ces exemples pour justifier nos propos. Nous notons que Plé (2012) a effectué une recherche sur les intentions et les utilisations des manuels scolaires de sciences et technologie à l'école élémentaire. Elle conclut en disant que les manuels sont souvent perçus comme des béquilles, aide didactique à la préparation, par les enseignants, au mieux comme un outil de formation et que les intentions des auteurs donnent lieu à de multiples usages de la part des enseignants. Elle pointe le problème de la différence de références entre le maître et l'élève, référence qui ne peut être commune. D'autres auteurs (Astolfi, 2008 ; Rak, 2012) vont jusqu'à prôner la suppression des manuels actuels et leur remplacement par des manuels ressources. Ils voient étrangement un

⁶ Selon une enquête, en 2012, sur un effectif réduit, seulement 4 % des enseignants de technologie utilisent un manuel (Rak, 2012).

problème d'approche à la recherche d'informations qui ne serait pas moderne et une mauvaise utilisation méthodologique des livres de technologie. Nous nous centrons sur un axe différent de celui de l'accès au savoir et de ses supports. Ce qui nous amène dans notre cas à pointer d'autres problèmes qui nous apparaissent fondamentaux et prennent en compte l'objet d'étude.

1.4. Une transposition à problèmes

Si elle est bien présente dans l'enseignement technologique, l'introduction de l'analyse fonctionnelle ne va pas sans poser certains problèmes. Comme nous l'avons vu, ces outils ont une provenance industrielle. Leur transfert dans le milieu scolaire n'est pas sans difficulté. Ces difficultés concernent plus particulièrement les connaissances et les références qui sont mises en jeu.

Même si au niveau politique⁷ des démarches de rapprochement entre l'industrie et l'éducation sont préconisées, les conclusions restent très axées vers l'enseignement de l'informatique ou l'intégration de la technologie dans le domaine des sciences. C'est principalement la place de la partie scientifique qui est approfondie, le manque de lisibilités des savoirs à enseigner en technologie semble faire défaut. Il est vrai que les objectifs industriels n'ont pas pour priorité l'acquisition de savoirs. Nous notons ici cette antinomie qui apparaît entre production et éducation. Il est peut-être erroné de penser que l'approche constructiviste, fondée sur l'élaboration de connaissances, qui s'opère en classe n'a pas ou peu de liens avec ce qui se passe dans l'industrie et de manière plus générale dans un environnement technologique. Ginestié (2008) parle de modèle de la logique d'apprentissage organisée autour d'acquisition de compétences. Ces compétences peuvent se repérer au travers de comportements observables significatifs qui, pour nous, sont proches de ce qui se passe dans l'industrie. Elles peuvent requérir la connaissance d'outils telle que l'analyse fonctionnelle.

Le problème se situe également au niveau de l'adaptation et de la transformation de ces outils en instruments pour enseigner.

Cette étude s'intéresse au rôle éventuel de l'analyse fonctionnelle dans l'enseignement de la technologie au collège et dans quelle mesure elle sert d'instrument dans les pratiques enseignantes. En France, ce champ de recherche, sur l'utilisation de l'analyse fonctionnelle par les enseignants, a été ouvert à l'école primaire par Chatoney (2003). Des études empiriques (Chatoney, *ibid.*, 2006, 2010,) conduites pour ce niveau d'enseignement général indiquent que l'analyse fonctionnelle est un instrument

⁷ Rapport provisoire à l'assemblée nationale pour faire connaître et partager les cultures scientifiques techniques et industrielles (CSTI) : un impératif (Olivier & Leleux, 2014)

structurant pour les enseignants. Elle permet notamment d'inscrire l'éducation technologique dans le cadre des activités humaines de production d'objets techniques et de ne plus cantonner l'éducation technologique en application des sciences. Du côté des élèves, l'analyse fonctionnelle situe leur action dans l'ensemble du système technique. Autrement dit, elle donne du sens aux activités de conception d'artefact. En termes d'apprentissage on voit tout l'intérêt de l'analyse fonctionnelle. Cependant, la mise place de l'analyse fonctionnelle issue du monde industriel fait apparaître entre autres deux problèmes : un problème de transfert des outils industriels vers l'éducation technologique notamment sur les savoirs en jeu et les références (Graube, Dyrenfurth, & Theuerkauf, 2003), et un problème de transformation en instruments pour enseigner.

Le principal enjeu est de discerner quelles références et connaissances doivent être transmises en éducation technologique. En fait, les élèves vivent dans un monde de systèmes techniques qui comportent des aspects technologiques multiples et multidisciplinaires. Nous devons leurs enseigner cette réalité complexe, et ceci pourrait être réalisé avec l'utilisation partielle ou totale de l'analyse fonctionnelle. L'analyse fonctionnelle permet de prendre en considération la relation entre les humains et les machines et l'interdépendance entre les différentes fonctions et solutions techniques, au sens de Simondon (1958).

1.4.1. L'objectif d'efficacité

Le lien avec l'efficacité peut se poser de la manière suivante : l'analyse fonctionnelle ne semble pas très performante dans les processus d'enseignement apprentissage. Pour corroborer cette supposition, nous pouvons revenir sur son intégration dans les programmes officiels de technologie. Cette intégration ne va pas de soi et les fluctuations de la présence de cet enseignement sous-entend bien que l'efficacité de l'analyse fonctionnelle en tant qu'instrument d'apprentissage n'est pas clairement établie. Son usage reste réduit même si l'avantage des représentations symboliques est largement reconnu.

De façon globale le lien entre éducation et efficacité pose de nombreux problèmes. La mesure de l'efficacité d'un enseignement peut prendre l'orientation d'obligation de résultat, mais cette voie reste sujette à diverses polémiques (Lessard & Meirieu, 2005). Pour essayer de clarifier cette notion, nous pouvons nous appuyer sur le fait qu'il existe une différence entre l'efficacité de l'enseignant et l'efficacité d'un instrument qu'il utilise. Même si nous sommes ici plus intéressés par les dispositifs que les pratiques, nous savons que ces deux aspects sont intimement liés. Il est donc essentiel que nous abordions et prenions en compte ce que fait l'enseignant. Pour ce dernier, Clanet (2013) a montré au travers d'une modélisation de l'enseignement et de l'apprentissage que, sur les élèves de l'école primaire, l'efficacité de l'enseignement est loin d'être uniformément

réparti, l'effet n'est pas systématiquement homogène. La généralisation de cette conclusion aux élèves du collège, en secondaire, a été confirmée par Talbot (2013).

Même si Dumay (Dumay & Dupriez, 2009) cite les dispositifs comme facteurs de l'efficacité dans l'enseignement, ses études s'intéressent principalement aux pratiques des enseignants, les instruments eux-mêmes sont peu présents. C'est en effet en fonction des résultats des apprentissages que se définit l'efficacité. Cela se retrouve dans la définition de l'efficacité de l'enseignement que propose Dumay (ibid., p. 7) « ce sont les dispositifs et les pratiques qui favorisent l'apprentissage des élèves et augmentent leur performance dans un contexte d'enseignement ». Pour sa part Clanet (2013) propose la définition suivante :

« - efficacité : c'est la capacité à parvenir à ses fins, à atteindre ses objectifs, à produire un résultat. Les objectifs peuvent être nombreux, quantitatifs et/ou qualitatifs. L'efficacité se constate sous forme de contrôle binaire (objectif atteint ou pas). »

Si nous reprenons, toujours du même auteur la définition suivante :

« - efficience (de efficiency) : c'est la capacité à atteindre les objectifs au prix d'une consommation optimale des ressources. L'efficience réclame que soient arrêtés les indicateurs permettant de pouvoir mesurer le degré d'efficience. »

Nous avons ici la prise en compte des ressources, ces ressources sont pour nous les instruments comme l'analyse fonctionnelle. Nos travaux iront donc dans une direction où l'on tentera d'établir la relation entre l'efficience, en rapport aux dispositifs, et l'efficacité, en rapport aux apprentissages.

Finalement nous nous poserons la question de savoir quelles sont les variables qui pourraient rendre cet enseignement - apprentissage plus efficace pour les élèves de collège.

1.4.2. La finalité et la place de ces savoirs

L'ensemble de ce qui précède nous permet de postuler que l'analyse fonctionnelle peut apparaître comme un instrument de médiation du savoir dans le processus d'enseignement - apprentissage.

Nous avons abordé la finalité sous l'angle de la compréhension des systèmes techniques. Mais l'apprentissage des notions et des savoirs en jeu nous amène directement vers la question de son utilité : quelles fonctions cet apprentissage peut-il avoir ? Permet-il d'accompagner l'élève vers de nouveaux concepts en mettant en place des structures spécifiques ?

Peu d'études ont été menées sur ce sujet en technologie dans les collèges de France où l'éducation technologique appartient toujours à l'enseignement général. La plus en

vue est l'approche instrumentale initiée par Rabardel (1995) que nous reprendrons dans nos cadres théoriques.

L'instrumentalisation des outils fait émerger un certain nombre de problèmes, car les instruments de médiation ne garantissent ni l'efficacité, ni la finalité. Ces instruments de médiation doivent subir une modification. Cette modification est identique à la désyncrétisation qui adapte les savoirs savants en savoirs enseignés suivant un procédé de transposition didactique (Afeissa, 2014) . La pratique théorique est divisée en champs de savoirs délimités qui donnent lieu à des pratiques d'apprentissage spécialisées. Cette démarche vise à aboutir au résultat et se voudrait une aide à l'apprentissage. Cependant il ne faut pas oublier que les outils de l'analyse fonctionnelle sont pensés dans une démarche de conception. Les présenter uniquement comme des savoirs peut aller à l'encontre de l'effet recherché et ajouter de la complexité à l'apprentissage des systèmes pour l'élève. Il ne s'agit pas en effet d'apprendre l'analyse fonctionnelle pour elle-même.

Nous venons de présenter l'ensemble du contexte qui contient les éléments sur lesquels porte notre étude. Ceci n'est qu'une première approche sur les processus et phénomènes qui apparaissent lors d'enseignements et apprentissages en technologie, pour aller plus loin il nous faut maintenant les détailler.

2. Enseignement - Apprentissage en technologie

2.1. Un processus

2.1.1. De la pédagogie à la didactique

La question de l'enseignement - apprentissage renvoie naturellement à deux processus distincts : l'enseignement et l'apprentissage. Mais l'enseignement - apprentissage comporte différents éléments : un enseignant, des élèves, une activité, une situation avec à une typologie donnée, un ou des instruments de médiation, des savoirs à transmettre. Dans les faits, comme le montrent certains auteurs (Chatoney, 2003 ; Ginestié, 2000 ; Sensevy, 2011 ; Tricot, 2004 ; Venturini, 2012), les différents éléments sont interdépendants.

Les modèles qui présentent ces éléments sont pour la plupart issus du triangle pédagogique. Ils intègrent des travaux et données sur la pédagogie. Ce sont les résultats des travaux de Piaget sur l'accommodation et l'assimilation et des représentations fournies par Rabardel (1995) intégrant la genèse instrumentale qui sont mis en avant⁸. Mais pour nous si ces modèles catégorisent chacun des pôles présents et explicitent les liaisons entre ces pôles, ce n'est pas suffisant, les différentes interactions et la place des processus ne peuvent être linéaires.

En accord avec Ginestié (2000), ce sont les travaux issus de la didactique qui permettent de mieux comprendre les processus d'enseignement - apprentissage. Le processus est perçu comme un système didactique complexe.

C'est ce que proposent Ginestié et Tricot (2013) avec une nouvelle approche : c'est le côté didactique et social qui est pris en compte chez l'enseignant ; chez l'élève on s'intéresse à la phase d'apprentissage et à son aspect psychologique. Le processus dans sa globalité est abordé du point de vue didactique. Ces auteurs déclarent que :

⁸ Par exemple Rézeau (Rézeau, 2002) développe un modèle qu'il explique de la façon suivante : « Ce nouveau modèle nous a permis d'attribuer aux instruments une place à part entière en tant qu'agents médiateurs du savoir. Il nous a également permis de définir et de placer, chacune à la place qui lui revient, la médiation-instrumentation et la médiatisation-instrumentalisation. »

« Les systèmes didactiques sont complexes et renvoient à des niveaux d'interactions imbriqués dans des réseaux tout aussi complexes. C'est ce qui rend difficile toute forme de modélisation de l'activité de l'enseignant dans une perspective de généralisation et les règles de conduite que l'on peut voir formalisées ici ou là sont des tentatives balbutiantes de construire un modèle général de l'action didactique. Pourtant, il est indéniable que l'un a une influence sur les autres, tout autant que les autres ont une influence sur l'un. Ces influences réciproques organisent le déroulement de l'enseignement et, in fine, conditionnent les apprentissages des élèves » (Ginestié & Tricot, 2013).

Cette vision remet en cause l'approche purement pédagogique. Le processus est évolutif et, il est impératif, pour le comprendre, d'effectuer des analyses à la fois sur l'enseignement, sur l'apprentissage et sur les interrelations entre ces pôles. Dans ce contexte novateur, Sensevy (2011) introduit l'action conjointe en didactique.

2.1.2. L'action conjointe en didactique

Pour lui, le processus est une situation institutionnelle avec un savoir prescrit, transmit par l'enseignant dans un contexte de classe, à destination de plusieurs élèves, avec différents moyens, une logistique et un système d'échange entre les élèves et l'enseignant. Ce dernier est, de fait, dans un déroulement spécifique lorsqu'il enseigne : il est plus vu comme un guide que comme un détenteur du savoir. Outre cette fonction, perçue comme un accompagnement dans l'apprentissage, l'enseignant a d'autres rôles particuliers. En effet, le concept de l'action conjointe a des limites. Dans ce rapprochement entre l'enseignant et l'élève, l'action est considérée comme effectuée. Mais tout ne va pas de soi, la dévolution pose des problèmes (Chatoney, 2003), le rôle de l'enseignant n'est plus seulement de guider. De fait, pour certains (Amigues, 2003 ; Develay, 2015 ; Rogalski, 2000) l'enseignant apparaît alors comme un concepteur dans la mesure où c'est lui qui met en place et s'approprie la séance de cours. Et si nous nous plaçons du côté des élèves, en accord avec Brousseau (Brousseau & Balacheff, 1998), la dévolution est une pièce maîtresse. C'est l'élève qui doit prendre en charge son propre apprentissage des savoirs, et cela aussi ne va pas sans poser de problèmes. L'environnement de travail, la nature de la tâche, l'affectivité des élèves sont certains de ces problèmes pointés par Andreucci et Chatoney (2006). Pour les élèves, se motiver, correspond à s'emparer de l'apprentissage (Bruner, 1966). Ils ont donc une part active que l'enseignant doit réguler sans vraiment en maîtriser tous les paramètres à la fois humains, sociaux et cognitifs.

2.1.3. Une orchestration instrumentée

Il se confirme que la description de ce processus est donc complexe. Pour approcher une représentation de cette complexité, nous pouvons nous appuyer sur les travaux de Trouche (2003). Il introduit la notion d'orchestration instrumentée. Elle est définie comme « une explicitation d'un projet didactique donné » (Trouche, 2009). La gestion instrumentale que doit penser l'enseignant intègre la temporalité. C'est une approche supplémentaire qui s'intègre au processus. La notion de temps nous permet de repositionner les problèmes introduits sur la finalité de la tâche et son efficacité. On voit ici que ces problèmes ne sont pas uniquement liés à la transposition, mais relèvent aussi du processus. Autrement dit, le processus d'enseignement – apprentissage peut s'aborder de différents points de vue complémentaires : didactique, psychologique sur les apprentissages, cognitif, social ou pédagogique. Tous ces points de vue montrent différents aspects de l'enseignant ou de l'élève.

Mais chacun des éléments que nous voulons étudier a des liens avec l'enseignant et avec les élèves. On peut alors se poser la question des outils nécessaires pour comprendre les phénomènes que l'on veut étudier. Quel angle choisir ? Les outils sélectionnés vont-ils privilégier un axe plus qu'un autre ou, au contraire, sont-ils adaptables ?

Il ne s'agit pas ici d'englober tous les aspects cités, ce qui serait vain, mais d'explorer ce qui a été peu abordé par les spécialistes de l'éducation et peut faire défaut dans la compréhension des processus d'enseignement - apprentissage. Comme cela se fait couramment, pour pouvoir étudier ce qui se produit, nous allons nous affranchir de certaines conditions (Favre & Lenoir, 2015). Pour trouver notre approche analytique, nous devons donc choisir des outils en gérant cette antinomie entre la volonté d'aborder la complexité et la nécessité d'opérer certaines simplifications pour rendre l'étude possible. D'après nous, se placer, par exemple, uniquement dans le plan de l'ergonomie ne permet pas de relier les différents points de vue présentés. Nous nous efforcerons de choisir des outils qui ont cette capacité d'intégration. C'est ce que nous abordons dans le chapitre suivant.

2.2. L'élaboration et la constitution des cadres théoriques

Pour construire nos cadres théoriques, nous nous basons sur plusieurs typologies de travaux qui correspondent à l'apport de différents didacticiens.

Nous avons abordé la complexité du processus d'enseignement - apprentissage, le rapport au savoir en éducation technologique et la transposition entre des outils issus du monde industriel et l'éducation. Les questions développées précédemment sur ces sujets traitent de la référence à adopter et des modèles de transmission et d'ingénierie qui sont les mieux adaptés à l'enseignement. Diverses possibilités de réponses apparaissent, dont certaines font partie de deux axes de recherches existants.

2.2.1. L'approche par l'action conjointe

Certains auteurs travaillent sur l'analyse des pratiques en classe et recherchent un modèle d'analyse de séquence. Tiberghien et Malkoun proposent une approche théorique fondée sur l'activité de modélisation des phénomènes physiques, les savoirs sont analysés en tant que production conjointe du professeur et des élèves (Tiberghien & Malkoun, 2007). Dans ce contexte, si les grilles d'analyse sur différentes temporalités et le travail à différentes échelles de temps peuvent être reproduites dans nos travaux, les pratiques d'enseignement - apprentissage partent par contre des savoirs ce qui, comme nous l'avons vu, pose certains problèmes en technologie où les savoirs sont mal définis. Ces auteurs partagent, sur ce point du rapport au savoir de la part de l'enseignant, les orientations de Sensevy. Celui-ci présente la théorie de l'action conjointe comme nécessaire entre l'enseignant et les élèves (Sensevy, 2011). Le rôle de l'enseignant répond à celui d'un guide de l'apprentissage qui régule le travail des élèves, nos travaux prennent en compte cette attitude. On peut aussi se référer à Venturini (2012), qui collabore avec Tiberghien, mais reste quand même plus modéré que Sensevy sur le rôle de guide de l'enseignant et pose la question de l'absence d'étude des déterminants de l'action dans cette théorie. Cependant, dans tous ces travaux, l'arrière-plan est toujours celui de savoirs, et les références à enseigner semblent évidentes. Mais, pour nous, les élèves n'ont pas forcément des références communes avec les enseignants. Il apparaît nécessaire de compléter cette action conjointe par une référence qui ne soit pas uniquement institutionnelle et permette d'envisager l'observation d'une véritable différenciation avec et entre les élèves. Dans notre cas il est très peu probable que les références industrielles et les outils issus de démarches telles que l'analyse de la valeur ou l'analyse fonctionnelle puissent apparaître comme des références pour les élèves. Les images véhiculées par ces notions technologiques sont assez éloignées de celle d'autres disciplines scientifiques comme les mathématiques, la physique ou les sciences naturelles. Il s'agit donc de compléter ces apports avec un deuxième axe de recherche.

2.2.2. L'approche par l'activité

Une manière différente d'aborder la façon dont les connaissances se mettent en place est donnée par les chercheurs de l'équipe Gestepro du laboratoire ADEF⁹. Brandt-Pomares étudie l'interaction du point de vue de l'activité (Brandt-Pomares, 2003). Ses travaux, dans le secteur de la consultation d'informations sur internet, montrent que l'apprentissage avec un fort guidage « altère la tentative d'introduction des savoirs puisqu'il conduit certains élèves à développer d'autres stratégies que celles attendues ». Ginestié avait montré cet aspect négatif du guidage des élèves dans un cadre plus général (Ginestié, 2000). On voit ainsi que certaines limites de l'apprentissage par un mode opératoire sont cernées et prises en compte. Les travaux de ces auteurs montrent aussi qu'« une approche technocentrée rend les apprentissages indissociables des artefacts et de la spécificité de leur mise en œuvre » et prônent une approche anthropocentrée qui va au-delà des techniques opératoires.

Pour Chatoney, c'est un nouveau regard qui permet d'analyser les artefacts : c'est à partir des points de vue du concepteur, du producteur et de l'utilisateur qu'ils sont étudiés. L'approche anthropologique permet alors d'aborder les concepts de praxéologie et de lier les différents niveaux entre technique, technologie et théorie dans le champ qui est le nôtre : l'éducation technologique (Chatoney, 2013).

Ces différentes recherches sont placées au croisement de deux registres de références : celui de la transposition et celui de l'activité. C'est à la fois le savoir et l'activité qui sont pris en compte. C'est pour cette raison que le cadre théorique incorpore les travaux de cette équipe.

2.2.3. L'approche cognitive

Il s'agit ensuite, pour nos travaux, de pouvoir analyser et tenter de comprendre ce que font les élèves de méthodes comme l'analyse fonctionnelle. Pour cela nous aborderons l'aspect psychologique de l'apprentissage d'un point de vue socioconstructiviste dans la lignée des théories de Vygotsky et Bruner qui font suite aux travaux de Piaget. L'apprentissage est alors vu comme un processus d'acquisition et de construction de connaissances par les élèves qui sont mis en activité (Bruner, 1966 ; Vygotski, 1997). Dans l'approche cognitive, qui précède le socioconstructivisme, les activités concernent tout autant l'apprenant que des activités de manipulation d'idées, de connaissances et de conceptions (Barnier, s. d.). On peut aussi introduire un élément complémentaire où les sciences cognitives sont abordées comme des théories du

⁹ ADEF: Apprentissage Didactique Évaluation Formation. Équipe d'accueil de l'université d'Aix-Marseille.

traitement de l'information (Fournier, 2011, p. 168). Les recherches menées dans ces domaines amènent alors à considérer ces informations comme des opérations qui forment un langage de pensée (Dortier & others, 2011). Ce sont ces conclusions qui ont permis de postuler que, pour penser, l'individu a besoin d'un système de signes et que cette pensée se comprend grâce à l'usage d'outils sémiotiques (Crahay, 2015). Pour Crahay (ibid.) le cerveau humain transforme des inputs informationnels en représentations symboliques de l'état du monde. Il se situe dans le mouvement cognitiviste où des opérations logiques forment un langage de la pensée similaire à un programme d'ordinateur (Fournier, ibid.). Cette forme de langage associée à la pensée est une des pistes que nous explorons vis-à-vis de l'utilisation et de l'efficacité de certains outils de l'analyse fonctionnelle dans l'enseignement.

Dans l'approche socioconstructiviste, le savoir se construit non seulement par les relations enseignant-élèves mais tout autant par les interactivités entre élèves. Les échanges, la capacité à analyser et la maîtrise d'outils prennent alors toute leur importance.

La partie psychologie cognitiviste a été étudiée par Bandura et Bruner. Ils montrent que l'apprentissage dépend non seulement de l'individu, mais aussi de son interaction avec son environnement (Bandura, 1986 ; Bruner, 1966).

Pour Bruner (2008), l'éducation ne peut se réduire au processus de traitement de l'information cité précédemment et la seule acquisition des savoirs ne permet pas à l'individu de s'épanouir. Il est important de donner du sens et d'intégrer les activités dans une culture commune. L'apprentissage peut alors se faire par l'invention et c'est le langage de l'éducation qui doit tendre vers une culture commune. Les diverses représentations d'objets techniques font partie intégrante de la culture actuelle, les outils de l'analyse fonctionnelle présentés aux élèves peuvent donc tout à fait s'intégrer dans ce schéma culturel et, comme le préconise Brunner (ibid.), donner du sens à l'apprentissage. Dans sa théorie sociocognitiviste, Bandura (ibid.) introduit l'apprentissage vicariant¹⁰ comme partie intégrante de l'apprentissage social. Il situe un facteur cognitif à chaque étape de l'apprentissage vicariant. Il est rejoint en ce sens par Winnykamen (1990). L'individu doit observer, apprendre et comprendre les situations. C'est grâce à cela qu'il pourra ensuite résoudre, mentalement ou par l'action, un problème (Bandura, 1986). Bandura précise que, pour développer ses compétences, l'individu doit transformer et utiliser les informations issues des expériences d'actions, des guidages sociaux et des influences de modélisation. Ce sont les structures de connaissances qui sont traduites en une action bénéfique à travers un processus qui correspond à de la conception¹¹ (Bandura, 1999, p. 6).

¹⁰ Cet apprentissage est défini par Bandura comme une observation du comportement des autres qui sert de guide pour l'action.

¹¹ Le terme utilisé par Bandura est : conception-matching process que nous pourrions traduire par : processus assorti à la conception.

Un autre aspect abordé par Bandura (ibid.) est l'agentivité¹². Il l'a définie de la manière suivante : c'est quand, pour atteindre un but, on compte sur l'intervention d'autres individus. Les intentions et les actions peuvent alors se compléter (Bandura, ibid.). C'est ce qui peut se passer lorsque les élèves travaillent en groupe. Cette pratique est commune en cours de technologie au collège. C'est donc une des composantes que nous prenons en compte dans nos cadres théoriques.

Le travail en groupe n'est pas l'unique caractéristique de l'enseignement technologique. Il faut également donner du sens à l'activité des élèves. Différents auteurs ont démontré l'importance de cette approche (Bandura, 1993 ; Viau, 2009). La valeur de l'activité entrainera la motivation de l'élève, il agira en fonction de ce qu'il croit savoir (Viau, ibid.). Dans le cas de l'étude d'un objet technique, il est donc important de ne pas mettre en avant un apprentissage qui correspondrait uniquement à l'objet ou l'outil, et qui se limiterait à l'étude de cet objet ou outil. C'est tout le contexte de l'analyse fonctionnelle avec notamment l'analyse du besoin qui trouve ici son sens.

2.2.4. Applications à l'enseignement - apprentissage

Les situations didactiques et pédagogiques peuvent être étudiées en prenant en compte soit l'enseignement, soit l'apprentissage. À ce niveau, il paraît nécessaire de définir précisément enseignement et apprentissage. Si l'enseignement trouve sa justification dans la transmission des connaissances, on peut se demander comment l'apprentissage est abordé : est-ce en tant que formation professionnelle ou comme comportement suite à un enseignement ? C'est plus rarement, et plus localement, dans un cadre totalement scolaire, la combinaison enseignement - apprentissage, c'est-à-dire la seconde proposition qui est retenue. C'est ici notre cas. Le fait de ne prendre en compte que l'enseignement, ou que l'apprentissage est source de problèmes. Si c'est bien l'apprentissage seul qui permet d'élaborer ou de transformer une connaissance (Bransford, Brown, Cocking, & others, 2000), il est nécessairement couplé avec l'enseignement. Ce couplage est évident quand l'apprentissage se fait par instruction. On peut y opposer l'apprentissage implicite. Dans ce cas il n'y a pas de véritable enseignement au sens ou une interaction entre apprenants et enseignants n'existe pas directement. Cependant, pour cet apprentissage implicite, si des connaissances viennent à manquer, les difficultés ont tendance à s'autoalimenter (Musial, Pradère, & Tricot, 2012). Moins l'élève réussira de tâches d'apprentissage moins il sera motivé. Si un enseignant se repose sur l'apprentissage implicite, la situation d'enseignement est alors sujette à caution, elle n'est pas optimale. Ce qui n'empêche pas nécessairement la mise en place d'unités cognitives. Perruchet, Vinter et Pacton, avancent la théorie d'une conscience auto-organisatrice qui permettrait l'apprentissage implicite (Perruchet,

¹² Bandura utilise le terme agency qui correspondrait à agentivité. L'agentivité peut se traduire avec l'expression « par procuration ».

Vinter, & Pacton, 2007). Pour nous ce type d'apprentissage s'intègre dans le processus global. Si la contribution des apprentissages aux processus cognitifs ne peut être négligée, il semble par contre délicat de traiter la part de chacun de ces apprentissages, explicites ou implicites. Dans nos travaux, nous nous focalisons sur le milieu scolaire où c'est principalement l'apprentissage explicite qui est mis en valeur. Nous devons cependant garder à l'esprit que différentes formes d'apprentissage peuvent concourir à l'apport des connaissances et compétences des élèves. Faire la part des différents apports est pour nous un sujet différent. Sans négliger son importance, nous en tiendrons compte dans nos recherches sans toutefois détailler ces différents mécanismes, ce qui demanderait une étude à part entière.

Les apports décrits précédemment montrent que le processus d'enseignement - apprentissage est un processus complexe à analyser. Une de nos préoccupations est de rendre possible cette analyse. La complexité est due au fait que différentes analyses de ce processus montrent une difficulté à relier ce qui relève de l'enseignement et ce qui relève de l'apprentissage. Différents travaux (Brousseau & Balacheff, 1998 ; Bruner, 1966) qui voudraient tenter de relier enseignement et apprentissage ne font pas cette liaison, et sont soit orientés enseignement, soit orientés apprentissage. D'où le peu d'intérêt qui est souvent porté à aller regarder l'interaction entre celui qui enseigne et celui qui apprend. D'après Altet (1994), il y a une vingtaine d'années, « les études sur les variables intervenant dans les interactions pédagogiques en classe sont très nombreuses dans les pays anglo-saxons et moins développées en France »¹³. Plus récemment Amigues (2003) fait le même constat, les recherches sont plus orientées vers l'activité des élèves que vers les gestes professionnels des enseignants. Si quelques auteurs (Bulea, Bronckart & Bronckart, 2010 ; Sensevy, 2008) proposent une étude plus poussée des activités des enseignants, nous constatons cependant que le mode de transmission a peu changé. Les gestes des enseignants restent globalement les mêmes¹⁴ et sont assez peu étudiés.

Ces gestes sont pris en compte par Ginestié (2011) qui souligne que comprendre le processus d'enseignement - apprentissage implique : « l'étude des interactions enseignant - élèves - savoirs, l'inscription dans une transmission culturelle des connaissances, des outils, des compétences... et l'institutionnalisation à l'école ».

Le premier axe abordé est celui des rapports enseignants - élèves. C'est sous cet angle que la plupart des travaux en didactique sur l'enseignement - apprentissage se

¹³ Cette auteure s'appuie sur le rapport de la Corese (Commission de Réflexion sur les Sciences et l'Éducation) de 1993.

¹⁴ Selon un sondage de 2012, seulement 1% des enseignants du primaire et du secondaire pense que dans 50 ans c'est la disposition de l'espace au sein des classes qui aura le plus changé. De plus ce sondage indique que le tableau classique reste un moyen utilisé par plus de la moitié des enseignants (source : Aménagement des classes et transmission des savoirs : les attentes des enseignants, sondage IPSOS, 2012).

focalisent. C'est l'introduction du concept d'enseignement - apprentissage qui permet d'introduire la didactique et de prendre en compte les différentes interactions.

L'interaction est étudiée soit du point de vue de l'enseignant, soit du point de l'élève. Nous partirons des différentes recherches qui concernent à la fois l'enseignement et l'apprentissage des savoirs qui sont mis en jeu. Nous montrerons en quoi la transposition didactique et la genèse instrumentale complétées par la théorie de l'activité et la résolution de problèmes viendront nous permettre d'analyser notre travail.

Pour nous c'est la situation qui est centrale et c'est sur elle que repose le concept d'enseignement - apprentissage.

La situation est présente dans un contexte de classe avec des acteurs qui produisent de l'activité. Le cheminement des savoirs dans cette situation et selon les didacticiens comme Chevallard (1998) et Perrenoud (1998) prend la forme suivante où les différents blocs sont en interaction :

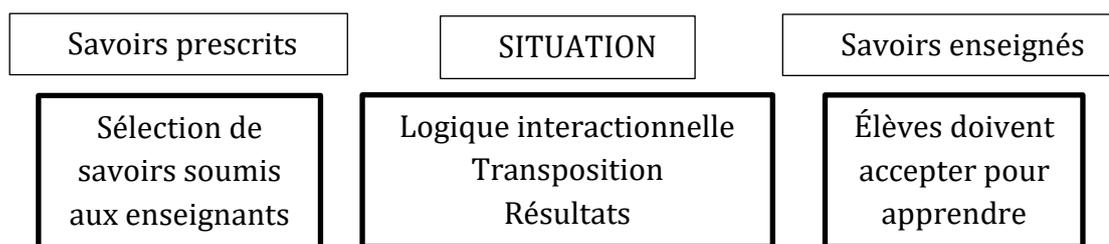


Figure 5 : les formes de savoirs

L'enseignant vise une transmission des savoirs, pas nécessairement de l'ensemble des savoirs, mais sur tout ou une partie des savoirs qui font progresser les élèves. Il espère ainsi que tous les élèves progressent. Dans notre cas l'enseignant veut transmettre à l'élève la compréhension de systèmes techniques. Pour cela il utilise des représentations adaptées. Ce sont ces représentations qui vont « naviguer » entre les deux acteurs. Ces représentations doivent être des images cognitives manipulables de ce qui doit être transféré.

Ceci nous conduit à une troisième représentation, plus axée sur cette transmission et qui vient compléter notre conception du processus d'enseignement – apprentissage. C'est une phase cognitive qui permet de passer du système technique à sa représentation, ou de sa conception à sa réalisation. Les relations à l'artefact peuvent être analysées par un processus de genèse instrumentale que nous allons maintenant détailler.

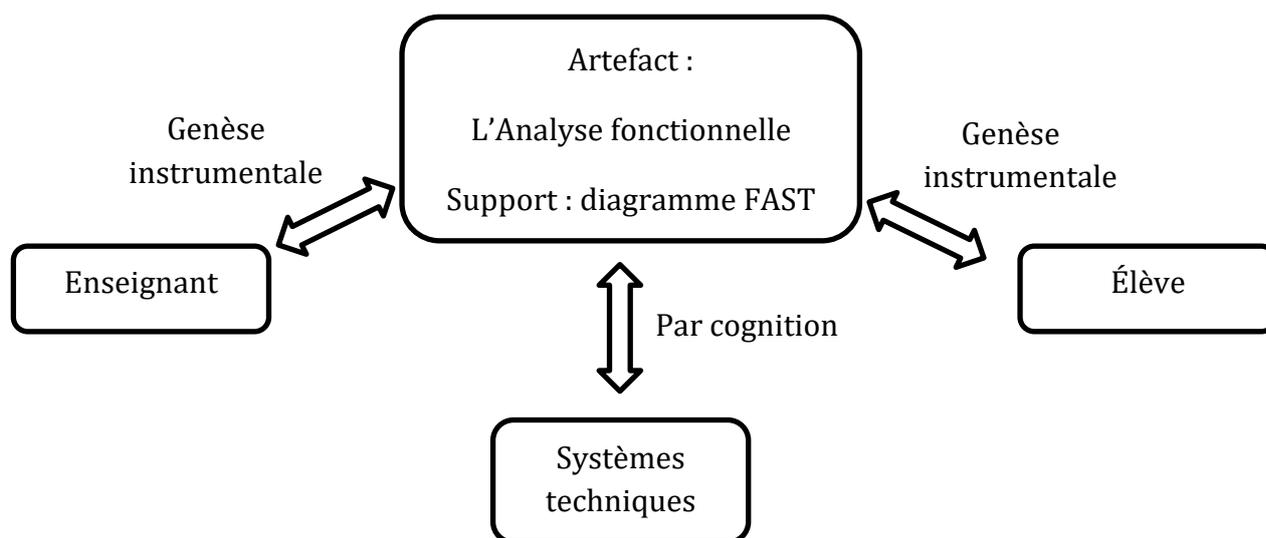


Figure 6 : la transmission de savoirs sur la compréhension de systèmes techniques

Si nous voulons détailler la logique interactionnelle propre à la situation présentée, nous pouvons nous appuyer sur ce que décrit Bruner. Au départ, il dénote l'absence de théorie sur le sujet de l'instruction qui serait utile en tant que guide pédagogique et veut combler cette lacune. Pour établir une de ses théories, cet auteur considère que le développement cognitif concerne une évolution de trois modes de représentation du savoir qui correspondent aux représentations des connaissances du monde : par l'action, par l'image et par les symboles (Bruner, 1966).

Sur le premier point, la représentation par l'action, il est essentiel de considérer que nous nous trouvons face à une situation d'enseignement et d'apprentissage où sont présentes à la fois la pédagogie et la didactique. Nous sommes dans le cadre des sciences de l'éducation et dans une situation scolaire, dans une classe avec un enseignant et des élèves. Cette situation incorpore nécessairement un acte de transposition où l'enseignant doit transformer des savoirs savants en savoirs enseignés (Chevallard & Johsua, 1991). Mais s'il peut paraître évident que la transposition didactique y tient toute sa place, on peut se poser la question de l'origine de ces savoirs savants. Si la plupart du temps ce sont des savoirs institutionnalisés qui sont transposés, dans notre cas, l'enseignement de la technologie, ces savoirs sont mal définis (Ginestié, 2000). La référence est ici une référence à des savoirs professionnels alors que l'usage scolaire se base nettement sur des savoirs savants. La théorie anthropologique de la didactique (TAD) telle qu'elle est définie par Chevallard (1998) nous permettra de définir l'objet du savoir et son rapport à l'institution, mais la visée praxéologique ne sera pas nécessairement atteinte. Chevallard (ibid.) lui-même reconnaît que « Le postulat de base de la TAD fait violence à cette vision particulariste du monde social : on y admet en effet que toute activité humaine régulièrement accomplie peut-être subsumée sous un modèle unique, que résume ici le mot de praxéologie ». Il précise ensuite que l'activité mathématique n'est de ce fait pas considérée parmi les activités humaines et que la reconnaissance de la spécificité des mathématiques doit se faire autrement. Ce que nous comprenons c'est que cette théorie anthropologique ne peut satisfaire l'explication qui

tiendrait compte de la finalité des activités humaines. Du point de vue de la technologie, c'est à notre avis un vide à combler. Cet aspect a été pointé par Martinand (1983) qui introduit les pratiques sociales de référence et suggère de les utiliser dans les constructions des programmes de l'éducation nationale (Martinand, 2003). Mais comme précisé par Chatoney (2013), cela ne résout pas le problème de la définition des savoirs. C'est la principale limite de cette théorie appliquée au sein du champ des sciences de l'éducation.

Dans nos travaux, nous reprenons ces apports didactiques, et sociocognitivistes qui, pour nous, se complètent. C'est cet ensemble de situations où se mêlent pédagogie et didactique qui peut permettre, chez l'élève, la mise en place de schèmes ou de concepts. À ces apports vient s'ajouter le rapport à l'industrie d'où provient l'analyse fonctionnelle. C'est une référence externe qui n'est pas prise en compte dans les enseignements de base. Ce type de référence n'apparaît, exception faite de l'éducation technologique, que dans les cursus de formation professionnelle. Ces formations ne sont mises en place qu'au niveau du lycée. Les élèves, sauf cas très exceptionnel, n'entendent donc parler d'apport industriel que dans les cours de technologie. Il nous faut ainsi comprendre quel est le rapport des enseignants à ces artefacts que sont les outils de l'analyse fonctionnelle comme le diagramme des besoins, le graphe des inter-acteurs ou les outils graphiques de représentations fonctionnelles.

Pour prendre en compte la transposition didactique, notre étude concernera donc à la fois les enseignants et les élèves, et visera à appréhender la manière dont certains éléments qui concernent l'éducation technologique font l'objet d'une transposition. Transposer les savoirs est un passage obligé pour l'enseignant. Mais il faut ajouter une autre dimension introduite par Perrenoud (1998) qui concerne la médiation que doit effectuer l'enseignant pour que le savoir soit reconnu chez l'élève. Perrenoud introduit pour cela la notion de transposition pragmatique (Perrenoud, 2004).

Dans notre cas, si elle a vraiment lieu, les effets de cette transposition sur le terrain peuvent aboutir à une adaptation de l'analyse fonctionnelle pour la rendre accessible aux élèves. Nous nous interrogerons sur la prise en compte de l'analyse fonctionnelle par les enseignants et aussi par les élèves. Cet outil, de par son utilisation se transforme en artefact. Pour Weisser se sont différents artefacts qui se mêlent et permettent aux élèves d'avancer dans le discours de l'apprenant (Weisser, 2005, p. 93 - 216).

On peut se poser la question du passage de l'objet ou de l'instrument à l'artefact. Pour répondre, nous nous reposons sur les résultats de Rabardel (1995). Si au départ il définit le terme d'instrument pour « désigner l'artefact en situation, inscrit dans un usage, dans un rapport instrumental à l'action du sujet, en tant que moyen de celle-ci » (Rabardel, *ibid.* p. 49), pour lui tout objet manufacturé est un artefact. C'est la une évolution de la pensée Piagétienne qui ne donne pas de place aux artefacts et aux objets matériels fabriqués (Vérillon, 1996). Par contre Rabardel insiste bien sur le fait que c'est le processus d'utilisation de l'artefact qui doit constituer un objet de recherche central et

non l'artefact lui-même. Le sujet associe l'artefact à une action. Il déclare (Rabardel, *ibid.* p. 35) :

« Nous pensons que, ce dont nous avons besoin aujourd'hui, c'est de développer une conception généralisée de l'instrument qui permette de rendre compte de son statut et des activités auxquelles il est associé à tous les niveaux du fonctionnement cognitif, y compris aux plus hauts niveaux ».

C'est cette vision de l'instrument que nous retiendrons en notant que cette approche est toujours d'actualité. Des études plus récentes que ces travaux ont montré que c'est au moment où des instruments tels que l'analyse systémique sont transférés pour l'enseignement, ou pendant un apprentissage, que les artefacts sont créés (Graube et al., 2003). Brandt-Pomares et Boilevin (2007) utilisent cette approche instrumentale pour analyser les processus d'enseignement – apprentissage lors de l'utilisation d'ordinateurs portables en classe.

Nous pouvons suivre ce cheminement. Nos travaux correspondent à une entrée qui se fait par l'instrument. Nous abordons à la fois le côté matériel et le côté sémiologique. L'aspect matériel de l'instrument correspond pour nous aux outils de l'analyse fonctionnelle qui sont utilisés, par exemple les diagrammes des besoins ou les diagrammes FAST. Ces outils sont directement applicables et utilisables, c'est dans ce sens que nous les considérons comme un matériel. Le côté pragmatique de ces instruments doit être complété par l'aspect sémiotique. Comme nous l'avons déjà vu, ce sont des langages qui permettent de communiquer. C'est à ce niveau que les savoirs qui font défaut peuvent intervenir dans le processus d'enseignement- apprentissage propre à l'éducation technologique.

En résumé ces différents aspects, sémiotique, cognitif, ne doivent pas être abordés comme une vision différente des instruments ou objets : ils se rejoignent comme autant d'artefacts. Les outils de l'analyse fonctionnelle présentés sont des artefacts utilisés par les enseignants. Les enseignants en font des instruments qu'ils transmettent aux élèves. La première approche consiste à caractériser ce qui se passe dans la relation du sujet, l'enseignant, vers l'artefact. Les enseignants ont certaines intentions lorsqu'ils utilisent des instruments. Une deuxième phase se poursuit dans les processus d'instrumentation. Lors de l'apprentissage, de l'artefact vers le sujet, ici l'élève, ces derniers peuvent à leur tour instrumentaliser, par exemple au cours d'une tâche spécifique. Cependant des contraintes liées à ce que fait l'élève, c'est-à-dire sa tâche, apparaissent. La finalité envisagée n'est pas toujours atteinte. La connaissance de ces contraintes doit apporter une meilleure compréhension du processus d'instrumentalisation et de ce fait, savoir quels artefacts sont les mieux adaptés. Pour appréhender ces connaissances de façon précise, nous pouvons alors convoquer le cadre de la genèse instrumentale (Rabardel, 1995).

La genèse instrumentale relie l'utilisation de l'artefact et l'élaboration de schèmes. Son but sera de permettre l'identification de différents schèmes suivant les catégories de

situations. Si Rabardel (ibid.) a introduit les schèmes d'utilisation comme une structure qui s'actualise et se transforme, Vergnaud avait déjà défini les schèmes comme organisateurs de l'activité du sujet (Vergnaud, 1991). On identifie deux typologies de situations : les schèmes d'usage qui sont propres à un individu et les schèmes d'action collective instrumentée qui s'intègrent dans un groupe social. Ramené à l'analyse fonctionnelle, nous l'interprétons comme à la fois une compréhension du système par un individu et l'utilisation d'un descripteur commun qui aura une portée sociale.

On note aussi que la genèse conceptuelle telle que définie par Rabardel et Pastré (2005) apporte une nouvelle dimension et enrichit ainsi la genèse instrumentale. La notion de schèmes est dépassée et élargie pour aller vers celle de concepts. Les concepts sont nécessaires aux apprentissages et aux enseignements. La genèse instrumentale apporte les outils conceptuels pour l'appropriation d'artefacts techniques et/ou symboliques. Le besoin de conceptualiser par l'intermédiaire d'artefacts a été mis en avant, très spécifiquement dans le domaine de la technologie (Verillon & Rabardel, 1995). Pour Rabardel :

« l'artefact est l'élément central du processus d'appropriation, il est à la fois objet et moyen en tant que ressource mobilisée. L'activité finalisée implique la présence d'artefacts qui permettront d'obtenir un résultat. Dès l'origine le concepteur s'est imaginé l'usage futur de l'artefact » (Rabardel, 1995).

On retrouve cette liaison dans les travaux de Chatoney (2013) où la question de conceptualiser un système peut passer par un artefact qui oblige à penser différemment les organisations de recherche en technologie. Ainsi, pour elle, dans le domaine scolaire, l'artefact est une création didactique qui, tout en facilitant l'apprentissage, va structurer la pensée.

Les spécificités et les origines des éléments que nous étudions sont industrielles, voire économiques et sociales. Pour Vygotski (1997) comme pour Bruner (ibid.) l'interaction sociale est une notion capitale, elle joue un rôle essentiel dans le processus d'apprentissage. Pour eux, ce sont les langages, les outils issus de la culture et les interactions sociales qui permettent les apprentissages des concepts. Dans la même optique, les travaux de Bandura (1986) montrent que l'imitation d'un comportement social est un des facteurs clés de l'acquisition de nouveaux savoirs. L'aspect social joue un rôle fondamental dans ces situations.

Nous allons maintenant aborder sous cet angle les différentes composantes qui permettront d'éclairer nos résultats. Pour cela, il faut alors prendre en compte l'origine de l'analyse fonctionnelle dans notre société.

Sur le plan industriel, il a déjà été signalé que le support de notre étude, l'analyse fonctionnelle, trouve ses origines dans l'analyse de la valeur. Lorsque les enseignants ou les élèves utilisent des outils provenant de ce milieu, il paraît nécessaire de prendre en compte les théories issues de l'organisation des entreprises, pour que l'enseignement – apprentissage soit référencé et ne semble pas artificiel.

Les premières véritables organisations font appel au taylorisme avec une visée productiviste (Aïm, 2013). Dans son ouvrage sur la théorie des organisations, cet auteur indique que Le Chatelier, puis Taylor et Ford vont développer l'idée d'une production de masse et pousser à l'extrême l'étude des méthodes de travail pour favoriser cette dimension de production. Certains, comme notamment Althusser ou Castoriadis se fondent sur l'idéologie marxiste en parlant de matérialisme et en abordant dans ce contexte la condition humaine. Ces situations, où le rapport entre l'individu et son métier, sont mises en valeur même si elles paraissent de prime abord sans lien avec l'enseignement, quand elles sont analysées, font apparaître la nécessité d'un apprentissage. C'est notamment ce qu'a démontré Clot (2006) avec une approche clinique du monde du travail que nous appliquerons. Il se posait la question de savoir s'il faut aller jusqu'à une analyse du travail qui se focaliserait uniquement sur un système concernant les rapports entre des sujets et un artefact culturel pour comprendre l'activité (Clot, *ibid.* p. 112). Même si notre étude se base largement sur une approche instrumentale nous rejoignons la conclusion de Clot. Sa réponse consiste à éviter d'aborder l'homme comme une simple mémoire, les processus cognitifs ne peuvent pas être séparés de l'activité qui les produit. Nous complétons notre approche par l'instrument et l'action avec une approche qui est sociale et nous pensons que l'aspect ergonomique s'il ne se suffit à lui-même viendra utilement compléter notre recherche. Il nous faut donc extrapoler les travaux que Clot a menés dans le cadre d'une situation professionnelle à ce qui se passe dans une classe. Les élèves sont alors vus comme des acteurs à part entière du processus d'enseignement et plus seulement comme des receveurs d'informations. Pour Clot, la meilleure manière de progresser est de canaliser les conflits qui peuvent exister, pour lui entre les employés et les dirigeants, pour nous entre les enseignants et les élèves, et de placer ces conflits aux « bons endroits ». Les conflits permettent alors d'améliorer l'apprentissage. Si les travaux de Clot ne concernent pas uniquement le milieu éducatif, nous pensons qu'une extension est tout à fait possible.

Après avoir vu la nature des savoirs enseignés, nous pouvons maintenant aborder la manière dont ces savoirs sont enseignés et les apports théoriques de l'activité qui viennent compléter notre étude. Notre point de départ sont les événements ayant effectivement lieu dans une classe, tant du point de vue de l'élève que de l'enseignant. Ces intervenants auront une tâche à effectuer, celle-ci rentre dans un processus d'activité qui contribuera à la construction des savoirs (Chatoney, *ibid.*). C'est cette construction des savoirs qui est visée et apparaît comme l'enjeu majeur de l'enseignement - apprentissage. L'activité doit permettre aux élèves d'utiliser leurs compétences et connaissances pour acquérir des concepts passant par des représentations diverses, langages, graphiques, etc. (Vergnaud, 2003). Pour Vergnaud (*ibid.*), du point de vue de l'apprentissage, un concept se définit par des situations, une activité et des formes symboliques et langagières. Les théories de l'activité prennent en compte et mettent en interrelations des artefacts, des enseignants, des objets d'apprentissage et tout un niveau d'attentes sociales de base : règles, communauté et

division du travail (Engeström, 1987). C'est l'ensemble de ces aspects qui seront en place lors de notre expérimentation.

L'utilisation de la théorie de l'activité en recherche, en sciences de l'éducation doit permettre de s'informer sur le rôle joué par les acteurs et les objets dans le cadre d'une activité.

Dans un premier temps, pour analyser rigoureusement l'activité Engestrom (ibid. p. 251) détaillait trois analyses différentes : deux avec des connotations historiques, une centrée sur l'objet et l'autre centrée sur une approche théorique, et une troisième analyse actuelle et empirique. Ces analyses sont reliées et les frontières ne peuvent être clairement définies. Engestrom spécifie la place primordiale de ce qu'il nomme objet, mais ce dernier ne peut être étudié sans tenir compte du contexte. Nous le comprenons comme un complément à la genèse instrumentale.

Pastré, Mayen et Vergnaud (2006) prolongent l'investigation qui va de l'instrument à l'activité. Ils envisagent l'analyse de l'activité comme un moyen de construire des situations de formations, et introduisent la didactique professionnelle. Ils se placent du point de vue psychologique dans le milieu du travail et mettent en avant le fait que l'apprentissage est inhérent à l'activité.

Le problème est de savoir s'il en est de même avec l'activité telle que l'envisage Engestrom (ibid.) : est-ce bien une activité d'apprentissage ? Pour Brandt-Pomares (2013), qui s'appuie également sur Rabardel et Engestrom, l'outil ne peut être dissocié de l'activité et « l'enseignement consiste à proposer des situations construites dans le but d'orienter l'activité des élèves avec les outils ». L'analyse de l'activité participe bien à la compréhension de ce qu'est l'enseignement - apprentissage.

Lorsque le résultat de l'activité est obtenu, c'est l'écart entre la tâche prescrite et la tâche effective qui permettra de révéler certaines caractéristiques de l'activité, notamment si celle-ci a pu servir l'apprentissage. Pour cela il faut que la tâche effective, modélisée par une analyse à priori, puisse être vue comme un modèle de l'activité. La mise en œuvre de cette tâche nécessite alors la mise en œuvre de l'activité (Clot, 2006 ; Leplat, 1997).

L'approche par résolution de problème repose en grande partie sur la théorie de l'activité (Ginestié, 2005). La résolution de problème apparaît systématiquement dans toute activité humaine. Toujours pour Ginestié, ces stratégies, si elles sont mises en place par les élèves, dépendent des organisations didactiques qui elles-mêmes dépendent des organisations sociales. Pour cet auteur si la modalité d'organisation didactique suit une logique de résolution de problème, l'élève est alors placé dans une posture d'expert.

Cette phase est fortement liée à notre présentation de la théorie de l'activité précédemment décrite. L'homme se trouve face à une interrogation qui va influencer sa manière d'agir. Le premier stade de ce processus se base sur la compréhension qu'en a

le sujet. Se pose alors la question de ce que signifiera « comprendre ». Quel pourrait être le lien avec l'action de conceptualiser ?

Quand un élève est face à une approche par problème, la situation est déclarée comme « hybride ». Cette situation peut être décrite en tenant compte d'interactions complexes avec les différents éléments de l'environnement opératif, tel que l'a démontré Lebahar (2001). L'entrecroisement entre une situation opérationnelle et une situation pédagogique est inévitable, même si elle n'est pas volontairement provoquée, comme cela est le cas dans certaines études (Béguin & Clot, 2004). Ginestié (2005) montre que les étudiants dans ce genre de situation sont enclins à résoudre le problème et veulent achever la tâche.

Ce premier aperçu constitue la base théorique du cadre de nos travaux. Les paragraphes suivants prennent principalement en compte les approches décrites. Ils fournissent des précisions qui devraient nous permettre d'évoluer vers un modèle généraliste. Une grille de lecture permettra d'interpréter nos expérimentations. Nous voulons non seulement analyser ce qui se réfère à l'activité, mais aussi tenter de comprendre ce qui induit cette activité. Quels sont les processus ou quel est le cheminement suivi de l'élève qui est amené à effectuer, ou ne pas effectuer telle ou telle action ?

2.3. De la genèse instrumentale à l'extension aux concepts

Nous partons du fait que, les enseignants et en particulier ceux de technologie, utilisent des artefacts dont ils ne sont pas les concepteurs, comme c'est le cas avec l'analyse fonctionnelle. Leur préoccupation principale est de transmettre un savoir. L'enseignant instrumentalise l'outil à destination des élèves.

Dans la même logique, l'élève va devoir s'emparer de l'outil et, à son tour, l'instrumentaliser pour résoudre un problème. Une seconde genèse instrumentale se produit : la première incombe à l'enseignant, la seconde est celle que produit l'élève. Ce phénomène est sujet à se complexifier suivant la place et l'utilisation des artefacts. Trouche (2007) explique qu'une orchestration instrumentale se produit. Il souligne, pour les domaines de l'informatique et des mathématiques, la nécessité d'incorporer une assistance didactique au cours de la genèse instrumentale. Des ressources pédagogiques doivent être conçues et mises en œuvre par les enseignants. Pour Brandt-Pomares (2003) Chatoney (2003) et Laisney (2012), la genèse instrumentale a l'avantage d'éclairer les processus d'appropriation. Elle aide à définir certains indicateurs, comme l'utilisation qui est faite des artefacts. On peut alors connaître plus

finement ces processus d'appropriation. Ainsi pour nous, dès qu'un outil sera utilisé et adapté dans le cadre d'un enseignement, l'utilisation de cet outil relèvera de la genèse instrumentale. Certains de ces outils, qui rappelés-le deviennent des instruments, sont matériels comme la calculatrice ou l'ordinateur. D'autres comme les logiciels, des méthodes ou même l'environnement de travail, restent immatériels et sont tout autant des artefacts. Dans tous ces cas, il faut prendre en compte l'aspect artefact de l'instrument. Par exemple, Lebahar (1983) montre que des concepteurs peuvent éviter d'utiliser des outils spécifiques pour garder une certaine latitude dans leur part de conception : certains architectes préfèrent tracer des croquis au crayon plutôt que de travailler avec des outils informatiques. L'artefact ne serait plus un repère permettant d'effectuer un geste.

La théorie des champs conceptuels complète la genèse instrumentale et permet de relier la conception à des éléments cognitifs. C'est pour Vergnaud (1991) un moyen de comprendre « l'étude du développement et de l'apprentissage des compétences complexes, notamment celles qui relèvent des sciences et des techniques ». C'est en effet au travers de situations spécifiques avec une mise en activité que les processus d'enseignement - apprentissage se mettent en place. Autrement dit et si l'on applique cette notion à l'analyse fonctionnelle, la compréhension d'un système implique la connaissance de différents concepts. Vergnaud fournit un certain nombre d'exemples comme celui où deux mesures se composent en une troisième (Vergnaud, s. d.). Il s'appuie sur des situations censées donner du sens au concept. On retrouve ici le rôle de l'artefact comme essentiel dans la transmission, car il s'appuie sur l'activité.

Le chapitre suivant complète ce qui a été présenté sur la théorie de l'activité en tentant d'étendre cette notion.

2.4. L'extension de la théorie de l'activité : ergonomie et psychologie du travail

Cette recherche fait référence à l'activité humaine. Son aspect anthropologique se rapporte à des savoirs qui sont proches de l'ingénierie. Ces savoirs ont pour référence le monde industriel de la production d'objets techniques. Pour cette production et dans ce monde, il existe des techniques et des modes de pensées spécifiques, ce sont ces modes qui nous préoccupent et qui seront abordés à travers les techniques mises en place.

C'est Léontiev (Léontiev, 1984) qui a enrichi le concept de l'activité et qui a pensé que l'activité peut se regarder en croisant la psychologie et l'ergonomie.

Les recherches plus récentes s'orientent vers ce qui est défini comme la didactique professionnelle (Pastré et al., 2006). Ces auteurs font en effet le lien entre l'activité, l'ergonomie et la didactique. Nous détaillons les différents apports :

- la part de la psychologie ergonomique concerne une analyse du travail orientée « formation et développement des compétences professionnelles » et Pastré (ibid.) a mis l'accent sur la part de conceptualisation dans l'action,
- avec la psychologie du développement, ils séparent la forme prédicative et la forme opératoire de la connaissance. La forme prédicative énonce les propriétés et les relations des objets de pensée. La forme opératoire est celle qui permet d'agir en situation,
- en didactique des disciplines, on retrouve les notions de schèmes et concepts où il est précisé que les concepts s'intègrent dans un système dans lequel, entre autres, on trouve l'activité et l'expérience. C'est un système dans lequel on prélève de l'information pour effectuer une action ou une activité de manière pertinente (Vergnaud, 2007).

Cela devrait nous permettre de préparer la partie méthodologique de notre travail en gardant à l'esprit ces apports. Il existe cependant certaines précautions abordées au paragraphe 2.2.2 que nos recherches doivent prendre en compte lorsque c'est l'activité qui est étudiée. De manière plus pragmatique, on pourra aussi, pour cette construction, se référer à la vision élargie de l'activité où le guidage de l'apprenant doit diminuer de façon progressive, ce qui a été montré par différents travaux en psychologie cognitive (Renkl, 1997 ; Tricot, 2004).

Toujours dans la perspective de l'étude de l'activité des élèves en classe, nous pouvons alors enrichir notre cadre théorique par les travaux de Viau (2009) sur la motivation à s'engager dans la tâche, et sur l'importance de la perception de ses compétences (Bandura & Lecomte, 2007).

En technologie, la finalité de l'activité est caractérisée par un produit, mais d'autres dispositifs se mettent en place et permettent de mobiliser divers apprentissages. Celui qui nous intéresse plus particulièrement et que nous allons maintenant aborder est le langage technique. Comme nous l'avons explicité en présentant l'analyse fonctionnelle, les outils qu'elle véhicule s'apparentent à des instruments langagiers.

2.5. L'enseignement et l'apprentissage des langages techniques

L'analyse fonctionnelle fait partie des langages techniques. C'est un registre sémiotique particulier qui vient en complément d'autres registres sémiotiques : la langue naturelle, la représentation graphique, l'écriture, le dessin... D'après Duval (1996) il est indispensable pour apprendre un langage comme les mathématiques de pouvoir changer de registre et de ne pas confondre un objet avec la représentation que l'on en propose. Il existe pour lui des registres de représentations sémiotiques. Cet auteur définit les représentations sémiotiques par « des productions constituées de signes appartenant à un système de représentation qui a ses propres contraintes de signifiante et de fonctionnement » (Duval, 1991). L'analyse fonctionnelle apparaît bien comme une combinaison de registres. Une partie graphique peut être considérée comme un registre sémiotique particulier et la langue naturelle apparaît comme un autre registre. Duval introduit la coordination des registres sémiotiques comme une condition nécessaire à la compréhension. Nous pourrions donc observer dans les productions ou les activités des élèves l'utilisation de différents registres et nous baser sur l'observation d'une coordination éventuelle, condition sine qua non pour nous assurer qu'ils ont compris l'analyse fonctionnelle. Comme pour l'étude de l'activité il y a cependant certaines contraintes à prendre en compte sur cette approche sémiotique.

Dans sa thèse, Chatoney (2003) explique que si un mot est vide de sens pour l'apprenant, l'enseignant se trouve face à un dilemme, mais il a pour solution de donner la définition du mot. Si cela permet une certaine compréhension, il y a toutefois un évitement du processus de conceptualisation. L'enseignement fournit une solution qui ne correspond pas nécessairement à l'objectif pédagogique qu'il s'était fixé au départ. Il est alors possible que pour l'élève l'apprentissage ne s'effectue pas de façon optimale. Si nous étendons cela à l'ensemble du langage, on peut alors imaginer qu'un langage technique nécessite la connaissance des outils et cela dans une démarche d'élaboration conceptuelle. Dans notre cas c'est une vision systémique qui doit être acquise. On peut alors se placer dans l'approche développée par Bruner qui a étudié la place des langages dans la structuration de la pensée (Bruner, 1983) et de se référer à l'étaillage qui, pour Bruner, crée une situation d'apprentissage où s'articulent pensée, parole et action.

En restant plus spécifique sur les langages issus de la robotique et de l'informatique, Leroux (2009) a montré leurs intérêts et apports dans l'enseignement de la technologie. Nous sommes alors dans des langages décrits comme purement techniques. Il s'agit de savoir si pour les élèves, le type de langage issu de cette technicité correspond à celui de l'analyse fonctionnelle. Dans ces deux cas, nous restons dans le monde de l'éducation technologique, nous avons donc une similitude disciplinaire assez forte. Nous pouvons donc penser que c'est en nous référant à ce qui a été étudié lors de l'utilisation de ces

langages techniques que nous pourrions également comprendre les phénomènes d'apprentissage propres à notre recherche.

2.6. Questions et hypothèses

L'état de l'art présenté précédemment soulève un certain nombre de questions sur et autour de l'artefact.

Que doit-on faire apprendre aux élèves lorsque le support de l'enseignement est un objet technique complexe ? Nous avons déjà signalé la provenance d'outils du monde industriel peut poser certains problèmes. On peut alors se demander quel lien peut exister entre les références industrielles et les bases éducatives d'une culture commune.

Pour apporter une réponse à ces questions, nous considérons tout d'abord que la mise en place d'artefacts pour une éducation technologique orientée vers une vision systémique est une priorité.

L'étude des objets technique requiert un certain formalisme et doit se faire à partir de méthodes validées et éprouvées. Nous nous arrêtons, d'une part, sur la façon dont un système technique doit être enseigné et, d'autre part, sur le fait que l'analyse fonctionnelle fasse partie intégrante de la technologie.

2.6.1. L'analyse fonctionnelle : un instrument

Notre interrogation se porte sur l'analyse fonctionnelle. Quelles sont l'importance et la validité de ce support en éducation technologique ? Les éléments de réponses fournis nous permettent de dire que c'est une méthode issue de l'industrie et qui pose des bases théoriques. Elle est universelle, validée et largement appliquée. Elle est enseignée dans les établissements de l'enseignement secondaire ; collèges et lycées, et dans l'enseignement supérieur ; universités, instituts universitaires de technologie, écoles d'ingénieur. Elle comporte différents modes de communication ; schémas, diagrammes, écrits... qui sont autant de langages symboliques et qui peuvent être profitables aux élèves. Suite à l'observation de terrain faite au collège, nous nous sommes rendu compte qu'une grande hétérogénéité dans les pratiques existe sur cet enseignement.

C'est au collège que doivent être enseignées les prémices de l'analyse fonctionnelle, nous l'avons vu dans les programmes officiels. Dans la perspective de poursuites d'études au lycée, cette « brique élémentaire » de connaissances s'apparente à un « socle commun » de l'enseignement technologique. Le collège est l'endroit où l'éducation est

identique pour tous. Il correspond à une tranche d'âge de 11 à 16 ans où les élèves sont à un stade de développement suffisant pour construire ces concepts. Ils évoluent progressivement vers le statut d'adulte. À cet âge, les élèves ont suffisamment d'acquis pour aborder des compétences qui correspondent à ce statut. Ils restent quand même réceptifs à des notions qui n'ont pas été abordées et qui sont susceptibles de leur apporter une certaine vision du monde. Pour ces raisons, nous faisons le choix d'effectuer notre étude à ce niveau d'enseignement.

Simondon (2012, p. 309 à 311) souligne qu'il faut que ce qui provient de la technologie reste centré sur la technologie, et note que les schèmes et procédés techniques issus de la pensée réflexive doivent s'appliquer sur la réalité technique. Il n'est pas évident que la réalité technique puisse être connue au travers de concepts. Il précise que pour acquérir la connaissance des ensembles techniques, il est nécessaire que l'être humain soit mis en situation. Nous garderons à l'esprit cette particularité : il nous faut rester dans le domaine de la technologie et aussi près que possible de mises en situations. Nous faisons le choix d'étudier « in situ » des classes le processus d'enseignement – apprentissage avec tous les problèmes que cela pose au plan méthodologique : accord et entente avec les enseignants, leurs directions, perturbation du planning annuel... Nous observerons ainsi la réalité et non un modèle de la réalité. La réalité de la classe est complexe, mais notre recherche se positionnera sur cette réalité avec un enseignant et des élèves authentiques. Ceci nous conduit à notre première hypothèse.

Par rapport à l'analyse fonctionnelle, nous sommes en droit de nous demander en quoi et comment cet instrument industriel peut contribuer à l'acquisition de savoirs qui permettent d'analyser et comprendre l'ensemble et le particulier des systèmes techniques.

Pour répondre à cette question nous supposons, et c'est la nôtre première hypothèse : que non seulement l'analyse fonctionnelle est un instrument utilisé par les enseignants de technologie, mais aussi qu'elle conduit les élèves vers une compréhension de la complexité des systèmes techniques. L'efficacité de l'enseignement de l'analyse fonctionnelle est abordée au travers de l'étude de systèmes dans la perspective de montrer la place de l'apprentissage d'un langage spécifique dans la construction de la pensée technique.

2.6.2. La relation aux savoirs

L'analyse fonctionnelle, instrument utile pour percevoir la complexité, a d'autres fonctions qui vont bien au-delà du seul aspect technique, c'est aussi un instrument d'enseignement. Nous abordons maintenant cet aspect.

L'analyse fonctionnelle en tant qu'instrument n'est pas seulement efficace pour l'apprentissage. Dans l'enseignement, pour nous, c'est un instrument organisateur du travail de l'enseignant.

Ceci nous conduit à formuler notre seconde hypothèse : l'analyse fonctionnelle référence les savoirs et, de fait, permet d'organiser les enseignements. Cela complète ainsi notre approche du processus d'enseignement – apprentissage sur l'aspect enseignement.

Pour vérifier cette seconde hypothèse, nous serons amenés à étudier la manière avec laquelle les enseignants appréhendent et utilisent les outils de l'analyse fonctionnelle. Il s'agit dans un premier temps de voir leur rapport avec cette méthode, et dans un deuxième temps de voir comment ils utilisent ces outils dans leurs séances ou séquences scolaires, quelles sont leurs intentions et en quoi l'analyse fonctionnelle leur est utile. Dans la pré-étude, nous avons abordé la place de l'analyse fonctionnelle dans les programmes, ses liens avec l'industrie et l'intérêt d'une approche systémique. Nous allons maintenant préciser la méthodologie appliquée. Nous avons mis en avant deux hypothèses relatives aux enseignants et aux élèves. Notre méthodologie suit la même logique.

Pour commencer, nous nous intéressons à la façon dont l'outil analyse fonctionnelle est maîtrisé et transmis. Nous regarderons les savoirs qu'ont les enseignants sur l'analyse fonctionnelle. Puis nous tentons ensuite de cerner ce que peuvent en faire les élèves. Nous regarderons les représentations des élèves et comment ils s'approprient l'outil. Son efficacité sera étudiée par comparaisons de résultats.

3. Plan expérimental

Notre cadre théorique a permis d'expliciter la complexité dans laquelle les processus d'enseignement - apprentissage se mettent en place. Pour tenter d'analyser cette complexité, notre méthodologie s'appuie sur la présence des éléments présentés, genèse instrumentale, processus cognitifs, chez les acteurs de l'enseignement et de l'apprentissage, c'est à dire à la fois chez les enseignants et les élèves. Les outils issus de l'analyse fonctionnelle, objets enseignés sont ici perçus comme un artefact.

Ce chapitre présente la méthodologie retenue pour en savoir plus sur la position des enseignants vis-à-vis de l'analyse fonctionnelle et sur ce que les élèves apprennent et peuvent faire de leur apprentissage lorsqu'on leur enseigne des techniques issues de l'analyse fonctionnelle.

3.1. Méthodologie appliquée aux enseignants

3.1.1. Objectif

Dans l'éducation technologique, une technique de représentation couramment utilisée s'appuie sur l'analyse fonctionnelle. Suivant leurs compétences, les enseignants se basent sur cette technique et utilisent ou non l'analyse fonctionnelle. Pour savoir comment les enseignants recourent à l'analyse fonctionnelle et quelles sont leurs pratiques en classe, nous avons fait le choix d'une enquête accompagnée par des entretiens.

L'enquête se compose d'un questionnaire soumis à un grand nombre, environ 1200, enseignants pour connaître les pratiques déclarées. Le questionnaire complet est fourni en annexe 2. L'objectif est de savoir si les enseignants utilisent l'analyse fonctionnelle et si oui, de quelles manières. Pour cela, nous avons posé différentes questions qui permettent de cerner à la fois :

- la connaissance qu'ils ont des outils de l'analyse fonctionnelle,
- l'état de leurs pratiques vis-à-vis de ces outils,
- certaines caractéristiques personnelles de l'enseignant : son âge, sa formation, son ancienneté dans le métier.

L'objectif des entretiens est de connaître les réactions des enseignants face à des documents concernant l'étude de systèmes et d'analyser les réponses par

l'intermédiaire des discours. Les entretiens sont semi-directifs et concernent deux enseignants. La retranscription des discours est fournie en annexe 4.

3.1.1.1. Population

Le questionnaire a été diffusé en ligne à 1200 professeurs d'éducation technologique sans aucune distinction d'âge, sexe, expérience ou zone géographique. Pour contacter ce nombre d'enseignants, nous avons eu recours à la liste de diffusion d'une association (Pagestec) d'environ 500 enseignants de technologie et aux adresses mail d'environ 700 enseignants de l'académie d'Aix-Marseille. Sur les 1200 enseignants ciblés, 129 ont répondu au questionnaire en ligne. Les réponses proviennent à 40 % de la liste de diffusion et à 60 % des adresses mail de l'académie. Pour cette enquête, notre taux de réponse est légèrement supérieur à 10 %. D'après les formules de calcul usuelles¹⁵, issues du test de Student (utilisable pour les faibles échantillons), avec un niveau de confiance de 95 %, la marge d'erreur obtenue est de 10 %¹⁶. Ainsi, toute différence de plus de 10 %, dans les résultats, sera considérée comme significative lors du traitement de données.

Parmi les répondants, notre échantillon inclut 24 % de femmes et 5 % d'enseignants non titulaires. Ces pourcentages sont proches des caractéristiques de la population totale des professeurs de technologie en France¹⁷. La moyenne d'âge des répondants à notre questionnaire est de 47 ans. Elle est plus élevée que la moyenne d'âge des enseignants en France, toutes disciplines confondues, qui est de 42,3 ans. Cela peut s'expliquer par le faible recrutement ces dernières années en technologie. La différence entre ces deux chiffres reste cependant relativement faible. Compte tenu des critères précédents, nous pouvons avancer que nous sommes en présence d'un échantillon de répondants satisfaisant puisqu'il s'apparente à la population des enseignants de technologie en France au regard des paramètres cités et pertinents dans notre étude.

L'étude des caractéristiques des enseignants suite au questionnaire a permis de distinguer deux principaux profils différents. C'est en fonction de ces profils qu'a été fait le choix des enseignants soumis à un entretien.

Les profils de ces deux enseignants sont les suivants :

- un enseignant qui se déclare plutôt pro-analyse fonctionnelle, qui utilise cette méthode en classe et qui la pratique depuis plusieurs années avec des connaissances théoriques

¹⁵ Formules utilisées :

$$SS = (Z\text{-score})^2 * StdDev * (1 - StdDev) / (\text{margin of error})^2 \quad SS_{adj} = (ss) / 1 + [(SS - 1) / \text{population}]$$

¹⁶ Source : <https://fr.checkmarket.com/ressources-etudes-de-marche/taille-de-lechantillon/>

¹⁷ Population totale : 11000 enseignant de technologie – 24 % de femme – 7 % de non titulaires (en 2012). Source : http://cache.media.education.gouv.fr/file/2012/38/0/DEPP-RERS-2012-personnels_223380.pdf

assez poussées,

- un enseignant qui se déclare plutôt anti-analyse fonctionnelle, qui n'utilise pas ou très peu cette méthode et qui a, lui aussi, une expérience de plusieurs années.

Nous avons ainsi pu comparer les réponses entre ces profils. Cette analyse clinique doit permettre de vérifier que les différentes variables étudiées lors du questionnaire sont bien présentes, en faire apparaître de nouvelles ou au contraire en éliminer. Nous procédons pour cela à un croisement des résultats des deux analyses.

Les caractéristiques du premier enseignant, codé E1, sont les suivantes : c'est un homme, il est contractuel de l'éducation nationale, âgé de 40 ans, il a une formation de base en électronique de niveau bac+4, il enseigne depuis 10 ans.

Le deuxième enseignant est un homme, codé E2, avec le statut d'enseignant certifié, il a 43 ans, sa formation de base s'est effectuée en sociologie à un niveau bac+4, il enseigne depuis 15 ans.

3.1.1.2. Schéma général, questionnaire et entretiens

L'objectif du questionnaire est de catégoriser les enseignants suivant leurs intentions didactiques. C'est en fonction des catégories obtenues que nous pourrions juger de l'adéquation des intentions des enseignants et de l'influence que l'enseignement de l'analyse fonctionnelle peut avoir sur les élèves. En effet, ce que les élèves acquièrent passe nécessairement par une transmission issue de l'enseignant, comme nous l'avons vu lors de la description des processus d'enseignement - apprentissage. Une des clés de l'efficacité de l'enseignement de l'analyse fonctionnelle peut résider dans son instrumentation ou sa maîtrise de la part de l'enseignant. Du point de vue des limitations propres à cette méthodologie, il faut être conscient que le questionnaire nous permet d'obtenir un état de cet enseignement à un instant donné et ne s'applique qu'aux outils et à l'aspect systémique de l'analyse fonctionnelle qui est abordée ici. Les diverses restructurations et réformes de la technologie, tant au niveau des programmes que du recrutement des enseignants rendent difficile l'analyse objective de ce que peut contenir cet enseignement de manière plus généraliste. Les entretiens permettent aussi de compléter et d'affiner les résultats du questionnaire pour mieux comprendre la manière dont les enseignants s'approprient l'analyse fonctionnelle. Est-ce que l'enseignant maîtrise ou non l'analyse fonctionnelle ? Quelle est son utilisation de l'analyse fonctionnelle en cours ? Est-ce que les outils de l'analyse fonctionnelle sont intégrés dans son cours et de quelle manière ? Dans quel ordre sont utilisés les outils ? Les analyses des réponses à ces questions se font dans le cas de l'entretien de façon clinique.

Il s'agit d'apporter une dimension complémentaire à la méthode statistique d'exploitation du questionnaire par une méthode clinique pour avoir la pensée unique

d'un individu. Les deux analyses, quantitative et qualitative, se complètent, il est en effet aussi délicat d'appliquer à un individu spécifique les résultats issus d'une analyse quantitative que de vouloir généraliser des observations qualitatives. Dans le domaine des sciences humaines, il paraît obligatoire de croiser ces deux approches afin de cerner au mieux les processus en jeu.

Les entretiens sont instrumentés avec des outils, cela permet de faire parler les enseignants sur ce qu'ils connaissent. Ces outils permettent un guidage et un centrage de l'entretien sur ce qui est essentiel pour l'étude. Il faut que les enseignants s'expriment sur leur vision de l'analyse fonctionnelle. Pour cela il s'agit de laisser l'enseignant s'exprimer sur le sujet sans introduire systématiquement des questions directes. C'est cette procédure qui peut amener de nouvelles pistes concernant leur rapport à l'analyse fonctionnelle. Il est demandé aux enseignants ce qu'ils modifieraient sur une ou des pratiques proposées pour confirmer la présence des variables identifiées lors du questionnaire et en révéler de nouvelles. Chaque entretien dure environ une demi-heure, les réponses données doivent être synthétiques et naturelles, s'il faut laisser l'enseignant s'exprimer, il ne s'agit pas non plus d'amener la discussion sur des références à ce qu'il pourrait juger comme des « bonnes » pratiques. Les réactions attendues doivent être spontanées, c'est donc à cette fin que les réponses doivent être limitées dans le temps. Cette durée nous semble optimale pour cet entretien et le nombre d'outils et de relances prévus tient compte de cette contrainte.

3.1.2. Questionnaire

3.1.2.1. Schéma global du questionnaire

Le questionnaire est organisé en trois parties : les renseignements sur l'état civil et le cursus, puis les connaissances théoriques et professionnelles, et pour finir les intentions des enseignants lors de l'utilisation des outils de l'analyse fonctionnelle.

3.1.2.2. Détails du questionnaire

Les trois parties de cette enquête de 24 questions sont ainsi constituées :

- la première partie traite de l'état civil et du type de formation professionnelle. Cette partie permet principalement de catégoriser notre échantillon sur des variables sociodémographiques pour les traitements et le croisement de données,

- une deuxième partie du questionnaire consiste à recenser les connaissances théoriques et professionnelles des enseignants sur l'analyse fonctionnelle. Dans cette partie, la première question est une auto-évaluation des enseignants du niveau de leur compétence en analyse fonctionnelle ; les enseignants s'attribuent une note entre zéro et cinq. Cinq questions portent sur les outils (diagramme des besoins, graphe des inter-acteurs, cahier des charges fonctionnel, diagramme FAST) et l'origine de la connaissance des outils. L'enquête se poursuit par des questions fermées ou l'on demande, si avant d'enseigner, certains outils de l'analyse fonctionnelle étaient connus ou non. Les deux dernières questions concernent les pratiques de l'analyse fonctionnelle et les niveaux scolaires pour lesquels chaque professeur enseigne,
- la troisième partie du questionnaire vise à recueillir des informations sur les intentions poursuivies par les enseignants quand ils utilisent l'analyse fonctionnelle. Dans cette partie les questions sont ouvertes et semi-ouvertes. Une question renseigne sur la situation scolaire que l'enseignant choisit pour introduire l'analyse fonctionnelle. Est-ce une situation de conception d'artefact ou une situation d'analyse de systèmes existants ou une autre situation ? Le choix donné entre les deux premières propositions correspond à une utilisation basée sur une approche conceptuelle, c'est-à-dire plus systémique, ou alors à une approche analytique. La question reste semi-ouverte, l'enseignant ayant la possibilité de signifier une autre situation que celles proposées. Une autre question concerne la manière dont les enseignants ont recours à l'analyse fonctionnelle, c'est-à-dire sur la manière dont l'analyse fonctionnelle est mise en œuvre en classe. Trois propositions sont faites :
 - 1) l'outil est expliqué aux élèves pour qu'ils fassent ensuite l'analyse d'un objet ou système technique avec cet outil (on se focalise alors sur le système),
 - 2) ou alors un système est analysé, en exemple, pour que les élèves comprennent comment on utilise cet outil (on se focalise alors sur l'outil),
 - 3) ou encore un système est analysé pour que les élèves comprennent à la fois l'outil et le système, cette dernière proposition étant celle qui prend en compte le maximum d'objectifs pédagogiques. Cette question reste aussi semi-ouverte, Une réponse « autre » peut aussi être spécifiée. Il s'agit de vérifier de quelle manière les enseignants intègrent l'objet technique et son analyse en classe et tenter de comprendre les raisons qui les poussent à agir ainsi. Il ne faut cependant pas perdre de vue qu'à l'origine, les méthodes issues de l'analyse fonctionnelle sont développées à des fins orientées vers la conception ou la modification de systèmes. Une question ouverte traite du caractère systématique ou non d'utiliser ce type de démarche, la réponse devant être justifiée pour approcher la compréhension des mécanismes mis en place par l'enseignant. Les dernières questions sont ouvertes, elles abordent les alternatives à l'analyse fonctionnelle utilisées par les enseignants et les observations éventuelles sur le sujet traité.

Dans un premier temps il s'agit, avec ce questionnaire de valider la suite de l'étude en s'assurant que l'analyse fonctionnelle est maîtrisée et connue. Les dénominations utilisées pour décrire ces outils sont celles que l'on rencontre le plus couramment dans les ouvrages et les cours traitant de l'analyse fonctionnelle au collège.

On peut cependant noter que des termes différents peuvent être employés : « énoncé des besoins » pour le graphe « bête à cornes » (outil méthodologique déposé de la méthode APTE) ; « graphe des inter-acteurs » pour « diagramme pieuvre » (également un outil déposé de la méthode APTE). Il s'agissait cependant dans ce questionnaire de faire appel à la mémoire du professeur, les termes les plus usuels ont donc été choisis.

Le tableau suivant présente les différentes variables étudiées et le numéro de la question ou cette variable apparaît (AF acronyme utilisé pour Analyse Fonctionnelle).

Type de variable	Objet	N° de la question
Identité	État-civil	1-2
Sexe	État-civil	3
Age	État-civil	4
Classes enseignées	Activité présente	5
Expérience professionnelle	Historique	6-7-8
Niveau de formation	Historique	9
Type de formation	Historique	10
Maitrise de l'AF	Compétences	11
Connaissance des outils de l'AF	Compétences	12-13-14-15-16
Usage de l'AF en classe	Activité présente	17-18
Pratiques de l'AF	Activité présente	19-20
Utilité de l'AF	Opinion	21
Autres outils utilisés	Complément personnel - compétence	22-23
Autres observations	Complément personnel	24

Tableau 1 : correspondance variables – questionnaire enseignants

Pour introduire ce que nous avons mis en place au niveau des résultats nous signalons que le traitement des données est effectué, pour les questions fermées, avec des logiciels qui permettent des calculs statistiques, tableurs et logiciels spécifiques (Excel et Sphinx). Les calculs utilisent la régression linéaire simple ou bivariée et la somme des carrés des résidus pour les questions croisées et liées. C'est avec un logiciel qui permet une analyse lexicale (Iramuteq) que sont traitées les réponses aux questions ouvertes.

3.1.3. Protocole et documents des entretiens

Nous abordons maintenant la méthodologie des entretiens entre le chercheur et l'enseignant. Pour des questions de commodités ces entretiens se sont tenus sur les lieux de travail des enseignants, suivant leur disponibilité.

Le mode opératoire est décrit ci-dessous.

Le chercheur dit à l'enseignant que ses élèves vont avoir une séance où il va introduire l'imprimante et l'impression 3D.

Le chercheur présente des documents les uns à la suite des autres et invite l'enseignant à s'exprimer sur chacun à l'aide de questions de relance. Certains de ces documents sont représentatifs des méthodes de l'analyse fonctionnelle, d'autres sont plus généralistes.

L'enseignant doit juger et critiquer ces documents qui seront présentés aux élèves et qui pourraient servir de base à ce cours. Il peut également faire des propositions sur la vision qu'il a de cette activité.

La présentation des documents s'effectue en trois temps. Les premiers documents présentés ne sont pas complets. Le but est de susciter un discours automatique et immédiat de la part de l'enseignant. Dans le canevas de l'entretien, cela correspond à une première mise en situation qui ne demande pas une lecture très attentive des documents. Cette lecture doit rester rapide et permettre à l'enseignant qui est questionné de maîtriser la situation. Dans un deuxième temps, le deuxième jeu de documents, plus élaborés, est présenté. Cela sert de relance pour obtenir des explications complémentaires ou un jugement plus affiné. Cette technique est couramment mise en œuvre dans les entretiens semi-directifs (Blanchet & Gotman, 2015 ; Descamps, 2011). Le troisième et dernier temps consiste à présenter un document hors norme susceptible de déstabiliser l'enseignant dans son raisonnement. On pourra alors savoir si les arguments avancés précédemment peuvent être remis en cause ou si cela ne modifie en rien le discours de l'enseignant.

3.1.3.1. Documents présentés

Les supports présentés correspondaient à plusieurs types de cahiers des charges couramment utilisés par les enseignants en classe. Les différents documents sont fournis dans l'annexe 3 et sont présentés ci-dessous.

- Document A : ce document ne correspond à aucune convention, c'est une liste simplifiée de quelques caractéristiques. Cela en fait un document qui paraît simple

et facilement accessible. Il peut être compris sans donner de précision ou d'explication quant à son usage.

- Document B : ce document est issu des méthodes de l'analyse fonctionnelle. Ces deux représentations correspondent aux premières formalisations du besoin et aux interactions avec le milieu extérieur au système. Elles nécessitent un minimum d'explications et proposent une vision particulière et graphique d'un système.
- Document C (document de 8 pages sans aucun schéma) : le document C contient uniquement du texte et son contenu est technique. Il comporte huit pages, sa lecture demande de l'effort et du temps et des connaissances spécifiques.
- Document D : le document D est une version un peu plus élaborée du document B, cette représentation est également issue d'un outil de l'analyse fonctionnelle, mais certaines contraintes sont quand même exprimées sous forme textuelle.
- Document E : le document E est un cas particulier d'un cahier des charges hors norme et qui a conduit à un système ayant connu un grand succès.
« Ce cahier des charges fut élaboré après une enquête effectuée par M. J. Duclos des Usines Citroën pendant 5 mois auprès de 10 000 personnes afin "d'énoncer et valider" le besoin de la 2CV. L'origine du besoin serait la suivante : si les agriculteurs possédaient une toute petite voiture que la femme puisse conduire (pour aller au marché), le paysan pourrait rester chez lui avec son cheval et s'occuper utilement aux travaux de la ferme » (Rak, Teixido, Cazenaud, & Favier, 1992).

3.1.3.2. Procédure pour l'entretien

Les documents présentés sont soit issus d'un outil de l'analyse fonctionnelle, soit élaborés sur un modèle autre, texte, dessin ou schéma. Les questions posées sont censées permettre de comprendre l'orientation choisie par l'enseignant et lui faire expliciter ce choix tout en l'argumentant.

Les deux cahiers des charges pour une imprimante 3D, documents A et B, sont les premiers présentés, ce sont deux cahiers des charges différents. L'un se veut plus analytique (le document A) et le second plus systémique et centré sur l'analyse fonctionnelle, il comprend un diagramme des besoins et un graphe des inter-acteurs (document B). Le chercheur demande à l'enseignant d'exprimer un point de vue sur le type d'instruments présentés. Les questions posées sont les suivantes :

- 1- Lequel de ces deux documents utiliserais-tu ? – Pourquoi ?
- 2- Qu'est-ce que tu modifierais pour le présenter aux élèves ?
- 3- Qu'est-ce que cela apporterait aux élèves ?

La première question permet de savoir si l'enseignant fait un usage ou non de l'analyse fonctionnelle en classe. La deuxième question fournit des informations sur la manière dont est utilisée l'analyse fonctionnelle et sur le niveau de maîtrise qu'en ont les enseignants. La troisième question aborde l'utilité éventuelle de l'analyse fonctionnelle.

Puis le chercheur présente alors à l'enseignant deux nouveaux documents, deux cahiers des charges plus complexes, toujours avec la même distinction : un cahier des charges plus analytique (document C) et un autre issu de l'analyse fonctionnelle (document D).

Vient alors une nouvelle série de questions

- 4- Quelle serait d'après toi la finalité pour les élèves : fabriquer un objet, comprendre l'imprimante 3D, comprendre l'AF ou autre chose ?
- 5- Combien de temps passerais-tu sur cet objectif ?
- 6- Est-ce que tu utiliserais d'autres supports ou d'autres moyens ou outils comme SADT ou FAST ? Lesquels ?
- 7- Comment situes-tu tout cela vis-à-vis des programmes officiels de la technologie ?

La question 4 pose le problème de la place de l'analyse fonctionnelle dans l'éducation technologique, c'est la finalité de l'enseignement qui doit apparaître dans les réponses. Les réponses à la question 5 devraient permettre de poursuivre cette réflexion et de connaître l'importance que l'enseignant accorde à l'analyse fonctionnelle. La question 6 reprend l'interrogation sur le niveau des connaissances que peut avoir l'enseignant sur l'analyse fonctionnelle, la question est plus directe que la question 2 et la réponse éventuelle demande un niveau de connaissance plus élevé. L'enseignant peut également répondre en citant des compétences personnelles autres que celles de l'analyse fonctionnelle. La dernière question, numéro 7, pose le problème de l'institutionnalisation de ces savoirs.

Le chercheur présente ensuite le dernier cahier des charges, très analytique et succinct, qui concerne un objet différent, la voiture 2 CV (document E). Il demande à l'enseignant ce qu'il pense de ce dernier document et de son application industrielle.

La présentation de ce dernier document permet de cerner la gestion éventuelle de la contradiction. L'enseignant peut alors reprendre des arguments précédents, en avancer de nouveaux, changer d'avis ou rester septique.

3.2. Méthodologie appliquée aux élèves

Nous avons fait le choix dans la seconde phase de notre méthodologie d'effectuer des expérimentations avec des élèves de collèges. Les élèves se retrouvent dans une situation d'apprentissage mise en place par l'enseignant (Amigues, 2003). Ces expérimentations sont elles aussi, comme pour les enseignants, quantitatives et qualitatives.

3.2.1. Objectif des exercices et manipulations élèves

Pour traiter la manière dont les élèves peuvent s'appropriier l'outil FAST de l'analyse fonctionnelle et approcher son efficacité, nous avons réalisé une expérimentation. L'expérimentation est réalisée auprès des élèves en situation d'enseignement lors d'un cours de technologie au collège. L'expérimentation mise en place permet d'analyser quantitativement et qualitativement l'activité d'apprentissage. Elle vise à évaluer l'acquisition des compétences des élèves et à vérifier s'il existe un déclencheur qui permet aux élèves de réinvestir ces compétences dans une situation particulière.

Les analyses quantitative et qualitative, bien que traitées ici indépendamment, sont liées et se complètent. L'analyse quantitative s'appuie sur des exercices avec productions écrites de la part des élèves. Pour l'analyse qualitative, l'expérimentation consiste en une phase opératoire avec une manipulation de l'imprimante 3D et une fabrication réalisée par des binômes d'élèves. Cette différence entre des exercices sur feuille et une manipulation opératoire s'explique d'une part par une contrainte matérielle. Il n'est en effet pas possible de faire manipuler une classe entière dans une même unité de temps sur une machine telle que l'imprimante 3D. Ce système reste délicat à manipuler et demande plusieurs dizaines de minutes de mise en œuvre. Les élèves doivent en effet régler l'imprimante. Dans le cadre de notre recherche, les contraintes temporelles et financières rendent la manipulation par une classe entière trop délicate à mettre en œuvre. D'autre part, pour effectuer une analyse qualitative, il est nécessaire de saisir les gestes, dialogues et expressions des élèves. Ces caractéristiques sont plus facilement accessibles lors d'un travail en binôme où des échanges entre élèves sont un passage obligé qui vient compléter les productions écrites. Il est donc là aussi possible d'analyser les discours de quelques binômes, mais il faut que ce nombre de binômes reste limité.

Dans notre méthodologie, nous introduirons également une phase d'enseignement. Il est important de noter qu'en technologie, différentes manières d'enseigner existent.

Rappelons que plusieurs méthodes ont existé depuis les programmes sur l'investigation, la démarche de projet ou l'approche en éducation manuelle. Ces méthodes ne sont pas toutes vraiment adaptées à la complexité des systèmes techniques. Certaines ne sont pas représentatives des savoirs de référence en éducation technologique. La technologie des sciences peut être abordée avec un mode de pensée linéaire et pas systémique, nous sommes alors loin de l'épistémologie qui fonde la discipline. Cette distinction apparaît dans notre méthodologie.

3.2.1.1. Population

La tranche d'âge des élèves est comprise entre quatorze et quinze ans, les élèves sont scolarisés en classes de 3^e. C'est pour ce niveau qu'en cours de technologie l'étude des systèmes est introduite comme axe central.

- Une expérimentation quantitative

L'expérimentation quantitative réalisée en classe s'appuie sur un échantillon de 177 élèves. Les 177 élèves concernés sont issus de trois collèges du département des Bouches-du-Rhône. Un enseignant par collège participe à l'étude, les trois enseignants sont différents. Le choix des collèges a été effectué en fonction de l'environnement social des établissements et concerne des élèves dont les parents appartiennent à des catégories socioprofessionnelles identiques avec une répartition proche de la moyenne nationale. Il a aussi été tenu compte des disponibilités des différents enseignants et des classes pour effectuer l'expérimentation. L'expérimentation a eu lieu en fin d'année scolaire pour éviter de perturber la continuité des enseignements et les progressions mises en place par les enseignants. Le tableau suivant fournit la répartition du nombre d'élèves par collège et enseignant.

	Nombre d'élèves
Collège A / Enseignant 1	52
Collège B / Enseignant 2	62
Collège C / Enseignant 3	63
TOTAL	177

Tableau 2 : répartition des élèves par collège

- **Une expérimentation qualitative**

Douze élèves sont concernés par cette expérimentation, ils appartiennent, là aussi, tous à des classes de troisième du même collège ou la répartition des catégories socioprofessionnelles des parents est proche de la moyenne nationale.

Les élèves ont été répartis en six binômes. Il faut cependant noter que pour chaque binôme, les élèves appartiennent à la même classe, cette contrainte est due à l'organisation même du collège et n'a pas pu être annihilée pour des raisons organisationnelles d'emploi du temps des élèves.

3.2.1.2. Schéma général

Les différentes phases de notre méthodologie s'organisent en trois temps :

- La première considération à prendre en compte est d'avoir un état des lieux des connaissances des élèves pour décrire un système. Notre méthodologie commence donc par un test d'entrée.

- Nos objectifs tiennent compte d'un apport originaire de l'analyse fonctionnelle. Il est donc impératif qu'une partie de notre population soit confrontée à l'utilisation des outils de l'analyse fonctionnelle et forme un échantillon à part entière. Des travaux ont montré que la recherche peut s'appuyer sur la comparaison, notamment en didactique (Groux & Chnane-Davin, 2009). Dans notre cas nous effectuons la comparaison de cet échantillon avec une autre partie de la population qui n'aurait pas été confrontée à ces outils de l'analyse fonctionnelle.

Ces considérations mêlées aux contraintes des enseignements technologiques propres aux emplois du temps des élèves et, à la répartition en demi-groupes ou non, nous ont conduit à la méthodologie décrite qui s'inspire d'un plan expérimental de Solomon, simplifié à deux groupes (VanDerMaren, 1996). Dans notre méthodologie impliquant les élèves nous aurons donc un groupe qui suit un enseignement incorporant l'analyse fonctionnelle et un groupe qui suit un enseignement du même type, mais sans analyse fonctionnelle. Dans la suite de notre étude, nous utilisons la convention suivante :

Pour une moitié des élèves, nous avons utilisé le sigle AF. Cela signifie que l'enseignement est effectué avec un outil de l'analyse fonctionnelle.

Pour une moitié des élèves, c'est le sigle NAF (traduisible par « non AF ») qui est utilisé. Cela signifie que l'analyse fonctionnelle n'a pas été utilisée durant l'enseignement.

- Un dernier temps concerne ce qui se passe après ces enseignements : les élèves sont évalués quant à leur aptitude à monopoliser des compétences relatives à l'utilisation et la description d'un système technique. Comme nous l'avons dit précédemment cette évaluation se fait de deux manières différentes : avec un groupe classe complet (expérimentation quantitative) et avec six binômes d'élèves (expérimentation qualitative). Pour ces deux expérimentations, les exercices mis en place sont

différents.

La partie suivante précise ces trois phases.

3.2.2. Test d'entrée pour évaluer les élèves

Objectif : le test d'entrée s'est déroulé à un instant donné de la scolarité des élèves, ce qui a été enseigné au préalable n'est pas connu. Ils ont en effet pu rencontrer pendant leur scolarité un ou des enseignants qui les auraient accoutumés à utiliser des outils ou des méthodes spécifiques de description de systèmes. Nous avons jugé opportun de débiter notre expérimentation par un état des lieux qui, en plus de nous fournir les compétences des élèves à l'état initial, peut également nous servir de point de référence pour comparer les évolutions une fois que notre échantillon aura subi des modifications.

Méthode : nous avons soumis les élèves à un test d'évaluation. Ce test vise à mesurer leurs compétences à décrire un système technique. Pour cela nous leur présentons un système avec lequel ils sont familiarisés et qu'ils connaissent bien. Il ne faut pas que le système choisi pose aux élèves des problèmes liés à la description ou à la compréhension du système. Le vélo est bien connu des enfants. Ils sont familiarisés avec ce système dès le plus jeune âge. C'est un des supports qui est couramment utilisé par les enseignants en technologie en classe de 6^e pour illustrer le thème des transports.

Les élèves doivent donc décrire ce système. Ils disposent de trois minutes pour réaliser la tâche et doivent restituer l'exercice sur une feuille blanche fournie au départ par l'enseignant à chaque élève avec la fiche consigne suivante (fiche 1). Au terme des trois minutes, la feuille avec les résultats est ramassée que le travail soit terminé ou non.

CONSIGNES

Tu connais le système pris en photo.

Pierre est dans l'autre classe, il ne le connaît pas et il n'a pas l'illustration.

Comment représenterais-tu le système pour qu'il comprenne comment ça marche ?

Tu disposes d'une feuille blanche et de seulement 3 minutes pour faire le document.



Figure 7 : test d'entrée Fiche 1

3.2.3. Les enseignements dispensés

Parmi les pratiques d'enseignement en technologie sur la description d'un système, tel par exemple qu'elles sont dispensées dans les formations spécialisées, lycée, centre de formation, nous avons identifié deux principaux modèles qui se dégagent : un modèle axé sur une description scientifique avec schéma et légendes, et un modèle avec une description basée sur des représentations symboliques basiques (rectangles, carrés...) contenant des blocs et du texte. Nous avons soit un modèle avec une approche systémique, soit un modèle basé sur les flux d'informations. Les descriptions dispensées sont académiques. Ce type de description relève de l'éducation technologique et est partagée par tous les acteurs de cette éducation.

3.2.3.1. Considérations communes sur les enseignements dispensés

Les élèves sont répartis en deux groupes. Chaque groupe abordera un modèle différent. Le groupe AF suit un enseignement sur la description de systèmes avec un outil de l'analyse fonctionnelle, le diagramme FAST. Comme nous venons de le voir, cette description correspond à un mode de pensée qui est développé dans l'enseignement technologique et qui se veut global. L'autre groupe, le groupe NAF suit également un enseignement sans les outils de l'analyse fonctionnelle, basé sur un modèle avec schéma descriptif et texte. C'est un mode de pensée qui est privilégié dans l'enseignement des sciences. Ces modèles de description sont présents dès les premières vulgarisations scientifiques dans les encyclopédies du Siècle des Lumières.

Nous avons choisi de recourir à un diaporama comme support d'enseignement, voici les raisons de ce choix. Les dispositifs d'enseignement sont construits en équipe enseignants-chercheurs et enseignants des collèges. Ils sont dans la lignée théorique des pratiques effectives dans l'enseignement technologique. Compte tenu du fait que trois enseignants différents sont concernés, afin de réduire les biais liés à la variable « enseignant », le choix a été fait de structurer ce dispositif et de recourir à une présentation par diaporama vidéo projeté accompagné d'une bande-son sur laquelle s'appuie l'enseignant lors de cet enseignement frontal. Les trois enseignants ont utilisé le même diaporama. La retranscription de la bande-son est fournie en annexe 5. Les supports et les indications utilisés par les différents enseignants étaient donc identiques. L'enseignant et l'expérimentateur étaient présents dans la classe avec les élèves pendant ces phases. Seul l'enseignant intervenait auprès des élèves, l'expérimentateur n'étant là qu'à titre d'observateur et restant le plus discret possible, son rôle étant uniquement de valider la démarche et de s'assurer de la conformité du contrat expérimental préétabli pour que le cours dispensé soit utilisable en recherche.

L'objectif à atteindre passe par cinq étapes principales. Ces étapes sont associées à différentes tâches à la charge de l'enseignant et des élèves. Voici le déroulement de la séquence d'enseignement : la séquence d'enseignement s'organise en cinq étapes. Le graphique suivant représente ces différentes étapes.



Figure 8 : étapes de la séquence d'enseignement

Durant cette séquence différents systèmes servent de support à l'enseignement et sont présentés aux élèves. Ce sont les mêmes systèmes qui sont présentés aux deux

groupes AF et NAF, cependant les outils utilisés pour représenter ces systèmes sont eux différents pour chaque groupe.

On peut penser que le fait de prodiguer l'enseignement sous format diaporama vidéo avec un commentaire audio a surpris les élèves. Ils sont plus habitués à une transmission directe issue de l'enseignant ou via des documents papier. Mais nous avons pu vérifier que les élèves se sont bien appropriés suite à l'analyse de l'exercice de la phase 3 censé institutionnaliser l'apprentissage. De nombreux élèves ont fait l'exercice correctement avant même d'avoir eu la correction. Plus de 80 % auraient obtenu une note supérieure ou égale à 10/20¹⁸. Sur ce point nous pouvons statuer que majoritairement les élèves ont restitué dans l'exercice ce que demandait l'enseignant. Ils ont fait leur travail d'élèves, ils sont habitués à cette attitude et l'environnement, une salle de classe au collège, les conditionne pour cela.

3.2.3.2. Première étape : premier exemple de description

Objectif : l'objectif est, pour un système donné, d'énoncer le besoin auquel correspond ce système, les fonctions qu'il doit remplir et de lister les solutions existantes. Le support d'étude présenté comme exemple est une cuillère.

C'est un système connu qui ne pose pas de réelle difficulté de compréhension, tant de point de vue de son fonctionnement que de point de vue de sa description. Mais tout le monde en convient, la conception d'une cuillère n'est pas aussi simple qu'elle peut paraître et, comme le signale Akrich (1987), « il suffit de considérer les objets les plus banals qui nous entourent pour constater que leur forme est toujours le résultat d'une composition de forces dont la nature est des plus diverse ».

Méthode utilisée : l'enseignant donne un exemple de description. L'exemple se médiatise par un diaporama qui dure 4 minutes.

- Description d'un système sans analyse fonctionnelle

Pour un premier groupe d'élèves, groupe NAF, on utilise des représentations graphiques semblables à celle que l'on retrouve dans les enseignements scientifiques. On rappelle que le système choisi est une cuillère, c'est la première étape. La fiche de la figure 10 correspond à la diapositive projetée aux élèves. La diapositive est animée, les phrases apparaissent les unes après les autres et un commentaire accompagne cette présentation, la retranscription de cette bande-son est en annexe 5. Le séquençement du diaporama s'effectue de la façon suivante : l'enseignant lance le diaporama. Le dessin de la cuillère s'affiche en premier accompagné de la question : Quel est ce système ? La réponse apparaît après quelques secondes. Elle est suivie de l'affichage de la question suivante : à quoi sert-il ? La réponse est aussi donnée après quelques secondes. C'est

¹⁸ Notes estimées par l'enseignant pour l'exercice à la suite du cours et avant correction.

ensuite l'ensemble du schéma qui apparaît ; cuillère, figure et flèche. Puis vient la première légende : aliment. Ensuite la troisième question : « qu'est-ce que les concepteurs ont prévu pour cela ? » apparaît. La solution sous forme de texte et les légendes concernées « réceptacle, main et manche », viennent alors compléter le schéma.

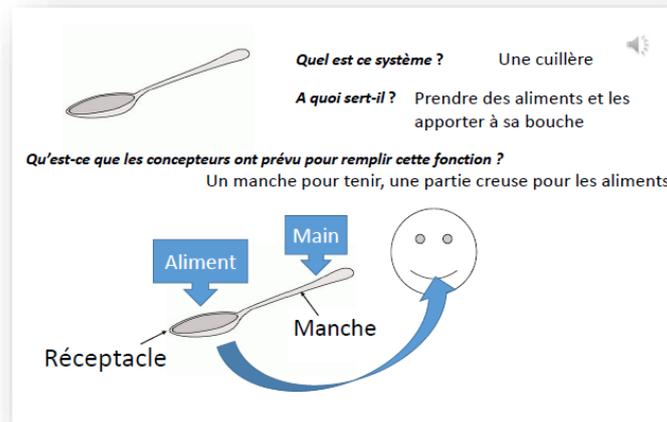


Figure 9 : initiation sans Analyse Fonctionnelle – étape 1

- Description d'un système avec analyse fonctionnelle

L'autre moitié des élèves, groupe AF, repérée par l'acronyme AF pour Analyse Fonctionnelle, suit lui aussi un enseignement de dix à quinze minutes avec, cette fois, une initiation à l'analyse fonctionnelle par l'intermédiaire de l'utilisation d'un diagramme FAST. Nous rappelons que le diagramme FAST permet de décrire un système technique en distinguant fonction principale, fonction technique et solution. L'objectif est de montrer que l'outil FAST permet lui aussi de décrire un système. L'exemple de système choisi est toujours la cuillère, nous sommes toujours dans la première étape. Là aussi, comme pour l'autre groupe deux diapositives animées avec bande-son (annexe 5) sont projetées par l'enseignant aux élèves.

Les premiers éléments apparaissent chronologiquement de la même façon que pour le groupe NAF : dessin de l'objet – question sur le système – réponse – question sur la fonction – réponse. S'affiche ensuite le rectangle avec la fonction principale. Puis vient la question sur ce qu'ont prévu les concepteurs. Quelques secondes plus tard apparaissent les solutions, à la fois sous forme de texte et sous forme de blocs rectangulaires accompagnés des deux noms ; réceptacle et manche. Finalement le diagramme FAST est complété avec les deux blocs de fonctions techniques et les liaisons avec la fonction principale et les solutions.

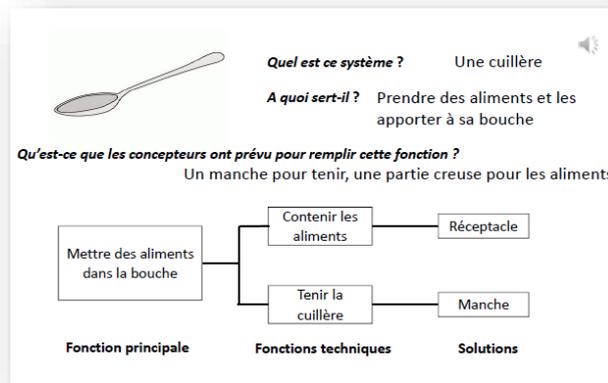


Figure 10 : initiation avec Analyse Fonctionnelle – étape 1

3.2.3.3. Deuxième étape : renforcement, second exemple

Cette deuxième étape renforce l'apprentissage par un second exemple appliqué à un objet lui aussi bien connu des élèves. L'objectif est identique à celui de la première étape, décrire un système en termes de besoins, fonctions et solutions.

L'objet choisi est cette fois-ci un aspirateur. Comme précédemment, le fonctionnement et la description ne doivent pas poser de problème majeur aux élèves. Mais à la différence de la cuillère, cet objet peut se décomposer en plusieurs sous-systèmes. Les sous-systèmes sont définis au niveau ingénierie comme différents éléments qui interagissent entre eux et forment un ensemble qui contribue à la fonction principale. Il s'agit de montrer aux élèves que la description prend en compte cette dimension parcellaire et qu'ils ne doivent pas s'arrêter à l'apparence simple ou complexe du système pour en faire sa description.

- Groupe sans analyse fonctionnelle

La fiche de la figure 12 correspond à la diapositive projetée aux élèves du groupe NAF. La diapositive est également animée, les phrases apparaissent les unes après les autres et un commentaire accompagne cette présentation, la retranscription de cette bande-son est en annexe 5. L'ordre d'apparition des images et du texte est le même que celui du diaporama sur la cuillère pour le groupe NAF : dessin de l'objet – question sur le système – réponse – question sur la fonction – réponse et schéma – question sur la conception – réponse et légendes sur le schéma.

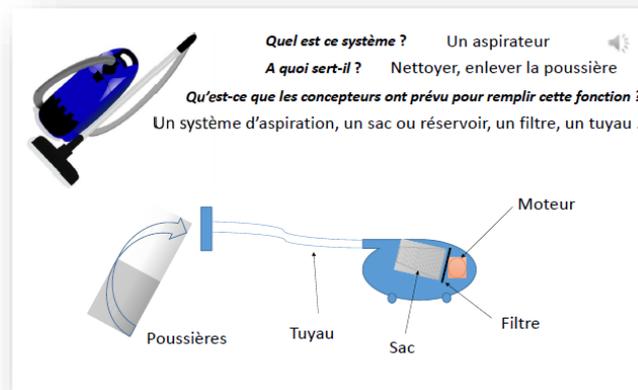


Figure 11 : initiation sans Analyse Fonctionnelle – étape 2

- Groupe avec analyse fonctionnelle

Là aussi, comme pour l'autre groupe, une diapositive animée avec bande-son (annexe 5) est projetée par l'enseignant aux élèves du groupe AF. L'ordre des séquences est identique à celui utilisé avec la diapositive sur la cuillère du groupe AF : dessin de l'objet – question sur le système – réponse – question sur la fonction – réponse – fonction principale – question sur la conception – réponse et blocs sur les solutions – blocs sur les fonctions techniques.

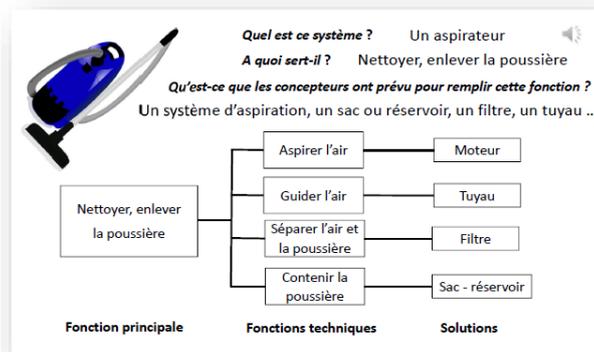


Figure 12 : initiation avec Analyse Fonctionnelle – étape 2

3.2.3.4. Troisième étape : exercice

Cette troisième étape est un exercice d'application des apprentissages qui ont précédé. L'objectif est de vérifier que les élèves sont capables de réutiliser les outils de

représentation qui leur ont été enseignés. La méthode utilisée est la projection d'une diapositive avec les consignes (figure 14). Les élèves disposent d'une feuille blanche sur laquelle ils doivent produire une réponse. Un commentaire fourni en annexe 5 accompagne la projection et donne les indications aux élèves. Des exemples de productions d'élèves sont fournis dans l'annexe 8 (étape 3).

L'enseignant donne une tâche aux élèves. La tâche consiste à décrire un nouveau système : une brouette. Les élèves ont trois minutes pour effectuer cette tâche. Ce temps intentionnellement court oblige les élèves à choisir une représentation adaptée à cette durée. Cela exclut la dissertation et oriente les élèves vers une représentation similaire à celle qui vient d'être proposée par l'enseignant. Cette façon de procéder va dans le sens des travaux de Bandura (Bandura, 1986) qui a montré que l'enseignement qui précède un exercice est réutilisé. L'élève reproduit un modèle qu'il a perçu comme une référence, ce qui a précédé est important pour lui.

L'objet choisi, la brouette, est, comme les autres systèmes, bien connu des élèves. Ce système est choisi pour éviter un contexte avec une situation-problème difficile à résoudre pour les élèves dans un temps aussi court (Leplat & Pahlous, 1977).



Figure 13 : exercice – étape 3

L'exercice d'application est ensuite corrigé.

3.2.3.5. Quatrième étape : la correction

Cette quatrième étape concerne la correction de l'exercice précédent. L'objectif est de renforcer l'apprentissage pour les élèves et de pouvoir contrôler si les compétences sont acquises. Cette correction se fait au tableau par l'interface d'une diapositive vidéo projetée. Ici aussi un commentaire fourni en annexe 5 accompagne la projection et donne les indications aux élèves.

Les élèves corrigent le document qu'ils ont produit en fonction de la solution proposée en utilisant un stylo de couleur verte pour bien distinguer les réponses de la correction. Cette méthode consiste à renforcer l'apprentissage (Astolfi, 2011). Les fiches produites sont ensuite ramassées.

- Groupe sans analyse fonctionnelle

La figure 15 est une correction proposée aux élèves du groupe NAF qui n'ont pas utilisé le diagramme FAST. Cette fiche, en plus de la photo de la brouette, présente un schéma où les différents éléments constitutifs du système sont repérés d'un à cinq et d'une couleur différente. Sous le schéma les cinq éléments sont nommés, associés à leur repère et leur fonction est précisée.

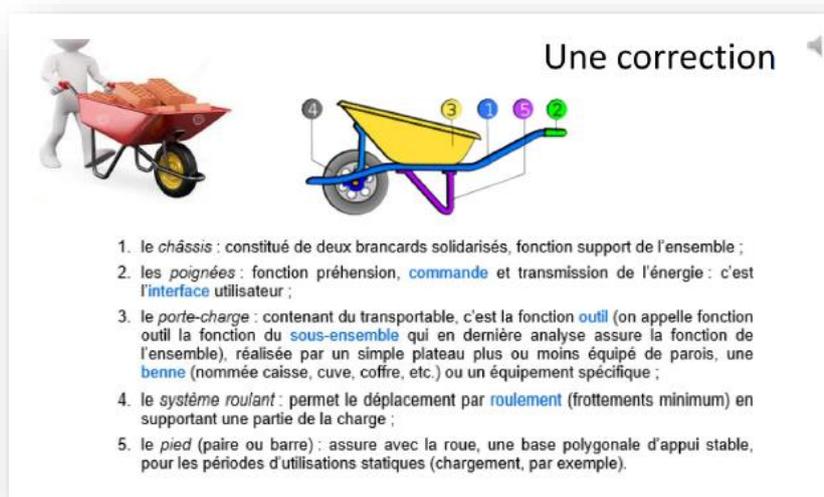


Figure 14 : correction sans Analyse Fonctionnelle – étape 4

- Groupe avec analyse fonctionnelle

Un diagramme FAST est proposé comme correction aux élèves du groupe AF, initiés à l'analyse fonctionnelle, c'est la figure 16 accompagnée de son commentaire qui est projetée.

Sur cette fiche figure la photo de la brouette et le diagramme FAST avec la fonction principale, les fonctions techniques et les solutions, formant trois colonnes différentes avec les différents blocs qui sont complétés et reliés entre eux.

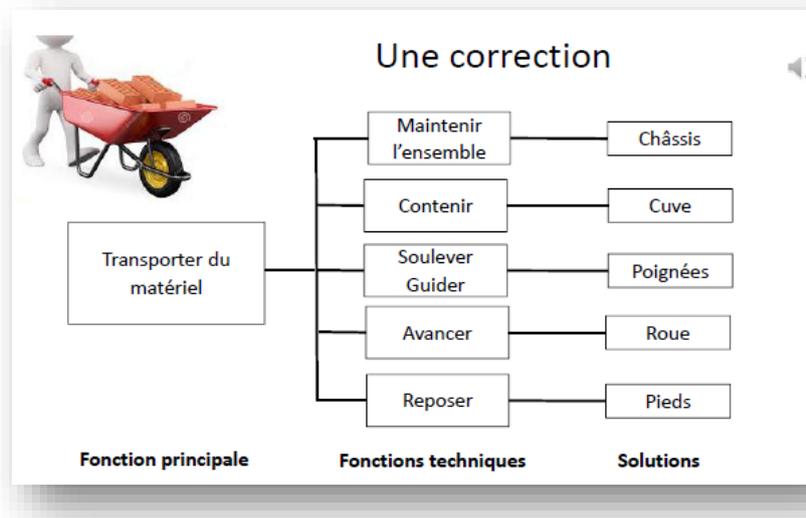


Figure 15 : correction avec Analyse Fonctionnelle – étape 4

3.2.3.6. Cinquième étape : transfert vers un autre système

La cinquième et dernière étape de cet enseignement consiste à effectuer une présentation d'un système méconnu des élèves. L'enseignant explique aux élèves que la semaine prochaine, ils travailleront sur un autre système : l'imprimante 3D.

- Justification du choix de l'imprimante 3D comme support :

Depuis une dizaine d'années, les premières imprimantes 3D étaient réservées au monde industriel. Le procédé de fabrication par impression 3D se démocratise ces dernières années. Certains prestataires publics (magasins, postes) vont jusqu'à offrir des services d'impressions 3D. Nombreux sont les auteurs qui voient ce système comme une avancée incontestable, voire une révolution, parlant même de 3^e révolution industrielle (Anderson & Le Séac'h, 2012 ; Lavergne & Lavergne, 2014 ; Lipson, Kurman, & Rozenbaum, 2014). Certains restent quand même plus sceptiques (Söderberg, 2013) et sans nier les possibilités offertes, relativisent l'avancée technologique et repositionnent ce système dans le temps (les premières impressions 3D datent de plus d'une dizaine d'années) et l'offre commerciale qui en est faite. Le milieu éducatif n'est pas en reste, de plus en plus de collèges s'équipent de ce type de matériel, parfois même financé par les institutions telles que le Conseil Général. Dans les lycées, elle devient un élément incontournable. D'après le site Eduscol de l'éducation nationale, l'ensemble des lycées

ayant une section STI2D sont équipés d'une imprimante. Les Fablab (atelier de fabrication) prônent un accès démocratique à ce genre d'outils tout en accompagnant les utilisateurs avec des experts, et font partie des précurseurs pour s'équiper avec ce genre de matériel.

On peut également faire un retour sur l'expérience des machines-outils à commande numérique dont se sont équipés presque tous les collèges lorsque les programmes de technologie s'orientaient vers un aspect industriel. En effet, ces machines représentaient un investissement lourd dépassant le millier d'euros. Les changements d'orientation des programmes, la complexité de mise en œuvre, l'obsolescence, la disparité et les particularités liées à chaque machine ont souvent amené les enseignants à une utilisation moindre ou plus spécifique de ces machines. Les programmes préconisaient une utilisation limitée à 15 % du temps dans les classes de 4^e et de 3^e (source : académie de Créteil). On peut alors se demander si cette façon de procéder ne se reproduit pas avec les imprimantes 3D.

Les enseignants de technologie argumentent, pour la plupart, en faveur de l'utilisation pédagogique de l'imprimante 3D. Dans les faits, on note cependant qu'assez peu d'activités sont pensées sur le fonctionnement même de l'imprimante. Les activités sont surtout orientées vers la production des objets et la continuité d'une chaîne de traitement, du dessin de conception jusqu'à la réalisation de l'objet final.

Il semblait donc important dans le cadre de cette thèse de traiter d'un objet actuel qui pose encore des problèmes d'acceptation et qui ne soit pas forcément très connu des élèves. Le choix d'un objet très courant, qui est maîtrisé et connu par les élèves ne permettrait pas de voir les apports éventuels de méthodes d'études spécifiques, la compréhension du système pouvant être complètement acquise de la part des élèves. Les objets techniques communs ou qui apparaissent trop simples ont donc été écartés.

L'imprimante 3D est un système composé de plusieurs sous-ensembles. Comprendre un tel objet n'est pas trivial. Plusieurs types de produits existent sur le marché, du matériel professionnel à l'imprimante 3D en kit à monter soi-même en passant par des imprimantes prêtes à l'emploi et qui bien que déclarées « plug and play » nécessitent une certaine technicité pour fonctionner. Le choix d'une imprimante, des matériaux, les techniques de modélisation, la préparation de l'imprimante, les phases d'impressions et de finitions représentent autant de tâches qui nécessitent des connaissances particulières pouvant être présentées aux futurs utilisateurs (Berchon & Luyt, 2013).

Le choix de l'imprimante 3D est donc apparu comme n'étant un objet pas encore bien connu des élèves. Ce paramètre est pris en compte dans notre méthodologie et cela nous permet de maîtriser cette variable. L'analyse fonctionnelle de l'imprimante 3D ne fait, très majoritairement, pas partie des connaissances des élèves.

- **Objectif et méthode utilisée**

L'objectif est que les élèves découvrent un nouveau système avec lequel ils ne sont pas familiers. Les élèves doivent pouvoir se faire une représentation de ce système. Le but recherché est que cette étape permette aux élèves d'intégrer des connaissances sur l'imprimante 3D. La méthode utilisée est la présentation d'une imprimante 3D par une vidéo. Cette vidéo est accompagnée d'une bande-son avec commentaires fournie en annexe 5. Elle débute par le nom du système et une image de l'imprimante 3D. La première étape présente des objets en matière plastique réalisés avec une imprimante 3D : prothèse de main, coques de téléphone, camion en jouet. Dans une deuxième étape, c'est un ordinateur qui est présenté. Sur son écran est dessiné un camion en jouet. Un opérateur en train d'utiliser un logiciel volumétrique 3D est filmé, c'est la phase de modélisation qui est ainsi introduite. Un travelling est effectué vers l'imprimante où apparaît le camion en cours de fabrication. Les commentaires expliquent qu'après modélisation les informations sont transférées du fichier vers l'imprimante. Dans la troisième étape, la vidéo montre que la machine sert à faire fondre le plastique et à fabriquer l'objet. Un zoom est fait sur la buse de l'imprimante qui se déplace et d'où l'on voit sortir un fil de plastique. On voit ensuite ce fil se déposer en couches successives. Le discours associé à ces trois étapes nomme différents éléments de l'imprimante avec beaucoup de précision. Par exemple la partie qui dépose le plastique est appelée « buse ». La vidéo est visionnée deux fois par les élèves. L'enseignant montre ensuite la machine réelle aux élèves et reprend les principales fonctions et leurs organes pour expliciter le fonctionnement de l'imprimante. Il indique alors la liaison par câble USB à l'ordinateur il explique que l'imprimante 3D est pilotée à partir d'un logiciel qui permet de régler différents paramètres et de lancer l'impression tout comme pour une imprimante papier classique. Il montre que la matière plastique est bobinée en fil puis indique le cheminement du fil à travers le système de chauffe, l'extrudeur et la buse. Il montre les possibilités de déplacement de la buse avec les moteurs associés, procède de même pour le plateau et précise que des moteurs qui permettent ces déplacements sont commandés par le microcontrôleur en fonction des données stockées dans sa mémoire. Une analogie est ensuite présentée : au lieu d'imprimer un texte, c'est un objet qui est modélisé et l'encre est remplacée par du plastique.

3.2.4. Expérimentation avec des classes

3.2.4.1. Schéma de l'expérimentation

La représentation schématique globale de la méthodologie sur l'étude quantitative élèves est la suivante :

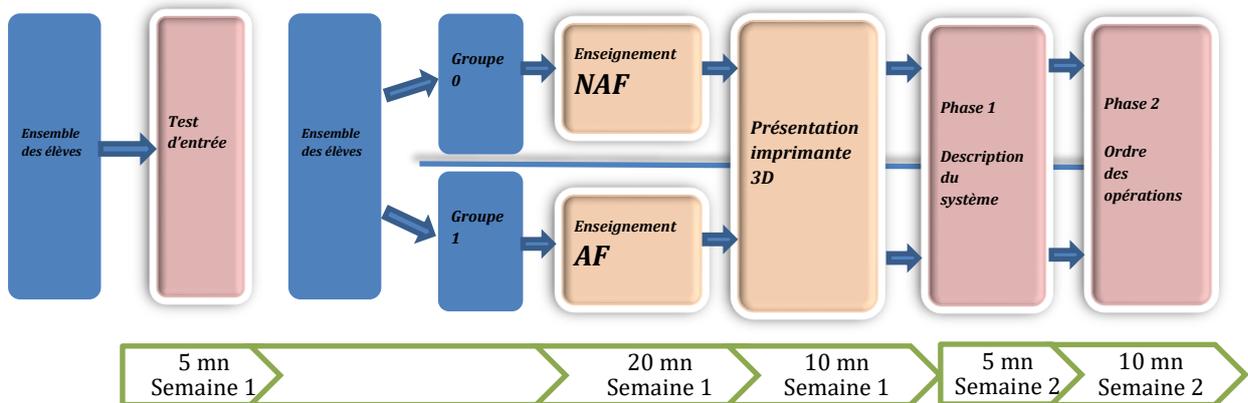


Figure 16 : méthodologie - étude quantitative élèves

La présentation de l'imprimante 3D prépare les élèves pour les exercices 1 et 2 qui ont lieu une semaine après le visionnage de la vidéo sur l'imprimante 3D. Il s'agit en effet de pouvoir suivre les variations dans les descriptions des systèmes entre le test d'évaluation d'entrée et un test final. Nous voulons comparer les effets de deux enseignements entre deux groupes. L'enseignement dure moins d'une heure, un délai trop long entre le test d'entrée et les exercices un et deux ne permettrait pas aux élèves de se rappeler de l'enseignement suivi. À l'inverse la passation des exercices immédiatement après l'enseignement ne serait pas significative : nous resterions sur un mode de restitution par mimétisme. Nous avons donc choisi un délai d'une semaine entre l'enseignement et le test d'évaluation.

3.2.4.2. Répartition de l'échantillon pour l'expérimentation avec des classes

Le tableau ci-dessous indique la répartition du nombre d'élèves par enseignant et par groupe pour les exercices un et deux.

	Groupe NAF non initié à l'AF	Groupe AF initié à l'AF
Enseignant 1	22	30
Enseignant 2	27	35
Enseignant 3	24	39
TOTAL	73	104

Tableau 3 : répartition des élèves par groupe – exercices 1 et 2

On note pour les exercices un et deux il existe une variation dans le nombre d'élèves entre les deux groupes.

- Groupe NAF (pas d'initiation à l'analyse fonctionnelle) : 73 élèves

- Groupe AF (initié à l'outil FAST de l'analyse fonctionnelle) : 104 élèves

Seize élèves du groupe NAF n'ont pas pu participer à l'expérimentation pour des raisons d'emploi du temps et d'activités extrascolaires.

3.2.4.3. Phase 1 : décrire le système imprimante 3D

Objectif : l'objectif est d'analyser les compétences des élèves à décrire un système qu'ils ne maîtrisent pas entièrement. C'est également un exercice de mémorisation, les élèves doivent se remémorer la vidéo et l'explication qu'ils ont eues lors de la dernière séance. Cet exercice va permettre de comparer les descriptions effectuées par les deux groupes, AF et NAF. Ces comparaisons devraient permettre de pointer les différences qui font suite aux deux enseignements dispensés. Notre variable principale est bien cette différence d'enseignement. Nous avons utilisé un plan de méthode avec des mesures qui seront corrélées sur les moyens pour décrire des systèmes et permettront d'évaluer la justesse de la description. Le groupe NAF, non-initié à l'analyse fonctionnelle, a eu un enseignement et si l'outil FAST n'était pas utilisé c'est un autre moyen de description qui a été mis en œuvre. Dans ce moyen comme dans l'outil FAST apparaissent les fonctions et les solutions liées au système. Notre principale corrélation est la compétence de décrire un système en termes de fonctions et de solutions. C'est donc principalement cette caractéristique qui sera observée dans les résultats.

Parallèlement à cette comparaison entre les deux groupes, une autre comparaison sera faite avec les résultats obtenus au test d'entrée lors de la description du vélo. Les systèmes choisis pour le test d'entrée et l'exercice 1 sont différents afin d'éviter une familiarisation des élèves avec la tâche à effectuer. Cette familiarisation aurait introduit un biais pour notre comparaison du fait de la répétition du même exercice. Si les systèmes sont différents, cela n'interdit pas de voir l'évolution dans les outils employés pour les descriptions.

Méthode : sur un modèle semblable au test d'entrée, l'enseignant a distribué aux élèves la fiche de la figure 17 ainsi qu'une feuille blanche. La tâche des élèves consiste à décrire l'imprimante 3D. Les conditions de passation du test d'entrée et de l'exercice 1 sont identiques, le temps est limité à trois minutes.

CONSIGNES

Tu connais le système pris en photo.

Pierre est dans l'autre classe, il ne le connaît pas et il n'a pas l'illustration.

Comment représenterais-tu le système pour qu'il comprenne comment ça marche ?

Tu disposes d'une feuille blanche et de seulement 3 minutes pour faire le document.



Figure 17 : exercice 1 – description d'une imprimante 3D

3.2.4.4. Phase 2 : mise en ordre des opérations

Objectif : nous voulons savoir si les élèves arrivent à différencier et à relier les différentes structures et fonctionnalités d'un système. La mise en œuvre d'un système impose une vision globale des sous-ensembles de ce système.

Méthode : pour cette raison nous soumettons aux élèves une tâche d'organisation des opérations à effectuer sur une imprimante 3D. Ils effectuent ce second exercice durant lequel ils doivent mettre en ordre des opérations de mise en œuvre de l'imprimante 3D d'après la fiche de la figure 19 qui est projetée au tableau.

On peut mettre en œuvre une imprimante 3D de différentes façons.
Dans quel ordre mettrais-tu les opérations suivantes

- A Initialiser l'imprimante (prête à fonctionner)**
- B Allumer l'imprimante**
- C Ouvrir le fichier de la pièce à imprimer**
- D Ouvrir le logiciel d'impression**
- E Régler l'imprimante**
- F Connecter l'imprimante à l'ordinateur**
- G Donner l'ordre d'imprimer**
- H Allumer l'ordinateur**

Recopier seulement les lettres sur votre feuille

Figure 18 : exercice 2 – mise en ordre des opérations

Cette fiche liste les différentes opérations nécessaires à la mise en œuvre d'une imprimante 3D. Chaque opération est repérée par une lettre de A à H. Pour faciliter le travail de l'élève et éviter une tâche de recopiage peu utile, l'élève n'inscrit, sur sa feuille, que les lettres dans l'ordre qu'il désire.

Les termes choisis pour décrire les différentes opérations ont été choisis de manière à être convenablement interprétés et compris par les élèves. Pour adapter le vocabulaire technique à la compréhension des élèves, nous avons au préalable soumis cette fiche à des élèves hors expérimentation. Ce qui a permis, en particulier, de remplacer « mise en route » ou « mettre sous tension » par « allumer » et d'associer à « initialiser l'imprimante » l'expression « prête à fonctionner ». Notre objectif concernait la place des différentes opérations, il est donc essentiel que ces opérations soient rapidement comprises et que l'interprétation ne porte pas à confusion.

Un système peut avoir plusieurs solutions pour être mis en œuvre. Dans notre cas l'éventail des solutions possibles est donné dans le tableau suivant.

Opérations N° de la solution	A	B	C	D	E	F	G	H
1	5	2	7	4	6	1	8	3
2		2				3		1
3		1				3		2
4		1				2		3
5		3				1		2
6		3				2		1
7			6		7			
8	6		5		7			

Tableau 4 : positions possibles (de 1 à 8) des différentes opérations (de A à H) de la mise en œuvre d'une imprimante 3D.

Un chiffre dans une case indique la position de l'opération pour une opération donnée. Par exemple dans la solution 1 l'opération A arrive en 5^e position. Les cases vides correspondent à un des autres chiffres de la colonne concernées

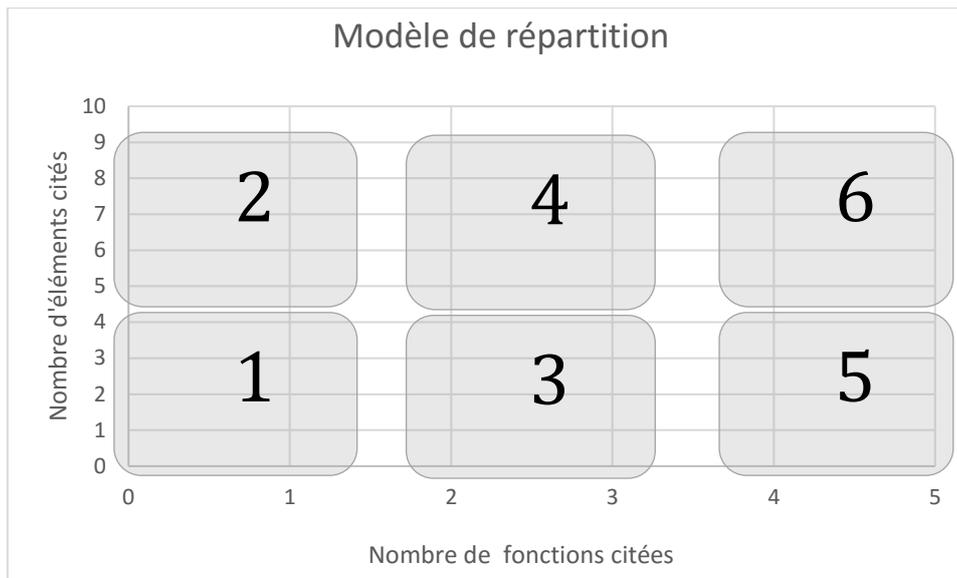
L'ordre des choix possède à la fois une part d'invariants et une part de variabilité. Ce tableau nous permet de constater que l'ordre des trois premières opérations n'a pas d'importance sur la procédure. Cela concerne les solutions une à six. On peut en effet indifféremment commencer par mettre sous tension l'imprimante ou l'ordinateur ou effectuer la liaison par câble USB. Cette absence de contrainte à ce niveau permet aux élèves de ne pas avoir d'erreur comptabilisée sur cette phase. Cela peut paraître simpliste, il faut commencer par « allumer » les appareils, mais lance les élèves dans cette tâche. Les solutions sept et huit prennent en compte les opérations qui viennent juste avant l'opération finale G : « donnez l'ordre d'imprimer ». Une fois le logiciel d'impression lancé l'ordre de réalisation de ces opérations sept et huit n'a pas de contrainte technique particulière. Elles doivent uniquement apparaître avant la dernière opération qui va démarrer l'impression.

3.2.4.5. Modèle de traitement des résultats

En nous référant aux caractéristiques descriptives issues de l'analyse fonctionnelle, nous pouvons proposer un modèle théorique de traitement des données.

Il faut distinguer les élèves et analyser les groupes d'élèves suivant la manière dont ils se représentent un système. Tout système comporte une fonction globale et intègre des composants. En accord avec l'analyse fonctionnelle, les différents éléments répondent à des fonctions. Au-delà du nombre de fonctions et d'éléments et afin d'effectuer une analyse plus fine nous pouvons comptabiliser pour un même élève combien de fonctions et d'éléments sont cités. Les auteurs qui traitent de l'analyse systémique sont en accord pour déclarer que la description d'un système repose sur un aspect analytique ou structurel et un aspect fonctionnel (Cambien & al, 2008 ; Gérard Donnadieu, Daniel Durand, Danièle Neel, Emmanuel Nunez, Lionel Saint-Paul, 2003). C'est donc sur ces variables du nombre de fonctions et du nombre d'éléments utilisés pour décrire un système que nous pouvons nous appuyer pour connaître l'état de cette description. En fonction du temps accordé dans notre méthodologie, nous pouvons avancer que le nombre maximum de fonctions citées par les élèves est de 5, le nombre maximum d'éléments est quant à lui d'une dizaine. Nous utiliserons ces maximums pour notre modèle.

Le modèle permet de catégoriser les descriptions en prenant en compte le nombre d'éléments et de fonctions proposé lors de cette description. Cette modélisation permet de cerner les compétences d'un élève à décrire un système en fonction de la position qu'il occupera dans le graphique suivant. Il présente la liaison entre le nombre de fonctions, en abscisse, et le nombre d'éléments donnés par les élèves en ordonnée. Différentes catégories correspondent à différentes compétences, la répartition de ces catégories est la suivante :



Graphique 2 : modèle de répartition des élèves pour la description d'un système

Pour fabriquer ce modèle, nous avons défini des catégories qui représentent certaines tendances et couvrent des surfaces dans lesquelles différents cas peuvent être identifiés. Elles permettent une classification des résultats.

- La catégorie 1 correspond à une description relativement pauvre. Seules une ou deux fonctions avec un à trois éléments au maximum apparaissent. Cette catégorie intègre également l'absence complète de fonction. À ce niveau, il n'y a pas de description.
- La catégorie 2 correspond à une description par éléments avec pas du tout ou très peu de fonctionnel.
- Dans la catégorie 3, même si le fonctionnel n'est pas prédominant, on note quand même sa présence et les éléments sont peu nombreux (entre 0 et 4). C'est une légère amélioration de la description, mais elle reste limitée.
- La catégorie 4, faible présence du fonctionnel, mais les éléments sont cités en assez grand nombre. On pourrait qualifier cette description de mixte, avec à la fois un peu de fonctionnel et des éléments.
- La catégorie 5 présente un bon aspect fonctionnel, mais la description est partielle, il manque quelques éléments.
- La catégorie 6 apparaît comme une bonne description d'un système où le fonctionnel est bien présent et peut être associé à plusieurs éléments. La description est complète, c'est dans ce mode de pensée systémique que peuvent être étudiés les systèmes les plus complexes.

De manière plus globale, nous pouvons dire que si des élèves sont positionnés dans des valeurs proches de l'origine de coordonnées (0,0) c'est qu'ils ne connaissent pas l'analyse fonctionnelle et ne peuvent pas décrire correctement un système. Si, à l'inverse, des élèves sont positionnés dans la partie supérieure droite du graphique, proches des coordonnées (5,10) alors la description du système est pertinente et une analyse fonctionnelle est appliquée. Il existe bien entendu toute une échelle de gradation entre ces deux extrêmes où les élèves maîtrisent plus ou moins les descriptions par éléments ou analyse fonctionnelle. Nous savons qu'en étude de systèmes en éducation technologique la répartition « fonction / structure / forme / élément » est admise par un certain nombre d'auteurs : Ginestié (2000), Graube & Dyrenfurth (2003), Chatoney (2003) que nous rejoignons et où le modèle présenté a certainement sa place.

3.2.5. Activité sur une tâche de fabrication

3.2.5.1. Introduction sur la méthodologie adoptée

L'activité consiste à régler une imprimante 3D pour réaliser une impression. Cette activité a été choisie, car elle combine à la fois la résolution d'un problème et une dimension sur la compréhension du système à régler. Il nous faut mettre en place l'objectif à atteindre et la démarche nécessaire pour orienter les élèves vers cet objectif tout en gardant présente la nécessité d'un apprentissage. Sur ce sujet on peut reprendre les préconisations fournies par Tricot :

« La pertinence du guidage serait donc relative aux connaissances antérieures de l'apprenant et au but d'apprentissage visé. On pourrait, à la suite des travaux de Tuovinen et Sweller (1999) par exemple, mais aussi de travaux plus anciens comme Sweller et Levine (1982) formuler les principes suivants :

- à but égal, fournir d'autant moins de guidage que l'apprenant a de connaissances ;
- laisser l'apprenant produire la plus grande quantité possible d'erreurs ou d'hésitations tant que cette quantité n'empêche pas la réalisation de la tâche envisagée ;
- si la réalisation de la tâche est menacée, alors guider ;
- le guidage ne permet pas de compenser un trop grand décalage entre le but d'apprentissage visé et les connaissances de l'apprenant ;
- formuler très précisément le but n'est pas systématiquement un guidage efficace ;
- le guidage par la procédure n'est pas systématiquement efficace. » Tricot (2004).

3.2.5.2. Cadres théoriques (rappel)

Cette partie de l'expérimentation renvoie à un certain nombre de références de nos cadres théoriques. La genèse instrumentale est présente par l'instrumentation et l'instrumentalisation de l'analyse fonctionnelle, ici faite par les élèves. La praxéologie s'intègre à la théorie anthropologique de la didactique par l'action des élèves sur l'imprimante 3D. Et il nous faudra repérer les différents processus cognitifs qui peuvent se mettre en place suite à une vision fonctionnelle du système.

3.2.5.3. Schéma global

Une expérimentation vise à connaître les processus cognitifs qui se mettent en place chez les élèves. Elle consiste à percevoir la manière dont les élèves s'approprient l'analyse fonctionnelle. La tâche dévolue aux élèves consiste à fabriquer une bille à partir d'un système technologique : l'imprimante 3D.

L'expérimentation mise en place dans cette partie qualitative se fonde sur une analyse à priori de la tâche. L'analyse de la tâche effectuée par les élèves nous indiquera ce qu'ils utilisent comme connaissances ou compétences pour réaliser la tâche. Les enjeux de savoir ne se limitent pas à l'utilisation d'un système, mais bien à sa compréhension.

Le schéma global de la méthodologie – partie qualitative et durée des différentes phases - est le suivant :

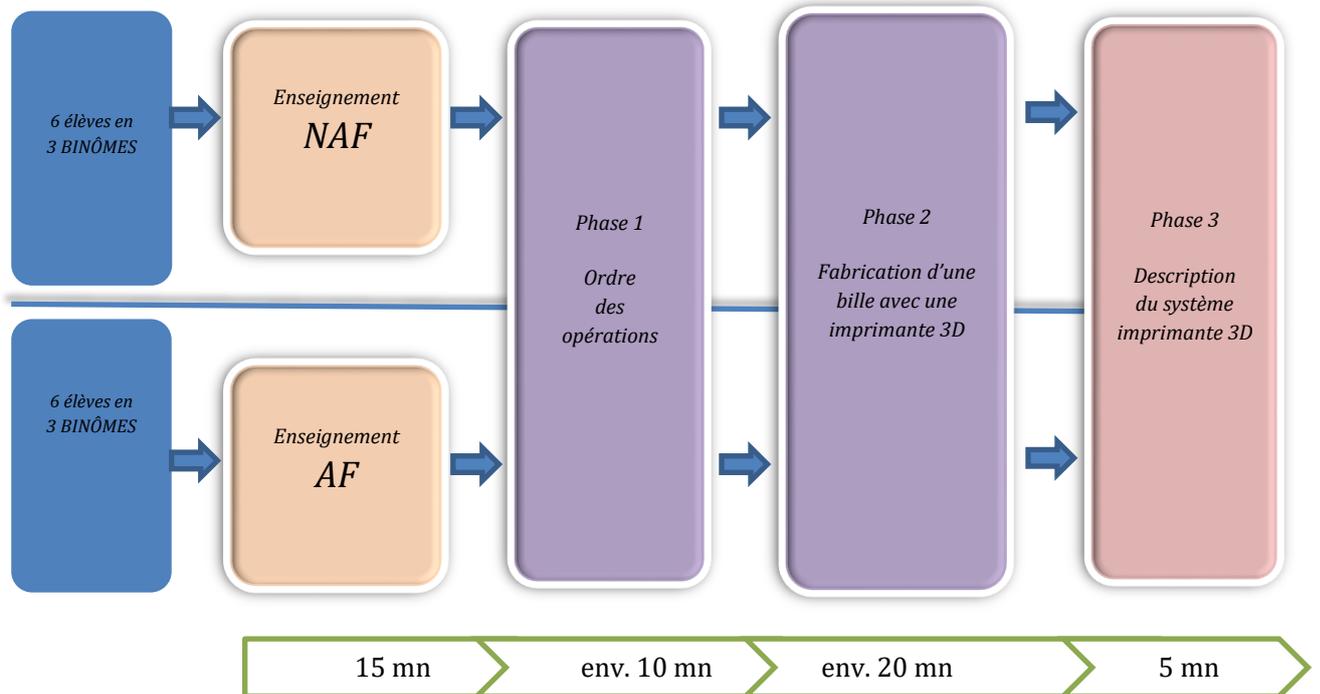


Figure 19 : méthodologie - étude qualitative de l'expérimentation élèves

Trois binômes suivent un enseignement avec une utilisation de l'outil FAST de l'analyse fonctionnelle, trois autres binômes ne sont pas initiés à cet outil. Les enseignements dispensés sont identiques à ceux présentés pour l'analyse quantitative.

Les élèves sont répartis en deux groupes. Le groupe AF suit un enseignement sur la description de systèmes avec un outil de l'analyse fonctionnelle, le diagramme FAST. Le groupe NAF suit un enseignement sans les outils de l'analyse fonctionnelle, l'enseignement est basé sur un modèle avec schéma descriptif et texte. Les supports d'enseignement sont identiques, tant du point de vue des exemples donnés que de l'exercice à faire. Les supports d'enseignements sont les mêmes diaporamas que ceux utilisés lors de la phase de l'analyse quantitative. Pour la séquence d'enseignement, on peut se reporter au paragraphe 3.2.3.

Les phases une et deux du schéma amènent l'élève à la tâche de fabrication de la bille. La phase une est préparatoire à la fabrication. La phase deux concerne la fabrication, avec un réglage de l'imprimante à effectuer. La phase trois nous permettra d'évaluer les connaissances acquises par les élèves et les compétences réinvesties. Elle consiste comme pour le test d'entrée en une description d'un système technique. Un groupe de six élèves soit 3 binômes, suit un enseignement sur l'analyse de systèmes sans utiliser les outils de l'analyse fonctionnelle, ils sont repérés NAF. Les 3 autres binômes suivent un enseignement avec l'utilisation d'un outil de l'analyse fonctionnelle, ils sont repérés

AF.

Les enseignements sont identiques à ceux décrits précédemment.

Trois phases suivent cette période d'enseignement :

- un exercice qui prépare la fabrication.
- la fabrication, avec un réglage de l'imprimante à effectuer.
- un exercice final.

3.2.5.4. Population

Les binômes ont été formés pour pouvoir établir une comparaison suite aux résultats de l'analyse quantitative. Pour chaque type d'enseignement on trouve : un binôme d'élèves ayant de bons résultats scolaires (moyenne générale supérieure à 14), un binôme avec deux élèves ayant une moyenne générale entre 14 et 10, ces élèves sont qualifiés de moyens, et un binôme avec deux élèves ayant une moyenne inférieure à 10, élèves qualifiés de faibles.

3.2.5.5. Méthode d'analyse

Les discours des élèves sont enregistrés et retranscrits (Annexe 5). Les enregistrements sont réalisés avec la configuration suivante :

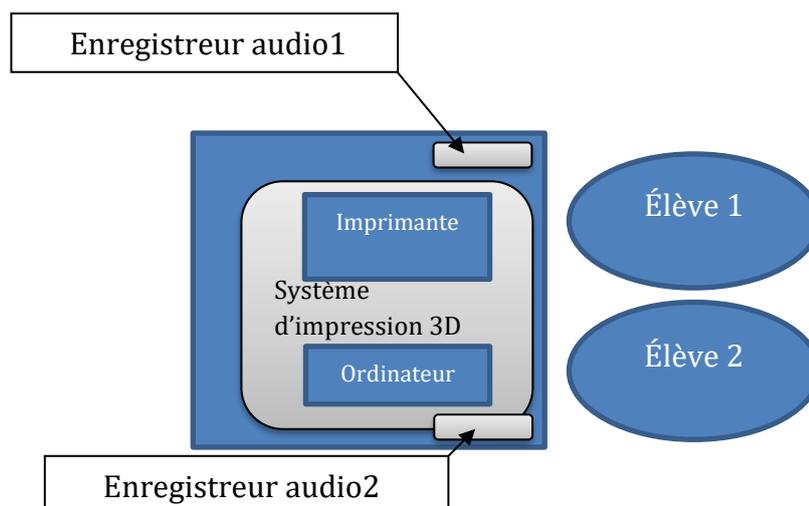


Figure 20 : implantation du matériel et position des élèves

L'enregistreur audio2 est utilisé dans le cas où le son enregistré par l'enregistreur 1 est de mauvaise qualité ou parasité par des bruits extérieurs à la manipulation.

3.2.5.6. Phase 1 : mettre en ordre les fiches d'utilisation de l'imprimante 3D

C'est la première tâche que chaque binôme doit effectuer. L'enseignant explique aux élèves qu'ils vont devoir fabriquer une bille en plastique à l'aide d'une imprimante 3D. Pour donner du sens à cette tâche, il montre un jeu de solitaire où plusieurs billes sont manquantes. Il explique que les fabriquer en bois serait pour lui trop complexe et qu'il n'a pas trouvé la bonne taille dans le commerce.

Cette tâche est semblable à l'exercice 2 de la partie analyse quantitative (paragraphe 3.2.4). Dans cette expérimentation les élèves possèdent des fiches sur lesquelles sont détaillées les opérations à effectuer. La tâche consiste à mettre dans un ordre correct ces fiches guides nécessaires pour utiliser l'imprimante 3D. L'ensemble de ces fiches se trouve en annexe 6. Les élèves disposent également du poste de travail composé de l'imprimante reliée à un ordinateur qui intègre un logiciel de pilotage.



Figure 21 : poste de travail - système d'impression 3D

Comme pour l'exercice de la partie quantitative, plusieurs solutions existent. On peut se référer à la page 89 pour voir les différentes solutions possibles. L'objectif est de voir si les élèves appréhendent les interactions entre les différentes parties du système. L'enchaînement temporel des étapes de fonctionnement permet de vérifier cet objectif. En cas d'erreur, les élèves seront en échec et ne pourront pas mettre en œuvre le système. L'ensemble des opérations pour la mise en œuvre de ce matériel nécessite plusieurs étapes qui peuvent se résumer ainsi :

- sur ordinateur, création d'un modèle 3D virtuel avec un logiciel et interprétation en code de commande compréhensible par l'imprimante.

- connexion de l'ordinateur à l'imprimante avec un pilote permettant la communication.
- préparer et calibrer l'imprimante.
- impression de l'objet.
- finition de l'objet.

3.2.5.7. Phase 2 : Fabrication d'une bille avec l'imprimante

C'est la deuxième tâche qui est donnée aux élèves. Il s'agit de saisir si les élèves ont conceptualisé le système. Conceptualiser correspond pour nous, à ce que les élèves aient une représentation générale et mentale du système. L'élève doit percevoir et comprendre les liens ou interactions entre la fonction principale, les fonctions techniques et les différents éléments du système. Fonction principale et fonctions techniques sont des passages obligatoires pour conceptualiser le système. La fonction principale correspond au registre du besoin et les fonctions techniques au registre de la structure.

Pour donner du sens à cette tâche, on indique aux élèves que les billes d'un jeu de solitaire ont été perdues. Ces billes avaient une taille spécifique, il n'est pas facile d'en retrouver. Une solution est donc d'en fabriquer. Fabriquer une bille en bois ou avec d'autres matériaux demande une certaine technicité et des moyens spécifiques. Une façon plus simple de procéder est une impression 3D des billes et le collège dispose d'une imprimante 3D.

Une des opérations les plus sensibles lors de cette procédure est la calibration de l'imprimante. De certaines de ces opérations découle l'obtention ou non d'une pièce réussie ou ratée. Le réglage de la hauteur relative entre la tête d'extrusion et le plateau support avant impression est un des paramètres essentiels qui permet d'obtenir une pièce de qualité. Sur certaines imprimantes ce réglage peut s'effectuer de manière automatique, à l'aide d'un capteur qui se trouve sur la buse et qui fournit la distance entre la buse et le plateau mais le réglage manuel reste majoritairement la règle et la vérification du réglage peut se faire en insérant une feuille de papier A4 (80 g/m²) entre la buse et le plateau, la distance entre ces deux éléments devant être de 0,1 à 0,2 mm. Ce réglage est donc sujet à une certaine appréciation de la part de l'opérateur, la feuille ne doit pas être bloquée, mais la traction nécessaire pour tirer n'est pas spécifiée et la notion de blocage ou non reste relative.

Les élèves possèdent les fiches guide précédemment classées. En cours de manipulation, un problème rencontré concerne le réglage de la hauteur du plateau de l'imprimante. Cette hauteur est dérégulée et l'impression ne sera pas correcte si un réglage adéquat n'est pas effectué.



Résultat obtenu avec un réglage correct

Résultat obtenu avec un réglage incorrect

Figure 22 : résultats de la fabrication

Suivant la manière dont les élèves vont interpréter et effectuer le réglage nous pouvons tenter de comprendre comment cette opération de réglage a été comprise par les élèves (Charnay, 2003 ; Mezui M'Obiang, 2013).

Lorsque les élèves effectuent la tâche, trois modalités différentes sont attendues :

- les élèves suivent pas à pas les fiches guides,
- ils s'affranchissent des fiches guides,
- ils les interprètent et/ou ne les comprennent pas.

Un mélange de ces trois modalités est également possible. C'est en fonction de l'attitude de ces élèves vis-à-vis de ces modalités que l'impression peut être correcte ou incorrecte. Dans le cas où ils suivent les fiches guides et les comprennent, l'impression sera correcte. Dans les autres cas, le réglage est incorrect et l'impression échoue. Quand l'impression échoue, un processus d'essais-erreurs se met en place en place, les élèves recommencent alors l'impression. Il est alors intéressant de savoir ce qu'ils peuvent modifier ou non. Si aucune modification n'est apportée, l'impression échouera à nouveau, les élèves ne maîtrisent pas le système. Il en sera de même si les modifications sont inadéquates. Si des changements judicieux sont opérés tels qu'une lecture plus minutieuse des fiches, une meilleure compréhension du processus de réglage, une manipulation de la feuille à retirer plus finement effectuée, alors l'impression sera correcte.

Pour cet exercice nous sommes certains que les savoirs que l'élève doit posséder, dans ce cas du guidage, sont des prérequis qui concernent uniquement le suivi des instructions et l'identification de certains éléments sur des schémas ou photos (Ginestié, 2000). Or ce qui nous intéresse c'est que l'élève puisse faire le lien entre la représentation fonctionnelle et l'objet réel. Il faut donc que le guidage ne soit pas complet, ce qui est le cas lorsque les élèves doivent interpréter le fait que la feuille soit « légèrement bloquée » et entrer dans un processus itératif du réglage. Nous avons alors une opération de réglage dans le sens où l'entend Afeissa (2014), ce réglage prolonge la fonction d'invention et de construction, « Le réglage est une invention perpétuée, quoique limitée ». Il est alors possible de tenter de mettre en évidence le processus de

compréhension que l'élève doit mettre en place pour réaliser la tâche. Pour cela nous considérerons les écarts entre la tâche réalisée et l'analyse à priori de cette tâche. Nous décomposons la tâche en différentes opérations. Des savoirs sont associés à ces opérations, s'ils sont présents l'opération peut être accomplie, sans les savoirs associés il est peu probable que l'élève avance dans cette succession d'opérations. Les différentes opérations sont les suivantes :

- Commander le déplacement du plateau à partir de l'ordinateur (Prérequis : les 2 matériels sont en fonctionnement et reliés, le logiciel de commande est lancé, le menu d'accès à ces commandes est connu).
- Évaluer la distance entre la buse et le plateau.
- Valider le réglage.
- Tester l'impression.

D'après les programmes officiels de technologie de l'éducation nationale, certains des domaines de connaissances qui apparaissent en technologie sont les suivants : Principe général de fonctionnement – Information et caractéristiques techniques – Poste de travail et périphériques – Acquisition et restitution de données – Stockage des données – Consultation création et transmission de documents numériques – Mise en position et maintien d'une pièce – Mesure dimensionnelle. C'est au travers de ces domaines que nous pouvons effectuer une liaison entre les savoirs et les opérations effectuées. Afin de simplifier l'identification de ces savoirs, nous pouvons décomposer deux principales étapes.

- **L'utilisation d'une interface homme-machine.**

Les logiciels comportent généralement un menu spécifique pour effectuer le réglage de la hauteur du plateau. Accéder à ce menu implique une première connaissance de l'architecture des logiciels. Une fois le menu trouvé, les connaissances sont celles caractéristiques de l'utilisation d'un logiciel implanté sur un ordinateur et font partie du domaine des TICE : utilisation de la souris en cliquant, navigation à l'intérieur d'une fenêtre... Lorsque l'utilisateur a trouvé le menu adéquat, une fenêtre s'ouvre et permet d'accéder au réglage de la hauteur du plateau. Il faudra alors qu'une correspondance puisse être faite entre ce qui est vu à l'écran et ce qui correspond à la machine physique ou à ses possibilités (Agostinelli, 1994 ; Hoc, 1999 ; Linard, 2001).

L'activité consistera à cliquer à différents endroits de la fenêtre ouverte. Il s'agit de mettre en œuvre des savoirs liés au logiciel. La manière dont le logiciel est conçu doit permettre à l'opérateur de faire appel à des savoirs connus. Si aucune liaison ne peut être faite par l'utilisateur entre la fenêtre ouverte et les savoirs nécessaires, l'activité de l'élève passera dans un premier temps soit par la compréhension du logiciel, soit par l'impossibilité de poursuivre la tâche. C'est à ce moment que certaines connaissances structurelles et fonctionnelles de la machine sont impératives. Ce n'est qu'à ces conditions que l'élève pourra passer de manière logique et séquentielle à la phase suivante.

- **L'interaction partie – commande et partie opérative.**

À ce stade l'élève doit effectuer des actions sur l'interface qui auront un prolongement vers la machine. Les notions de partie commande et partie opérative doivent donc être acquises ou tout au moins prises en compte. Si ce n'est pas le cas, les actions de l'élève via l'interface risquent d'être désordonnées et les effets produits pas nécessairement ceux qui sont attendus. Dans cette dernière perspective, l'activité sera une activité de découverte avant de passer à la tâche prévue. On peut néanmoins s'attendre à cette découverte dans la mesure où les activités notamment en cours de technologie se basent souvent sur cette pédagogie (Bessen, 2015). Il paraît cependant probable que pour des élèves maîtrisant la machine ou coutumiers de ses manipulations, le temps de mise en œuvre de la tâche sera plus court. Dans notre étude il s'agira surtout de prendre en compte ceux qui n'ont aucune maîtrise particulière au départ, les résultats seront alors plus significatifs pour savoir si l'usage préalable de l'analyse fonctionnelle est efficace ou non. La connaissance de la structure de la machine est également nécessaire dans cette opération.

3.2.5.8. Phase 3 : description du système imprimante 3D

C'est la troisième tâche que chacun des élèves du binôme doit réaliser. Cette tâche est identique à l'exercice 1 défini lors de l'analyse quantitative (paragraphe 3.2.4), à savoir, la description en un temps limité du système imprimante 3D et ordinateur. C'est cette tâche de description qui va nous permettre de confirmer si l'analyse fonctionnelle rend plus efficace à la fois la compréhension et la conceptualisation du système. Cet exercice où il leur est demandé de décrire le système qu'ils ont utilisé va permettre de contrôler que les liens entre les éléments structurels et fonctionnels sont établis. On regarde si les élèves énumèrent fonctions et éléments tout en respectant la correspondance entre ces deux aspects de l'imprimante 3D.

3.2.5.9. Cadre de traitement des résultats

Le cadre de traitement se fera à travers l'analyse des discours entre les élèves d'un même binôme lors de l'opération de fabrication d'une bille. Notre grille d'analyse prend en compte les termes utilisés à différents moments clés de la manipulation :

- En fin de manipulation, lorsque les élèves voient le résultat.
- En cas d'échec avec l'analyse des causes de l'échec.

- Lors du réglage de la hauteur du plateau, avec la prise en compte des réactions éventuelles au moment de l'interaction partie commande - partie opérative

En plus des éléments constitutifs et associables à une fonction, sont aussi pris en compte les termes ou expressions susceptibles d'être utilisés et qui font intervenir des notions ou concepts propres au système tels que : chaleur, solidification, initialisation, réglage...

Cet ensemble passe par la retranscription complète des dialogues et nous amène à une grille d'analyse qui correspond d'après nous à une approche correcte du système. Dans cette grille, les élèves ont réussi avec succès l'impression de la bille, même si des essais infructueux ont pu avoir lieu. Ces essais qui n'aboutissent pas sont censés aider les élèves à progresser, il faut donc qu'une correction, un changement ou une modification ai lieu avant de recommencer le processus. Ce comportement est typique des systèmes, on modifie un élément, cela peut agir sur l'ensemble. Si les élèves ne font aucune modification, cela signifie que, pour eux, le processus est figé. On pense alors généralement que c'est le système qui est défaillant. Des termes relatifs aux notions et concepts autour de la manipulation et du système peuvent être employés. De la part des élèves du collège, on peut s'attendre à voir apparaître ce qui traite de l'interaction entre l'ordinateur et l'imprimante, des ordres sont « envoyés », il y a un « transfert » de l'information. La notion de transformation de la matière est également invoquée. Cette dernière se fait par l'intermédiaire d'un apport de chaleur, c'est aussi un concept qui est présent dans ce système. De nombreux autres termes comme création d'un objet, modélisation, sécurité peuvent aussi être cités par les élèves et ont un lien direct avec une vision du système, ils font partie de notre grille. Pour finir avec cette approche modélisée, nous notons aussi qu'une cohérence dans le discours est nécessaire. Et selon nous il y a une hiérarchie des différents éléments dans les discours. La figure ci-dessous correspond à une représentation graphique de notre grille d'analyse.

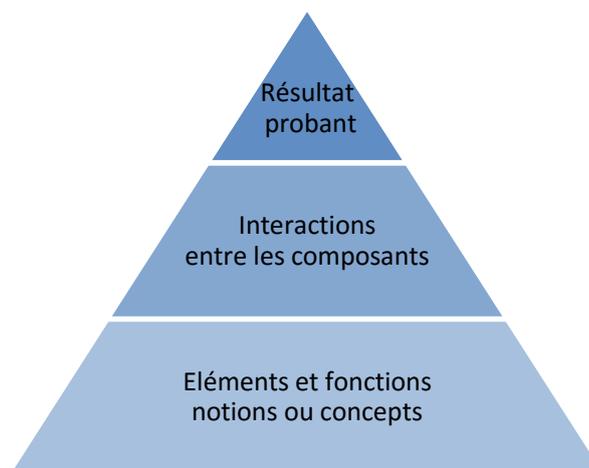


Figure 23 : grille d'analyse - discours élèves, manipulation d'un système

Ce modèle se veut représentatif d'une hiérarchisation des conditions nécessaires à la mise en place d'une structure systémique chez les élèves. Ceci peut être représenté de façon pyramidale, comme l'indique la figure suivante. Un résultat probant peut être

obtenu, mais s'il n'est pas précédé des éléments qui figurent vers la base de la pyramide il n'aura que peu de poids. Il est alors difficile d'avancer que les élèves aient pu mettre en place des procédures cognitives de type systémique. A contrario, si les élèves citent de manière cohérente des notions et concepts rattachés au système et même si le résultat obtenu n'est pas celui attendu, alors on peut cependant affirmer que certains processus cognitifs liés à une analyse systémique se sont mis en place. La compréhension des interactions se situe pour nous à un niveau intermédiaire entre les deux volets déjà présentés.

4. L'analyse fonctionnelle et les enseignants : méthodes et instruments (résultats)

Cette première partie de nos résultats concerne les enseignants. Nous présentons ici les résultats qui correspondent à la méthodologie décrite au paragraphe 3.1 page 62.

4.1. Analyse des réponses au questionnaire

L'objectif de l'étude présentée est de connaître et caractériser les usages de l'analyse fonctionnelle dans les pratiques déclarées par des enseignants en technologie qui exercent dans des collèges français. Sur la base d'un questionnaire, nous analysons les connaissances et pratiques des enseignants sur certains outils de l'analyse fonctionnelle. Nous montrons que les enseignants, même s'ils l'utilisent très largement dans les collèges, ne déclarent pas toujours la maîtriser parfaitement. En catégorisant les enseignants et leurs réponses, nous tentons de trouver des indices et de mettre en avant les principales difficultés qui empêchent l'analyse fonctionnelle d'être une méthode générique appartenant aux invariants de l'enseignement technologique pour tous les niveaux scolaires.

4.1.1. Utilisation de l'analyse fonctionnelle par les enseignants

- Traitement des données

Le traitement des données obtenues à partir de questions fermées, semi-ouvertes et ouvertes, est qualitatif et quantitatif. Il est réalisé par tri à plat, croisement de variables et analyse qualitative des questions ouvertes.

- Analyse de l'utilisation de l'analyse fonctionnelle par les enseignants

Pour des choix de lisibilité, les résultats sont présentés selon 2 axes :

- un premier axe sur la maîtrise et la formation des enseignants à l'outil.
- un second axe sur les perceptions (au sens de leur posture épistémologique) des enseignants et l'usage de l'outil en classe.

- Maîtrise et formation des enseignants à l'analyse fonctionnelle

Maîtrise déclarée par les enseignants : les enseignants ont auto-évalué leur compétence de l'analyse fonctionnelle. Les paramètres dépendants ont été choisis pour donner une vision globale pour l'ensemble des enseignants de technologie dans le but de définir les principales caractéristiques de l'usage de l'analyse fonctionnelle. Les enseignants se sont donnés une note entre 0 (très faible capacité) et 5 (très bonne capacité). Afin d'obtenir des résultats significatifs et pour simplifier le tableau, l'auto-évaluation a été divisée en trois catégories. De 0 à 1 : pas ou peu de maîtrise, 2 et 3 : maîtrise moyenne, 4 et 5 : maîtrise élevée.

- Maîtrise de l'analyse fonctionnelle en fonction de la formation

Le tableau ci-dessous récapitule la maîtrise de l'analyse fonctionnelle en fonction de leur niveau de formation.

Niveau	Effectif	Note de 0 ou 1	Note de 2 ou 3	Note de 4 ou 5
Bac +2 ou moins	19 %	8 %	56 %	36 %
Bac +3	29 %	2 %	53 %	45 %
Bac +4	9 %	10 %	45 %	45 %
Bac +5 et plus	43 %	9 %	44 %	47 %
TOTAL	129	7 %	49 %	44 %

Tableau 5 : niveau de formation et maîtrise déclarée de l'analyse fonctionnelle.

Ce tableau montre que sur 129 enseignants une grande majorité maîtrise l'outil : 44 % le maîtrisent très bien ; 49 % ne le maîtrisent pas parfaitement, mais le connaissent ; 7 % ne le maîtrisent pas. Quand on regarde leur niveau de formation on constate pour les enseignants qui ont un niveau bac + 3, 4 et 5 une répartition équilibrée entre ceux qui annoncent une note de 2 à 3 et ceux qui annoncent une note de 3 à 4. Ce n'est pas le cas pour ceux qui ont un niveau bac +2 ou la répartition est inégale 56 % contre 36 % ce qui indique une maîtrise globalement moins bonne que pour les enseignants avec niveau bac+ 3, 4 et 5.

Il n'est pas surprenant que quand le niveau d'études augmente, le niveau de capacité augmente. Avec cinq années d'études supérieures, 47 % des enseignants ont déclaré une capacité de haut niveau en analyse fonctionnelle. Cela indique que l'outil doit être appris

et utilisé afin d'améliorer la capacité de l'enseignant à l'utiliser à un niveau adéquat. Plusieurs résultats sont surprenants. 7 % des enseignants de technologie ne sont pas familiarisés avec les outils de la matière scolaire qu'ils enseignent. À ces 7 %, si l'on y ajoute les 49 % d'enseignants qui déclarent qu'ils ne contrôlent pas très bien l'outil, on obtient un total de 56 % d'enseignants de technologie qui ne maîtrisent pas les outils de la discipline qu'ils enseignent ce qui est très alarmant. On ne sait pas si ces enseignants n'étudient pas les systèmes, ou s'ils utilisent d'autres outils pour l'étude des systèmes techniques, par exemple les cartes mentales, les blocs d'énergie et les descriptions. Nous remarquons également que les enseignants qui utilisent l'analyse fonctionnelle, l'utilisent quel que soit leur niveau de formation. Toutefois, ces derniers expriment des réserves sur leur capacité à gérer l'outil, constatation que l'on retrouve dans le monde industriel de la production.

- **Maitrise en fonction de l'âge**

Le tableau suivant croise l'âge des enseignants avec le niveau de maîtrise déclarée. Nous avons effectué un regroupement en 3 catégories : moins de 40 ans, entre 40 et 50 ans et plus de 50 ans pour obtenir des effectifs les plus homogènes possible.

Age	Note de 0 ou 1	Note de 2 ou 3	Note de 4 ou 5
<= 40	0 %	12 %	13 %
40>x>50	4 %	19 %	12 %
x>=50	3 %	18 %	19 %

Tableau 6 : croisement de l'âge et de la maîtrise auto déclarée de l'analyse fonctionnelle.

Le regroupement des classes d'âges et le calcul de la moyenne nous indiquent que, quelle que soit la tranche d'âge la répartition est à peu près similaire. Très peu d'enseignants déclarent peu ou ne pas du tout maîtriser l'analyse fonctionnelle, on peut cependant noter que chez les plus jeunes aucun ne s'attribue une note de zéro ou un. Les effectifs se partagent ensuite à peu près également entre une maîtrise moyenne et une bonne ou très bonne maîtrise et cela, quel que soit l'âge. Si ce n'est une légère tendance à estimer avoir une maîtrise plutôt moyenne chez les 40-50 ans, ce qui est le cas de 19 % des enseignants.

Le traitement des données brutes (sans regroupement) avec le logiciel de traitement statistique Sphinx donne une corrélation de -0,03 entre l'âge et la maîtrise de l'analyse fonctionnelle. Cela confirme le résultat précédent qui indique qu'il n'y a pas de relation significative entre ces deux variables. De même si à la place de l'âge nous prenons en compte la durée de l'expérience professionnelle des enseignants, la corrélation avec la maîtrise de l'analyse fonctionnelle est de -0,06. Il n'y a donc là aussi aucune relation

entre la durée de l'expérience et la maîtrise de l'analyse fonctionnelle. On note aussi que le coefficient de corrélation multiple est de 0,09. Il n'y a donc pas d'influence combinée de l'âge et de la durée de l'expérience professionnelle sur la maîtrise de l'analyse fonctionnelle. Ces résultats confirment donc que ni l'âge ni l'ancienneté dans le métier ne favorisent la connaissance de l'analyse fonctionnelle chez les enseignants de technologie.

- Perception de l'analyse fonctionnelle par les enseignants

Pour étudier la perception de l'analyse fonctionnelle par les enseignants, nous avons procédé à un traitement quantitatif et qualitatif des données recueillies.

4.1.1.1. Traitement quantitatif

Dans un premier temps nous avons cherché à savoir comment les enseignants utilisent l'analyse fonctionnelle. Ceci notamment à travers les principaux outils de l'analyse fonctionnelle. Puis dans un second temps nous avons cherché à connaître les pratiques effectives des enseignants lors de l'utilisation des outils.

- Connaissance des outils de l'analyse fonctionnelle par les enseignants.

Le tableau suivant présente le nombre d'outils connus des enseignants parmi les quatre les plus répandus de l'analyse fonctionnelle (diagramme des besoins, graphe des inter-acteurs, CDCF, FAST).

Nombre d'outils connus sur 4	0	1	2	3	4
% d'enseignants	14 %	11 %	12 %	17 %	46 %

Tableau 7 : nombre d'outils connus par les enseignants

Les enseignants qui connaissent les quatre outils représentent 46 % du total contre 14% qui ne connaissent aucun outil. Ces résultats confirment qu'une moitié des enseignants ont une connaissance des outils de l'analyse fonctionnelle et que l'autre moitié ne les connaît pas ou à peine. Ceci est à relier aux résultats précédents. On peut la aussi s'interroger sur la façon dont les enseignants étudient les systèmes dans leur globalité pluritechnologique. La moitié des enseignants étudie les systèmes autrement ou ne les étudie pas.

- **Type d'outils utilisés par les enseignants**

Le tableau suivant représente le pourcentage d'enseignants qui utilisent les outils différents.

Type d'outils	Diagramme des besoins	Graphe des inter-acteurs	CDCF	FAST
% d'enseignants qui utilisent cet outil	56 %	59 %	77 %	57 %

Tableau 8 : utilisation des outils par les enseignants

Les outils, du plus au moins utilisé, sont dans l'ordre le Cahier Des Charges Fonctionnel (77 %), le graphe des inter-acteurs (59 %), le diagramme FAST puis le diagramme des besoins (57 et 56 % d'utilisateurs).

- **Type d'outils utilisés par les enseignants selon leurs pratiques pédagogiques**

Le tableau suivant représente la répartition du nombre d'enseignants en fonction des outils de l'analyse fonctionnelle qu'ils utilisent, et cela suivant quatre modalités pédagogiques qui sont fréquemment employées en éducation technologique. Il met en évidence le lien entre la modalité pédagogique adoptée et le genre d'outil utilisé.

- Modalité pédagogique 1 : étude de systèmes existants (les systèmes sont présentés à l'élève).
- Modalité pédagogique 2 : conception de systèmes (les systèmes n'existent pas encore, ils sont conçus par les élèves).
- Modalité pédagogique 3 : modalité 1 + modalité 2.
- Modalité pédagogique 4 : les enseignants n'utilisent pas l'analyse fonctionnelle.

	% d'enseignants	Diagramme des besoins	Graphe des inter- acteurs	CDCF	FAST
Modalité 1	32 %	34 %	34 %	34 %	34 %
Modalité 2	35 %	34 %	33 %	33 %	32 %
Modalité 3	25 %	32 %	33 %	33 %	34 %
Modalité 4	8 %				

Tableau 9 : répartition des outils par modalités d'enseignement.

Ce tableau montre que 32 % des enseignants utilisent l'analyse fonctionnelle au cours de l'étude des systèmes existants. Parmi ces 32% qui ont recours à la modalité 1, les 4 outils sont utilisés autant les uns que les autres (34 % pour chaque outil). 35 % des enseignants utilisent l'analyse fonctionnelle en conception de système. Parmi ces 35 % d'enseignants qui utilisent la modalité pédagogique 2, les quatre outils sont utilisés dans presque les mêmes proportions, avec une légère augmentation pour le diagramme des besoins et une petite diminution pour le diagramme FAST. 25 % des enseignants recourent à la modalité pédagogique 3, autrement dit 25 % des enseignants utilisent l'analyse fonctionnelle aussi bien pour étudier des systèmes présentés ou en conception de systèmes. Là encore les 4 outils sont presque autant utilisés, mais cette fois-ci avec une légère baisse pour le diagramme des besoins et une légère augmentation pour le FAST. Huit pour cent des enseignants n'utilisent pas l'analyse fonctionnelle. Même si l'outil est connu, son utilisation en classe n'est pas rattachée à une modalité en particulier. Les enseignants recourent à l'analyse fonctionnelle dans tous les cas. La distribution des outils par modalité d'étude est quasi identique, un tiers en conception, un tiers en étude et un tiers pour les deux. Les outils de l'analyse fonctionnelle sont, pour les enseignants, utiles pour concevoir et étudier des systèmes techniques. Les outils APTE® et FAST conçus pour faire de la conception sont aussi utilisés pour décrypter des systèmes existants.

- Objectif visé dans l'utilisation des outils

Le tableau ci-dessous présente la répartition des enseignants par objectif pédagogique poursuivi : comprendre l'analyse fonctionnelle, comprendre le système, comprendre à la fois l'analyse fonctionnelle et le système.

Objectif	Comprendre l'analyse fonctionnelle	Comprendre le système	Comprendre l'analyse fonctionnelle et le système
% d'enseignant	26 %	22 %	52 %

Tableau 10 : répartition des préoccupations pédagogiques.

La moitié des enseignants (52 %) a pour objectif de faire comprendre aux élèves à la fois l'outil de l'analyse fonctionnelle et le système étudié. 26 % des enseignants cherchent à faire comprendre les techniques de l'analyse fonctionnelle et n'attribuent pas d'importance au système qui est le support d'étude. 22% visent la compréhension du système technique et non pas la logique de l'outil qui permet à ces systèmes d'être compris. Du point de vue posture épistémologique des enseignants, ceci reflète bien leur volonté de faire porter la connaissance à la fois sur les outils et la compréhension du système.

4.1.1.2. Traitement qualitatif

Le traitement porte sur la réponse à la question : « Est-ce que l'analyse fonctionnelle est indispensable à l'analyse d'un système ? Pourquoi ? ». Le tableau présente la répartition des 129 enseignants à propos de leurs réponses à cette question.

	Oui	Non	Réponse non catégorique	Pas de réponse	Total
Nombre de réponses	46 %	17 %	33 %	4 %	100 %

Tableau 11 : réponses sur la nécessité de l'analyse fonctionnelle pour l'étude d'un système.

Ce sont 46 % des enseignants qui répondent que l'analyse fonctionnelle est indispensable pour l'étude d'un système. 17 % ne la perçoivent pas comme nécessaire. 33 % des enseignants reconnaissent à l'outil certains avantages par rapport à certains objectifs pédagogiques. Pour éclairer davantage les propos des enseignants quant à la nécessité de l'analyse fonctionnelle pour l'analyse de système, nous avons catégorisé à priori les arguments qu'ils donnent dans leurs réponses et justifications. Cette

catégorisation est inspirée d'un travail de recherche antérieur sur l'argumentation en classe de sciences (Said, 2010). Nous signalons par ailleurs qu'une part de subjectivité pourrait intervenir dans l'attribution de certains arguments d'enseignants à une catégorie ou à une autre. Le croisement d'analyses quantitative et qualitative vient réduire cette part de subjectivité.

Les principales catégories d'arguments sélectionnées sont les suivantes : arguments pédagogiques ; arguments liés à l'expertise ; arguments pragmatiques ; arguments subjectifs.

- Les arguments pédagogiques proviennent de l'intention et des choix pédagogiques qui impliquent l'utilisation (ou pas) de l'analyse fonctionnelle.
- Les arguments liés à l'expertise sont les arguments fondés sur la référence à un expert (architecte, autre professionnel...).
- Les arguments pragmatiques proviennent de bases utilitaristes qui justifient l'utilisation (ou pas) de l'analyse fonctionnelle (par nécessité ou l'absence de nécessité).
- Les arguments subjectifs reflètent un ressentiment personnel par rapport à l'analyse fonctionnelle.

Le tableau ci-dessous renseigne sur la fréquence des différents types d'arguments avancés par les enseignants pour justifier leur avis sur la nécessité ou pas de l'usage de l'analyse fonctionnelle dans l'enseignement de l'ET au collège.

Avis des enseignants Catégories d'arguments	AF utile	AF pas utile	Nuancé
Pédagogique	13 %	6 %	12 %
Pragmatique	20 %	5 %	16 %
Expert	0 %	2 %	0 %
Subjectif	2 %	3 %	5 %
Sans arguments	11 %	2 %	1 %
Total	48 %	18 %	34 %

Tableau 12 : pourcentage d'enseignant par types d'arguments et utilisation de l'analyse fonctionnelle

Parmi les enseignants qui considèrent que l'analyse fonctionnelle est indispensable, 13 % avancent des arguments d'ordre pédagogiques liés très souvent à l'idée de motivation (cela permet d'éviter les contre sens, de voir toutes les solutions techniques) ou à la complexité de la tâche (rencontrer l'aspect théorique de l'analyse fonctionnelle, comprendre la totalité du système). 20 % des enseignants qui adhèrent à la nécessité de l'analyse fonctionnelle se basent sur des arguments pragmatiques par exemple : permet de faire émerger les fonctions d'usage, éclaire le processus de réalisation d'un objet technique. Seulement 2 % d'entre eux tiennent à la nécessité de l'analyse fonctionnelle pour des raisons personnelles purement subjectives.

Parmi les enseignants qui considèrent que l'analyse fonctionnelle n'est pas indispensable, 6 % des enseignants avancent des arguments d'ordre pédagogiques. Ces derniers cette fois-ci sont liés très souvent à l'idée de complexité et d'abstraction de l'outil (totalement inadapté aux élèves). 5% des enseignants qui considèrent que l'analyse fonctionnelle n'est pas indispensable se basent sur des arguments pragmatiques liés à l'utilité de cette démarche (peu accrocheur, existence d'autres outils). Seulement 3 % d'entre eux tiennent à la nécessité de l'analyse fonctionnelle pour des raisons personnelles purement subjectives (je n'aime pas cet outil, abstrait). Cette fois-ci, 2 % d'entre eux font référence à des arguments liés aux experts et aux professionnels.

Il reste que 34 % des enseignants ont émis un avis nuancé sur la nécessité de l'analyse fonctionnelle. 12 % de cette catégorie d'enseignants avancent des arguments plutôt pédagogiques (méthode donnée par l'enseignant). 16 % évoquent des arguments pragmatiques (permet d'avoir une vision complète et d'éviter des oublis, apporte un cadre structurant pour l'analyse de système), seulement 5 % d'entre eux se basent sur des arguments purement subjectifs (atout pour la construction d'un projet). Aucun argument lié à l'expert n'est évoqué et 1 % de donne aucune justification. On remarque que les arguments pragmatiques et pédagogiques sont liés et se complètent. Ceci explique que les choix pédagogiques des enseignants sont étroitement liés aux besoins de relier la connaissance du monde industriel à l'enseignement de l'éducation technologique.

4.1.2. Pratique de l'analyse fonctionnelle par les enseignants

Cet état des lieux de la place de l'analyse fonctionnelle dans l'enseignement technologique dans les collèges en France nous aide à définir les expérimentations à mettre en place dans les classes. Nous pourrions alors analyser à la fois de quelles

manières les enseignants utilisent ces langages symboliques et leurs influences sur les élèves dans notre société où l'objet technique, comme l'a montré Simondon (2012) est omniprésent et fait partie intégrante de notre quotidien. Savoir que certains professeurs déclarent utiliser ces techniques est important. Cependant, pour être efficace, cet apprentissage doit être effectué dans un cadre adéquat et en lien avec les autres connaissances comme cela est présenté par Bruner qui est cité par Fournier (Fournier, 2011). En effet pour Bruner les processus mentaux ne peuvent pas être dissociés de la culture propre à un individu et l'existence d'un système symbolique partagé par une communauté influe sur la signification que l'on a du monde (Bruner, 2008). Dans notre cas et en appliquant cette remarque à notre système éducatif cela devrait entre autres nous permettre de connaître la place de ces méthodes et langages symboliques dans l'enseignement technologique.

Pour compléter l'analyse statistique et tenter de cerner certains de ces processus mentaux, nous abordons les résultats des entretiens effectués avec les enseignants.

4.2. Analyse des entretiens

Nous présentons ici deux entretiens avec deux enseignants différents. Ces entretiens s'intègrent dans notre étude comme une recherche-action clinique. L'analyse des entretiens avec les enseignants concerne deux objectifs.

Le premier est d'obtenir des orientations au niveau du comportement des enseignants. Sur ce point particulier, le traitement des résultats est problématique dans la mesure où il semble difficile de pouvoir généraliser des comportements à partir de cas spécifiques. D'où notre choix préliminaire d'un questionnaire avec les résultats traités de manière statistique.

Le second est de confirmer les résultats obtenus par le procédé statistique. Sur la base d'une grille d'analyse comparative, il est intéressant de noter si les résultats convergent. Nous avons ainsi la possibilité de nous appuyer sur deux méthodes pour valider nos résultats.

Les deux entretiens réalisés suivent la méthodologie décrite au paragraphe 3.1.3. Ils complètent et affinent les analyses du questionnaire.

4.2.1. Les objectifs visés et la pratique effective

L'enseignant E1 veut que les élèves acquièrent une méthodologie. Les outils présentés doivent leur permettre d'analyser des systèmes. Il insiste plusieurs fois sur ce fait : « les élèves doivent comprendre le système ». Pour lui l'objectif final n'est ni la conception ni la fabrication. Il donne l'exemple de l'avion « c'est comme d'acheter un avion pour montrer comment ça vole. À moins qu'on trouve une utilité à fabriquer des choses, pour l'instant je ne vois pas l'utilité ». Ce qui nous permet d'enchaîner avec les pratiques de cet enseignant.

Dans la pratique ce premier enseignant, E1, utilise l'analyse fonctionnelle en classe de 4^e et 3^e. Il présente un cahier des charges finalisé et veut que les élèves remontent aux besoins et aux fonctions d'un système. C'est une démarche inverse de celle de l'analyse fonctionnelle. Il pense qu'il est important de respecter une norme et qu'il peut pour cela s'appuyer sur l'analyse fonctionnelle. Il garde quand même du recul vis-à-vis de certains outils si les élèves « n'accrochent pas ». C'est le cas avec le diagramme FAST qu'il trouve trop complexe, il préfère s'appuyer sur le graphe des inter-acteurs et pense que cela est suffisant pour présenter les différentes fonctions.

Un des objectifs déclarés de l'enseignant E2 est plus centré sur la compréhension des outils de l'analyse fonctionnelle que sur son utilisation. Mais cela ne constitue pas son objectif principal. Il veut montrer aux élèves que le système, ici l'imprimante 3D est un « outil fantastique ». Il discours sur la finalité de la fabrication, c'est ce vers quoi il oriente les élèves. Il tient aussi à ce que les élèves soient motivés, il veut « susciter de l'envie, de l'intérêt ». Il est satisfait si les élèves trouvent du sens à ce qu'ils apprennent. D'un autre côté quand il se détache des documents présentés, il déclare qu'« au final c'est qu'à la fin l'enfant ait appris telle ou telle notion, dans les règles de l'art ». Il aborde également ce que l'enseignant doit mettre en œuvre pour atteindre ces objectifs, pour lui « l'enseignant est un ingénieur qui doit inventer des moyens ».

Sa pratique est en accord avec ses objectifs de compréhension des outils de l'analyse fonctionnelle, il les reproduirait au tableau, les argumenterait. Mais il passe assez peu de temps sur cet aspect de l'enseignement. Il axe plus sa pratique sur la création et la fabrication. Il tient compte de l'hétérogénéité des élèves, et dans ce cas il peut réinvestir certains outils de l'analyse fonctionnelle, mais il trouve cependant ces outils complexes et pense qu'il doit les expliquer sur des exemples simples.

Ces deux enseignants ont des objectifs différents : comprendre le système ou l'utiliser. De ces deux aspects émergent deux pratiques différentes. L'une qui peut s'appuyer sur les outils de l'analyse fonctionnelle et qui, pour comprendre un système, paraît adaptée à cette situation. L'usage des outils permettrait d'aller vers une généralisation de la compréhension des systèmes. L'autre pratique ne s'appuierait sur ces outils que pour s'adapter à certains élèves, mais cela nuirait à l'autonomie et

rajouterait de la complexité à la compréhension en vue de l'utilisation du système. Ces deux approches sont donc très différentes et semblent être dans la continuité des résultats statistiques du questionnaire qui montraient la disparité des arguments chez les enseignants.

Lorsqu'on présente le document E, le cahier des charges de la 2CV, aux enseignants on note cette même disparité. L'enseignant E1 reste assez perplexe et hésite à se prononcer sur la véracité et pense que cela était peut-être applicable à l'époque, mais que ce n'est plus le cas aujourd'hui. Le second enseignant E2 est plus enthousiaste et déclare « ah ça c'est un cahier des charges ».

Nous pouvons maintenant tenter de voir si les réponses données par ces deux enseignants sur le questionnaire et pendant l'entretien sont homogènes ou si une possible évolution du profil a eu lieu lorsque les différents documents ont été présentés.

4.2.2. Comparatif questionnaire – entretien

Si un des deux enseignants a modifié sa vision de l'utilité de l'enseignement de l'analyse fonctionnelle, cela signifierait que certaines modifications sont somme toute possibles. Le cas inverse ne permettra pas dans cet aspect clinique de conclure.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

	E1		E2	
	Profil en fin de questionnaire	Profil en fin d'entretien	Profil en fin de questionnaire	Profil en fin d'entretien
Usage déclaré	Oui (fort)	Idem	Oui (faible)	Idem
Niveau de maîtrise déclaré	3/5	Correct	3/5	Correct
Utilité	Analyse de système	Comprendre et utiliser les outils	Fonctionnement d'un système	« Plus riche pour le bon élève »
Inconvénient	Élèves ne voient pas toujours l'intérêt	Outils parfois complexes	Restreint la créativité	Idem + Complexe
Alternative	Aucune	Idem	Représentation fonctionnelle	Cartes heuristiques

Tableau 13 : comparaison de l'évolution des profils de deux enseignants

Assez peu de changements apparaissent dans le profil des enseignants entre ce qu'ils ont déclaré dans le questionnaire et lors de l'entretien avec les documents en mains. L'enseignant E1 reste sur les mêmes déclarations. Il précise que pour analyser un système il faut, d'après lui, comprendre et utiliser les outils de l'analyse fonctionnelle et que si les élèves ne voient pas toujours l'intérêt c'est certainement dû à la complexité de certains outils. L'enseignant E2 admet suite à l'entretien que les outils de l'analyse peuvent être profitables aux élèves qui ont un bon niveau scolaire. Il justifie cette position en expliquant que ces élèves pourront extrapoler et comprendre les représentations graphiques, ce qui serait beaucoup plus difficile pour les autres élèves. En citant les cartes heuristiques, il trouve aussi une alternative nettement plus distante des outils de l'analyse fonctionnelle du point de vue normatif. Il s'éloignerait un peu plus de l'usage de l'analyse fonctionnelle. On note aussi qu'il rejoint son collègue sur l'idée de complexité de certains outils. La maîtrise autodéclarée de l'analyse fonctionnelle dans le questionnaire correspond à ce qui transparaît des entretiens, cette maîtrise ne semble pas totale, c'est peut-être là ce qui fait apparaître cette idée d'outils complexe chez ces enseignants.

De manière générale ces deux enseignants ne changent pas de profil, la réflexion qu'ils ont pendant l'entretien semble plus les conforter dans leurs positions. Ils agissent en expert en technologie et se sont certainement adaptés à une situation d'où il serait inconfortable de sortir. Le changement demanderait certainement beaucoup d'efforts. Il n'est pas rare de voir ce genre de comportement parmi les enseignants. Cela n'est pas très étonnant dans ce contexte scolaire où l'hétérogénéité des collèges, des élèves jouent un rôle non négligeable. Les enseignants doivent s'adapter à cette situation. Il faut cependant prendre en compte que pour une certaine vision de l'enseignement la notion d'expertise prime sur la pédagogie (Dumontet, 2012 ; Kambouchner, Meirieu, Stiegler, Gautier, & Vergne, 2012). On a donc bien ici une des spécificités de l'enseignement technologique.

Les entretiens avec les enseignants ont permis de confirmer les différentes intentions en ce qui concerne les outils de l'analyse fonctionnelle. Si la plupart se réfèrent à ces outils, c'est essentiellement dans le but de présenter un objet technique qui reste au centre des apprentissages.

4.3. Liens avec le cadre théorique - conclusion sur l'analyse fonctionnelle et les enseignants

Notre cadre théorique implique une instrumentation et une instrumentalisation de l'artefact par l'enseignant. Pour instrumenter l'analyse fonctionnelle, il est nécessaire que l'enseignant maîtrise cet outil et, nous avons vu que ce n'est pas toujours le cas. Malgré cela certains enseignants s'accommodent de cette situation et instrumentalisent quand même certains outils de l'analyse fonctionnelle. Ils privilégient certaines fonctions qu'ils utilisent face aux élèves. C'est là un des premiers obstacles qui apparaît dans un enseignement de la technologie qui s'orienterait vers une étude systémique. Nous avons tenté de comprendre ce mécanisme à travers cette étude. Nous avons interrogé l'usage de l'outil de l'analyse fonctionnelle par les enseignants français au collège, auprès d'élèves de 11-14 ans, en essayant de comprendre comment et dans quel but ils peuvent avoir recours à cet outil. Les résultats indiquent que le recours à l'analyse fonctionnelle est lié à leur niveau d'études universitaires.

Les résultats indiquent également que contrairement à l'industrie, où le recours à l'analyse fonctionnelle est exclusif à la conception de systèmes techniques, la plupart des enseignants utilisent l'analyse fonctionnelle aussi bien pour étudier des systèmes existants que pour les concevoir. Les enseignants qui recourent à l'analyse fonctionnelle défendent leurs pratiques en avançant des arguments plutôt pragmatiques puis pédagogiques : besoin d'atteindre l'objectif de relier la référence industrielle à l'enseignement, besoin de rendre attractif et plus compréhensible le système par les élèves.

Les enseignants qui ne recourent pas à l'analyse fonctionnelle ne voient pas l'utilité ni le besoin d'un tel outil qui leur semble complexe et peu attractif et qui peut être remplacé par d'autres méthodes pédagogiques. Ces enseignants avancent une posture épistémologique qui sépare la référence industrielle du domaine d'enseignement de l'éducation technologique. Une dernière catégorie d'enseignants a recours à l'analyse fonctionnelle dans certaines circonstances en fonction des besoins et des finalités.

Il s'agit également de comprendre les mécanismes de l'apprentissage de ces techniques et d'approcher ce que l'élève peut en faire après la première phase d'instrumentation où l'analyse fonctionnelle, devenue artefact, a été introduite dans la classe par l'enseignant. La combinaison et la corrélation entre les différentes variables font partie du processus d'enseignement apprentissage dans le but de préciser comment les artefacts sont instrumentés par les enseignants et utilisés par les élèves. Nous avons traité certaines variables propres aux enseignants, nous abordons maintenant celles relatives aux élèves.

5. L'analyse fonctionnelle et les élèves : assimilation et pratiques (résultats)

Les résultats présentés dans ce chapitre font suite à la méthodologie décrite au paragraphe 3.2. Si comme nous l'avons vu chaque acteur du processus d'enseignement - apprentissage a un rôle qui produit des interactions sur l'ensemble, celui des élèves est éminemment spécifique, c'est la justification même du besoin qui trouve ici sa place. Des tests d'entrés jusqu'aux exercices finaux, c'est à travers ces résultats obtenus que l'on pourra analyser l'efficacité de représentations issues de l'analyse fonctionnelle ou tout au moins vérifier si une approche de ces méthodes est mise en place.

5.1. Analyse quantitative

Le nombre total d'élèves concernés par cette étude est de 177. Ils sont répartis en deux groupes, ceux ayant suivi une initiation à l'outil FAST de l'analyse fonctionnelle, le groupe AF et ceux qui n'ont pas suivi cet enseignement, le groupe NAF.

Le tableau suivant présente le nombre d'élèves ayant réutilisé l'outil FAST pour décrire le système imprimante 3D. Cet exercice s'effectuait en toute fin de manipulation.

	Groupe AF	Groupe NAF
Élèves qui utilisent FAST pour décrire imprimante 3D	53 %	5 %

Tableau 14 : utilisation d'un outil de l'analyse fonctionnelle pour décrire un système

Dans un premier temps, nous pouvons trouver surprenant qu'il n'y ait pas plus d'utilisateurs de l'analyse fonctionnelle après un cours sur l'analyse fonctionnelle. Environ la moitié des élèves, 53 % réutilisent l'outil enseigné. Soit ils ont trouvé cet outil inadéquat, trop compliqué, soit ils n'ont pas réussi ou pensé à l'utiliser. Nous remarquons cependant qu'un faible nombre d'élèves, 5 %, non-initié à l'outil FAST au cours de notre étude, utilise ce mode de représentation. Cela signifie qu'ils connaissent

l'outil, ils peuvent l'avoir déjà étudié ou rencontré et le trouvent suffisamment performant pour l'utiliser. Cette première constatation nous permet de percevoir que si la portée de l'analyse systémique au collège n'est ni généralisée ni évidente à mettre en place, elle peut quand même être transmise à des élèves. Nous allons maintenant détailler et analyser les différents résultats obtenus lors de cette méthodologie.

5.1.1. Test d'entrée

Nous rappelons que cet exercice correspond à la fiche n°1 figure 7, la description d'un vélo, et doit permettre de connaître l'état initial des pratiques des élèves. Des exemples de productions d'élèves sont fournis dans l'annexe 8 (test d'entrée).

5.1.1.1. Catégorisation des descriptions

La première analyse consiste à classer les productions élèves en fonction de mode d'expression utilisé pour décrire le système.

Les différentes catégories répertoriées dans les travaux des élèves sont les suivantes :

- uniquement du texte, la description est une succession de phrases ou de mots : dénommée « texte seul »,
- un dessin qui se veut être une représentation proche de la réalité : dénommée « dessin »,
- un schéma qui est une figure simplifiée, nous avons regroupé dans cette catégorie les différents schémas existants ; schéma de principe, schéma fonctionnel : dénommée « schéma »,
- les combinaisons des dessins et schémas avec du texte qui sont utilisées de façon coutumière en science pour expliquer un système : dénommée « Texte + Dessin » et « Texte + Schéma »,
- la catégorie « blocs fonctionnels » a été ajoutée, elle représente une description associée à l'analyse fonctionnelle, ce qui justifie sa place dans nos travaux.

Sur notre échantillon et pour cet exercice, nous obtenons les résultats du tableau 15.

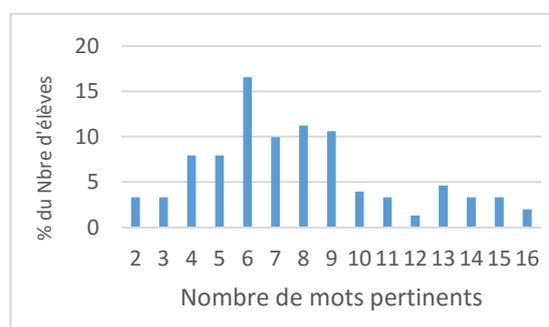
Type de représentation	Nombre d'élèves	%
Texte seul	80	53
Dessin	1	1
Schéma	14	9
Texte + Dessin	6	4
Texte + Schéma	50	33
Blocs Fonctionnels	0	0

Tableau 15 : modes de représentation utilisés – test d'entrée

Ce tableau répertorie les types de représentations utilisées par les élèves et le nombre d'élèves qui ont choisi un type donné, ce nombre est traduit en pourcentage dans la dernière colonne. On y discerne que plus de la moitié (53 %) des élèves utilisent le texte seul pour décrire un système. Ils sont habitués et conditionnés pour ce genre d'exercice à procéder de cette façon. En effet, au collège et dans la continuité de l'école primaire, les élèves sont incités à produire des traces écrites sous forme de textes (copies de leçons, devoirs, résumés, synthèses...). Le contexte peut légèrement influencer, nous sommes ici en cours de technologie avec une connotation discipline scientifique, et donc un certain nombre s'essaye à ajouter un schéma (33 %) voire à utiliser un schéma seul (9 %). Ces résultats sont peu surprenants et peuvent s'appuyer sur des études passées qui montrent la présence très prégnante de l'écrit par le texte dans le but d'aider la mise en place de ce que l'élève a pensé (Astolfi, Peterfalvi, & Vérin, 2006 ; Bertin, 1999 ; Vérin, 1988). Cette analyse montre cependant que, de la part des élèves, la situation n'a pas évolué depuis ces études. Étrangement, la description par schéma est peu présente alors que le vélo fait très souvent partie des supports utilisés par les enseignants pendant les cours de technologie de 6^e où le thème est le transport. Le fait qu'à ce niveau d'éducation, en fin de collège, aucun élève ne s'appuie sur une représentation à base de blocs fonctionnels est aussi significatif du peu d'utilisation de ce système de représentation.

5.1.1.2. Comptage des mots pertinents

Pour avoir une vision des productions des élèves, une seconde analyse globale concerne le comptage du nombre de mots pertinents présents dans ces productions. Les « mots pertinents » comptabilisés sont les substantifs ayant un rapport direct avec le système proposé en étude. Le graphique suivant fournit ce nombre de mots en fonction du pourcentage du nombre d'élèves.



Graphique 3 : nombre de mots pertinents utilisé par les élèves – test d'entrée

L'on note ici que si un plus grand nombre d'élèves (environ 50 %) utilisent, dans leur description, entre 5 et 9 mots pertinents, il existe un petit groupe (un peu plus de 10 %) qui utilise plus de 13 mots pertinents.

Le fait que presque la moitié des élèves utilise entre 4 et 9 mots pertinents nous permet de dire que les productions des élèves semblent bien correspondre au but recherché : décrire un objet technique dans un temps limité en ciblant les termes à utiliser.

5.1.1.3. Fonctions et éléments cités

Objectif : Les deux analyses précédentes tenaient compte de la description faite par les élèves dans son ensemble. Nous voulons maintenant détailler ces descriptions. C'est à ce niveau que nous pouvons comparer les résultats obtenus avec le modèle proposé dans notre cadre théorique et juger de l'apport de l'enseignement de l'analyse fonctionnelle.

Méthode : pour cela nous avons comptabilisé dans chaque production d'élèves, d'une part les termes associés à des fonctions liées au système et, d'autre part, les termes associés à des éléments de l'observation du système.

Fonction citée	Nb. d'élèves	%
Transporter une personne (fonction principale)	39	26
Diriger	46	31
Propulser	117	78
Freiner	26	17
Porter des bagages	2	1
Assurer un confort	33	22
Maintenir l'équilibre	3	2
Voir la nuit	1	1
Assembler et maintenir les éléments	1	1

Tableau 16 : fonctions citées par les élèves – test d'entrée

Dans ce tableau sont listées les fonctions qui apparaissent dans les productions écrites des élèves. La deuxième colonne fournit le nombre d'élèves ayant cité cette fonction, nombre converti en pourcentage dans la dernière colonne.

Lors du traitement, différents termes ont été regroupés dans la mesure où ces termes s'apparentaient à une fonction commune. C'est ainsi que sur les copies des élèves on pouvait lire « appuyer sur les pédales » ou « pédaler pour faire avancer le vélo » ou encore « forcer sur la pédale pour avancer », expressions qui ont été regroupées sous la fonction « propulser ».

Les résultats des paragraphes précédents indiquent une description majoritairement textuelle avec quelques mots pertinents. Nous pouvons nous appuyer sur le tableau 16 pour comprendre ces résultats. Le système présenté est décrit dans une approche anthropocentrée, c'est ce qui apparaît au vu des fonctions répertoriées. Ce type d'approche associée à l'humain plus qu'à la machine peut paraître délicate à décrire rapidement d'une autre manière qu'en utilisant du texte. Les représentations par dessins, schémas semblent plus adaptées à ce qui correspond à la machine plutôt qu'à l'humain. Il est surprenant que la fonction principale pour laquelle l'objet a été conçu ne soit citée que par 26 % des élèves. On s'aperçoit que le concept de satisfaire un besoin auquel répond un objet technique n'est pas encore totalement acquis, dans les classes inférieures (élèves de 10 ou 11 ans) il n'est d'ailleurs pas rare d'entendre que le vélo « sert à rouler ». Dans notre étude cela se traduit avec la prédominance de la fonction « propulser », elle est citée par 78 % des élèves. On note également que les notions scientifiques telles que la force ou la vitesse ne sont pas directement citées par les élèves. Tout d'abord il n'est pas certain que ces notions soient bien maîtrisées par les élèves à cet âge (14 ± 1 ans), ils n'ont étudié les sciences physiques que depuis 2 ou 3 ans. La formulation de l'exercice et le contexte du cours de technologie permettent de restreindre la description et d'éviter d'aborder des concepts physiques : l'exercice demandé consiste à expliquer à un pair comment marche le système. Le phénomène physique qui correspond à maintenir l'équilibre est lui cité par un petit nombre d'élèves,

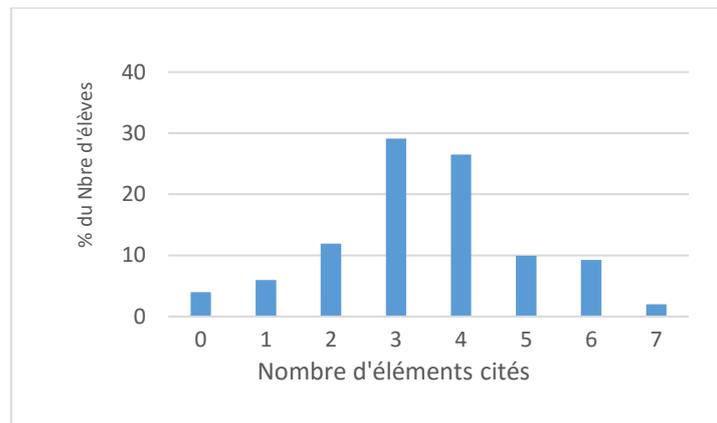
2 %, on peut penser que ces élèves se sont vraiment mis à la place de l'utilisateur et ont voulu pointer la principale difficulté pour utiliser un vélo, cela correspondrait à une approche plutôt utilitaire. Pour les autres fonctions, les élèves se sont arrêtés à une dénomination qui correspond à l'usage attendu par exemple « tourner le guidon » pour « diriger » ou « serrer la poignée du frein » pour « freiner », c'est ce qui est attendu de la part de l'enseignant en technologie. Si la question avait été « comment le vélo freine ? », nous aurions alors certainement eu des élèves essayant d'expliquer le phénomène physique du freinage, mais ce n'était pas ici le propos que nous recherchions. À l'heure où les programmes de technologie et de sciences sont en pleine refonte, il nous paraissait important d'effectuer cette précision qui permet de recontextualiser les apports de chaque discipline.

Si nous comptabilisons les termes associés aux fonctions, on s'aperçoit qu'une certaine logique est suivie par les élèves puisque si l'on regarde le tableau suivant qui donne cette fois les éléments cités nous obtenons les résultats suivants :

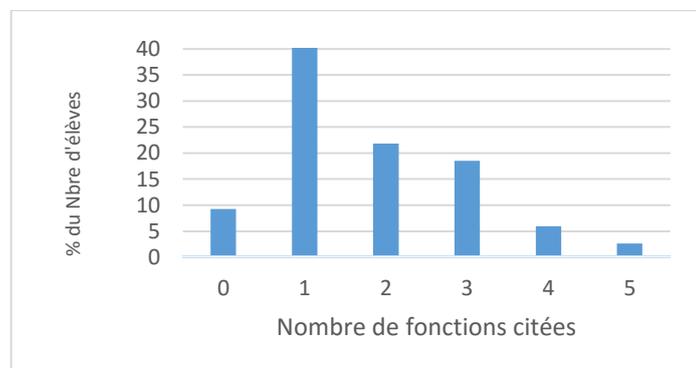
Élément cité	Nombre d'élèves	%
Roues	113	75
Guidon	72	48
Pédales	127	84
Selle	47	31
Chaine	76	50
Frein	40	26
Cadre	10	7
Vitesses	8	5
Dérailleur	7	5
Fourche	3	2
Plateau	14	9
Potence	1	1
Pédalier	1	1
Rayons	3	2
Pneus	3	2
Éclair	1	1
Garde-boue	1	1
Pignons	9	6
Matériaux en fer	2	1

Tableau 17 : éléments cités – test d'entrée

Les pédales, un des éléments qui participe nettement à la fonction propulser, sont les plus citées (par 84 % des élèves), suivies par la roue (75 %). Le frein tout comme le cadre qui assure le maintien de l'ensemble du système sont peu cités : respectivement 26 % et 7 %. On voit là que l'analyse fonctionnelle est très embryonnaire sur ce système et ceci alors même que les élèves le connaissent. Par exemple, le guidon n'est cité que par 48 % des élèves, et la fonction « diriger » par seulement 31 %. Il en est de même avec la fonction freiner qui n'apparaît que pour 17 % des élèves et 26 % seulement citent le frein. En dehors du fait que cette fonctionnalité soit parfois laissée de côté, on voit une nette prédominance des éléments sur les fonctions. Cela se retrouve sur les deux graphiques suivants (graphiques 4 et 5).



Graphique 4 : nombre d'éléments cités par les élèves – test d'entrée



Graphique 5 : nombre de fonctions cités par les élèves – test d'entrée

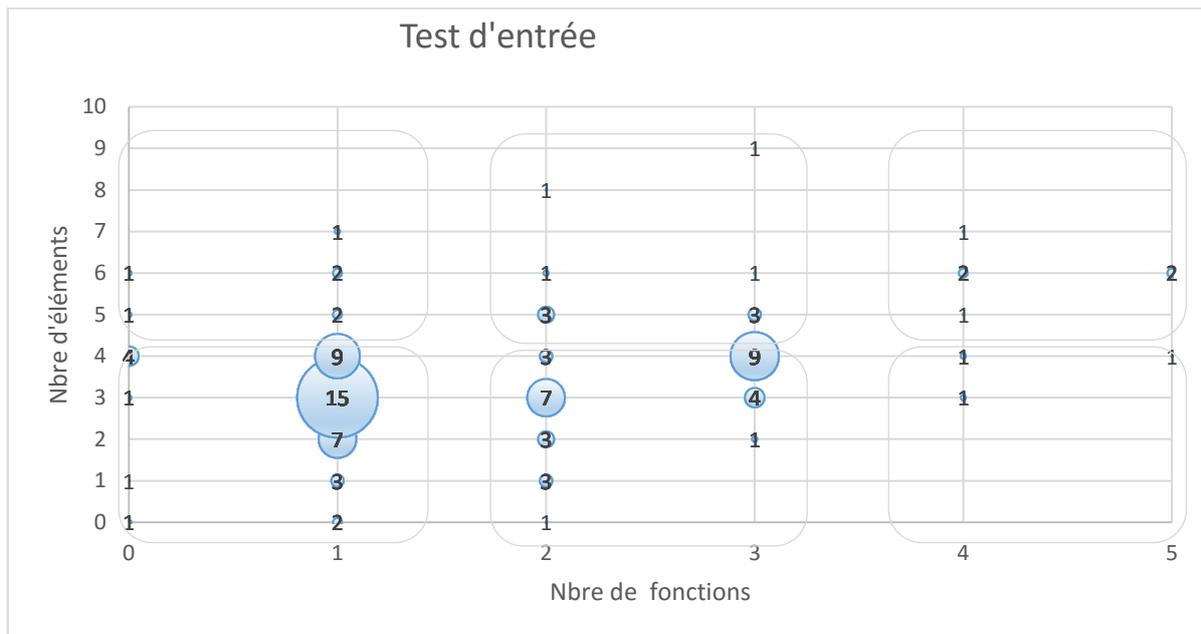
Les pourcentages du nombre total d'élèves (axe des ordonnées) qui citent un certain nombre de fonctions ou d'éléments (axes des abscisses) sont représentés sur ces graphiques sous forme d'histogramme. On observe que de nombreux élèves citent 3 ou 4 éléments (graphique 4) et qu'un grand nombre (40 %) ne citent qu'une seule fonction. En faisant une moyenne, les résultats indiquent qu'un élève cite en moyenne 3,5 éléments et 2 fonctions, soit 1,75 fois plus d'éléments que de fonctions. On confirme ainsi qu'un maximum d'élèves citent 3 ou 4 éléments, alors que ce maximum se trouve à 1 pour les fonctions. Les élèves s'attachent donc plus à une description par éléments qu'à une description fonctionnelle.

Pour la suite de notre étude conformément au modèle préétabli (paragraphe 3.2.4.5) nous combinons les fonctions et les éléments cités comme chaque axe d'un même graphique, les fonctions en abscisse et les éléments en ordonnée. Nous comptabilisons les élèves ayant donné lors du test d'entrée un même nombre de combinaison : fonctions et éléments. Par exemple le nombre d'élèves ayant cité 3 fonctions et 2 éléments. Ce nombre d'élèves est associé à un cercle positionné dans le graphique avec, pour coordonnées, le nombre de fonctions sur l'axe des abscisses et le nombre d'éléments sur l'axe des ordonnées. Le diamètre du cercle est proportionnel au pourcentage du nombre

d'élèves concernés pour chaque cercle. Ce mode de représentation qui tient compte du diamètre, plutôt que de la surface, permet de mieux distinguer les forts et les faibles effectifs. Le pourcentage du nombre d'élèves figure à l'intérieur du cercle.

Les catégories d'élèves prédéfinies précédemment apparaissent sous forme de filagramme découpant l'ensemble du graphique en six zones. Chaque zone correspond à une catégorie.

Le graphique obtenu pour l'ensemble des élèves est le suivant :



Graphique 6 : test d'entrée - répartition quantitative des élèves en %

On observe ainsi que quinze pour cent des élèves (soit 23) citent une fonction et trois éléments. On trouve également dans cette catégorie un nombre important d'élèves qui donnent deux et quatre éléments pour une fonction. En accord avec notre modèle, l'ensemble de cette catégorie contient 43 % des élèves. Neuf pour cent (quatorze élèves) citent trois fonctions et quatre éléments et dans la même catégorie sept pour cent citent deux fonctions et trois éléments. Ce secteur contient 31 % des élèves. L'ensemble des autres valeurs, qui représente au total 39 élèves, est très dispersé dans les autres catégories. De manière générale, on s'aperçoit qu'un même élève cite plus de solutions que de fonctions. Les éléments et fonctions n'ont pas pour les élèves les mêmes valeurs. Pour les élèves, les fonctions et les éléments sont deux choses différentes. À l'inverse, l'analyse fonctionnelle relie les fonctions et les éléments et les rend indissociables. Nous rappelons ici que l'un des objectifs de l'analyse fonctionnelle est de donner du sens à la conception et à la compréhension du système par la description de son usage et de sa structure.

Ces résultats indiquent que les élèves privilégient un mode descriptif par les éléments

comme cela se fait en sciences. Autrement dit, ils sont capables de décrire le système, mais sont incapables de décrire sa complexité et les liens ou les interactions entre les éléments. Comme l'a montré Akrich (1987) ils ne pensent pas les relations « homme-machine ». Ils décrivent le système de façon structurelle, mais pas sur le plan fonctionnel, comme il le ferait pour, par exemple, un arbre ou une plante où ils citeraient les éléments sur un plan physique tels que le tronc, les branches, les feuilles ...

Les résultats précédents nous conduisent à nous interroger sur les caractéristiques des élèves tels qu'ils sont répartis. La répartition quantitative peut être éclairée du point de vue du fait que les élèves sont évalués par une équipe et sont jugés en termes de résultats bons, moyens ou faibles. Nous nous proposons d'éclairer, à la vue de cette classification professionnelle comment les élèves se répartissent dans le diagramme précédent.

Différents moyens de classement existent (test d'intelligence, nombre de compétences acquises ...), pour notre part nous utilisons la moyenne générale obtenue en classe par les élèves au cours de l'année scolaire.

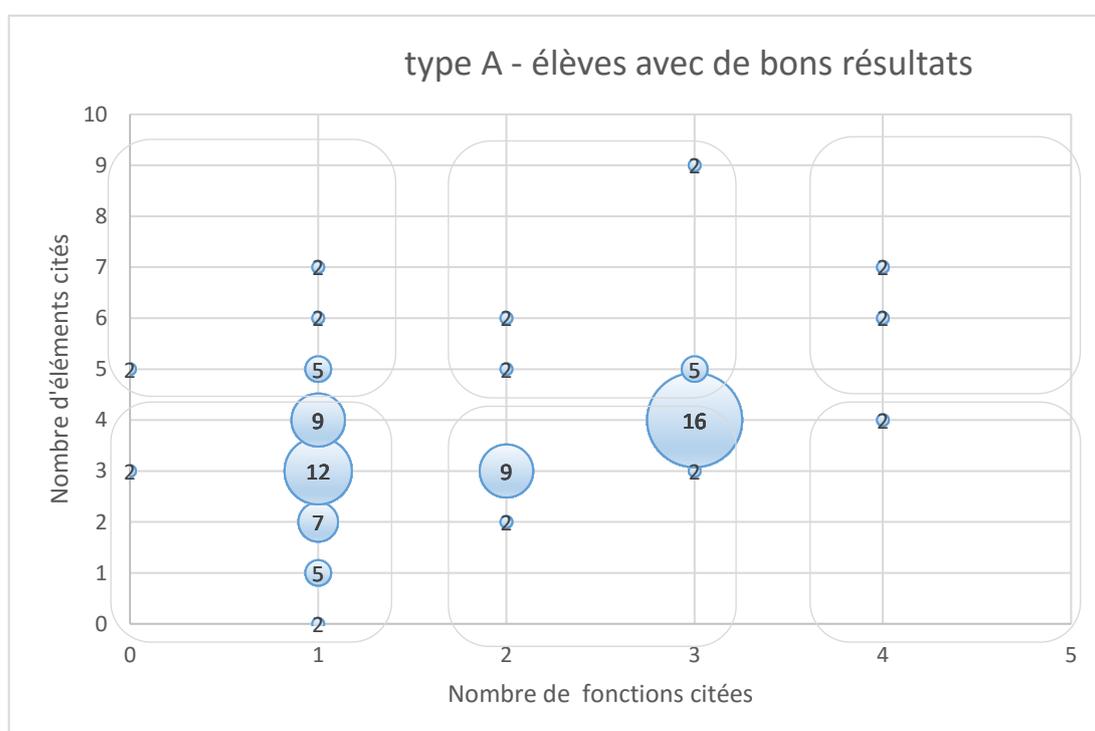
Une de nos hypothèses concerne l'efficacité de l'analyse fonctionnelle. Nous supposons que si l'analyse fonctionnelle est efficace dans le cadre scolaire c'est pour permettre à tous les élèves de décrire correctement un système. Si les élèves, qui ont un bon niveau scolaire, peuvent ne pas avoir de difficultés particulières, on suppose qu'il n'en est pas de même pour ceux qui ne maîtrisent pas les outils fournis au collège. Nous supposons que l'analyse fonctionnelle peut aider ces élèves et que c'est un outil qui peut leur permettre d'appréhender un système dans sa globalité. La variable que nous prenons ici en compte est donc le niveau scolaire des élèves. C'est une variable qui est directement liée à l'institution et fait donc partie du processus d'enseignement - apprentissage. Si d'autres variables telles que le sexe ou la catégorie sociale peuvent intervenir, il s'agit dans notre étude d'appréhender l'efficacité d'un enseignement de l'analyse fonctionnelle pour tous et de pouvoir comparer ce test d'entrée avec le test de fin d'expérimentation, nous nous arrêterons donc à cette variable. Nous adoptons les mêmes considérations que Clanet (2013) qui s'appuie sur un modèle proposé par Dunkin pour étudier les processus d'enseignement. Dans ce modèle « l'élève est présent, il est caractérisé par son âge, son sexe, ses connaissances préalables, son origine socioculturelle... L'arrière-plan culturel et celui personnel de l'élève déterminent des caractéristiques qui sont à l'origine des comportements en classe. Notons toutefois qu'il fait partie des variables contextuelles au même titre que les caractéristiques des écoles et de la classe ». Dans la conclusion de son étude sur la lecture à l'école primaire Clanet classe les élèves en deux groupes, tout comme Talbot (Talbot, 2013) : les bons et les faibles, pour lui les élèves moyens, après apprentissage rejoignent un de ces groupes. Pour notre part et afin d'avoir des groupes homogènes et des populations exploitables dans chaque groupe nous conserverons ces trois catégories, élèves avec de bons résultats, des résultats corrects et des résultats faibles. Nous regardons donc la répartition des élèves en fonction de leur niveau scolaire (moyenne générale des trois trimestres de l'année en cours). Nous avons pour le test d'entrée effectué une répartition

des élèves. Les moyennes des élèves s'échelonnaient entre 5 et 19 sur 20. Les trois types de profils d'élèves, établis en fonction d'une répartition homogène sur cette étendue, sont donc les suivants :

- plus de 14 de moyenne générale qui comprend pour le test d'entrée 43 élèves soit 28 % du total. Dénommé type A ou « Élèves avec de bons résultats »,
- entre 14 et 10 (ces valeurs comprises) avec 73 élèves soit 48 % de l'ensemble. Dénommé type B ou « Élèves avec des résultats moyens »,
- moins de 10 de moyenne avec 35 élèves soit 24 %. Dénommé type C ou « Élèves avec des résultats faibles ».

Notre étude a été effectuée dans le cadre des cours de technologie. Cette discipline s'inscrit dans un cadre scientifique, les programmes du collège font d'ailleurs une introduction commune aux disciplines scientifiques et technologique (MEN, 2008a). On peut se poser la question de savoir si une différence existe dans les descriptions, entre les élèves qui ont de meilleurs résultats dans les disciplines scientifiques (mathématiques, physique, sciences de la vie et de la terre) et ceux qui ont des difficultés dans ces matières. Les analyses complémentaires que nous ne présentons pas ici montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les résultats lorsque nous prenons en compte le niveau scolaire général des élèves ou uniquement le niveau scolaire dans les disciplines scientifiques.

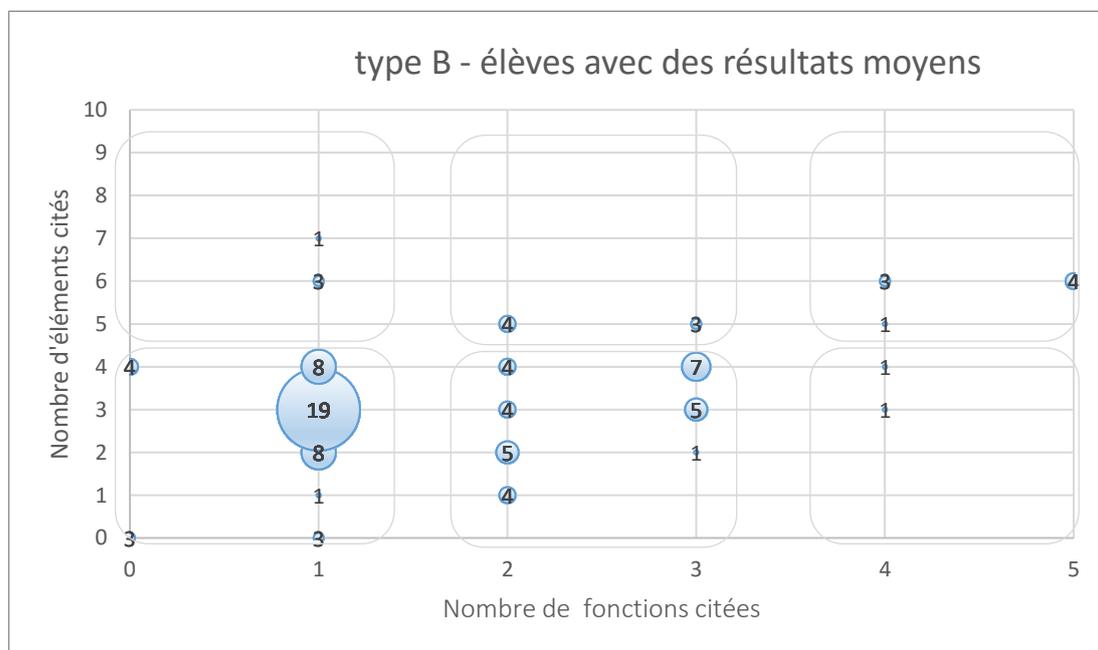
En reproduisant un diagramme identique au graphique 6, nous obtenons pour chaque catégorie les représentations suivantes :



Graphique 7 : test d'entrée - répartition en % des élèves ayant de bons résultats

On voit ici que pour ces élèves, ces résultats ne sont pas aussi performants que ce à quoi l'on pourrait s'attendre. La plupart des élèves sont dans les catégories 1 et 3 (respectivement 37 % et 29 % dans chaque catégorie). Ils sont très peu nombreux dans les autres catégories (de 2 à 11 %). On note une répartition pratiquement similaire à celle de l'ensemble de l'échantillon. Il y a une exception pour les élèves qui citent 3 fonctions et 4 éléments, qui sont proportionnellement plus nombreux dans cette catégorie que pour l'ensemble de l'échantillon. Pour l'ensemble de notre échantillon, nous avons 9 % des élèves qui citaient 3 fonctions et 4 éléments, parmi les bons élèves ils sont 16 %. On aurait ici une confirmation qu'une partie des bons élèves ont une meilleure compétence à décrire un système que les autres. Ceci peut paraître logique dans la mesure où ces élèves ont plus de facilités scolaires. Il n'en reste pas moins vrai qu'un nombre assez important, 44 %, se comporte comme l'ensemble des élèves et ne cite qu'une fonction. Au final cette catégorie apparaît donc comme relativement hétérogène avec deux groupes distincts en ce qui concerne une analyse fonctionnelle d'un système, ceux qui ne se distinguent pas du reste des élèves et ne décrivent pas très bien le système et ceux qui ont un peu plus de facilité, mais restent quand même sur une description assez peu performante.

Pour le type B, nous obtenons le diagramme suivant :

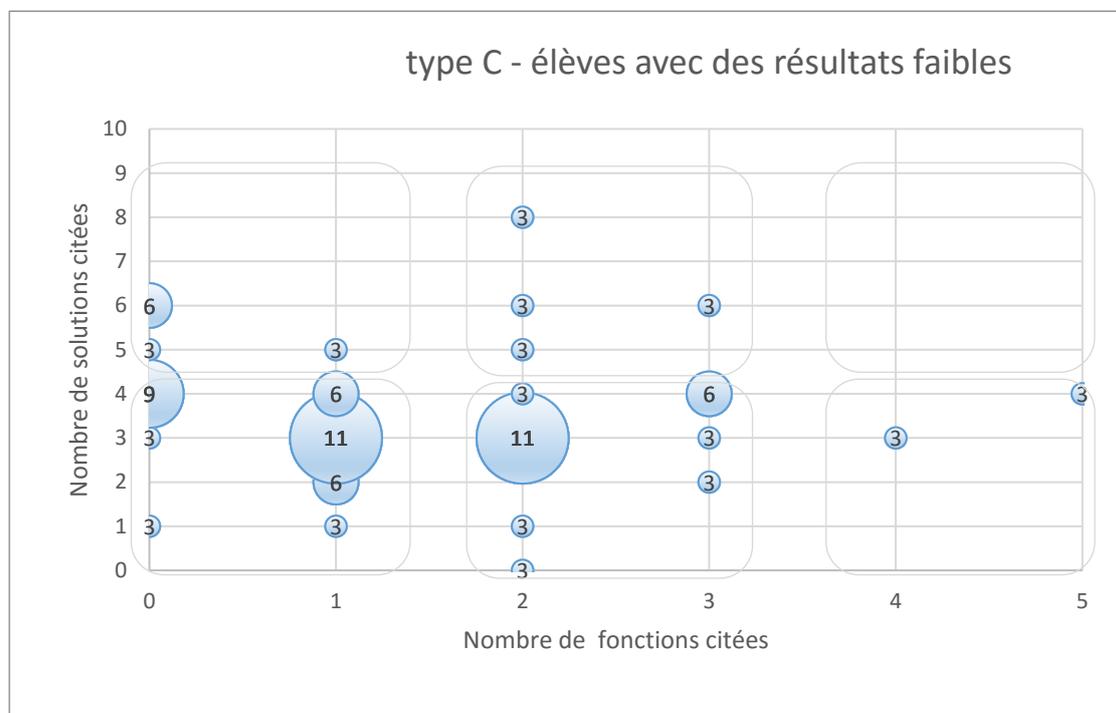


Graphique 8 : test d'entrée - répartition en % des élèves ayant des résultats moyens

Là encore, la plupart des élèves se situent dans les catégories 1 et 3 (respectivement 46 et 29 %), la répartition est assez proche de celle de la catégorie A. Pour ces élèves qui

représentent la moitié de notre échantillon, la principale différence avec l'échantillon global concerne les élèves qui citent 2 fonctions et 3 éléments, pour ce type d'élèves ils ne sont que 4 %, si l'on considère l'ensemble des élèves ils sont 7 %. Il est intéressant de noter que c'est la seule légère différence, autrement dit les élèves moyens représentent une catégorisation très proche de l'ensemble de notre échantillon avec beaucoup d'élèves qui donnent une description pauvre du système dans la catégorie 1. Nous aurions pu nous attendre à avoir un peu plus d'élèves de ce type dans les catégories 2 ou 3. L'image de notre ensemble serait le type A, les bons élèves, dans la catégorie 5 ou 6, le type B, les élèves moyens, dans les catégories 3 ou 4 et le type C, les élèves plus faibles dans les catégories 1 et 2. Nous venons de voir que ce n'est pas le cas pour les types A et B.

Pour le type C, nous obtenons les résultats suivants :



Graphique 9 : test d'entrée - répartition en % des élèves ayant des résultats faibles

Si l'on regarde l'ensemble du graphique, il n'y a toujours pas beaucoup de changement par rapport aux graphiques des types A et B : la majorité des élèves se retrouvent dans les catégories 1 et 3 (respectivement 41 et 32 % des 35 élèves de cette catégorie). On voit ici que 24 % ne citent aucune fonction et décrivent le système uniquement avec quatre à six éléments. S'ils appartiennent bien à la catégorie 1, ils sont cependant dans une sous-catégorie où la description fonctionnelle est nulle, cela correspond bien à des élèves faibles sur le plan des résultats scolaires. Si ces élèves n'abordent pas du tout l'aspect fonctionnel, les autres, un peu plus d'une vingtaine, sont

dans le même ordre de grandeur que le reste de notre échantillon. On note aussi qu'aucun n'élève n'est dans la catégorie 6 d'une description complète du système.

Le tableau suivant récapitule la répartition pour chaque catégorie de notre modèle et chaque type d'élèves en pourcentage.

	Ensemble des élèves	Type A élèves bons résultats	Type B élèves résultats moyens	Type C élèves résultats faibles
Catégorie 1	43	38	46	40
Catégorie 2	7	12	5	11
Catégorie 3	31	30	31	31
Catégorie 4	10	12	7	12
Catégorie 5	3	3	3	6
Catégorie 6	6	5	8	0

Tableau 18 : test d'entrée - répartition des élèves par catégories en fonction du modèle (en %)

Ce tableau nous permet de confirmer ce que nous avons abordé avec les graphiques, avec cette fois une vision plus globale des résultats des élèves : il y a assez peu de différences de répartition entre les différentes catégories. Les deux catégories les plus peuplées sont la une et la trois, définies comme des descriptions pauvres et limitées. Elles contiennent pour chaque catégorie environ 70 % des élèves. Ce qui est assez important pour des catégories qui correspondent à des descriptions partielles. Quel que soit le niveau scolaire des élèves, la description d'un système ne semble pas très performante.

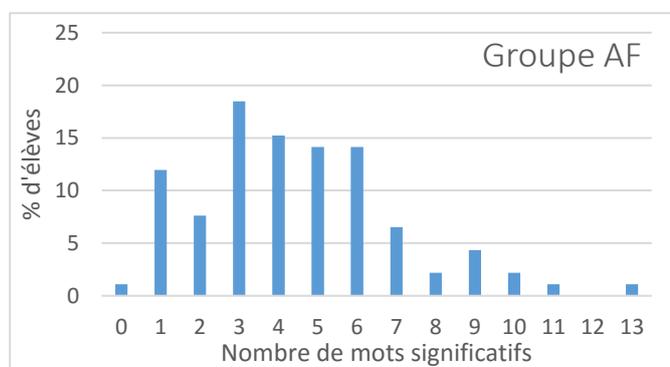
Pour conclure sur l'analyse du test d'entrée, on remarque que la plupart des élèves décrivent ce système avec une ou deux fonctions et trois ou quatre éléments. Les élèves ayant plus de difficultés au niveau scolaire ont tendance à ne pas privilégier cette manière de faire. Ils utilisent de zéro à trois fonctions et de zéro à cinq ou six éléments. Une explication pourrait être des manques ou lacunes au niveau scolaire. Ces élèves n'ont pas d'outils pour effectuer cette description. Une partie des élèves avec de meilleurs résultats scolaires décrivent plus de fonctions et y associent les éléments, se rapprochant d'une analyse fonctionnelle. Pour une grande majorité, dont les résultats scolaires sont corrects, il est surprenant de voir que l'analyse s'arrête très majoritairement sur une seule fonction. De plus ce n'est pas la fonction principale du système qui est citée. On remarque cependant que les éléments décrits correspondent bien à cette fonction.

5.1.2. Résultats pour la phase 1, test après enseignement, description d'une imprimante 3D

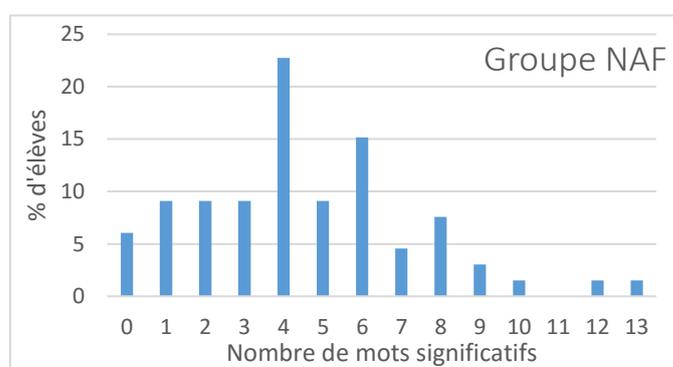
Des exemples de productions d'élèves sont fournis dans l'annexe 8 (étape 5).

Comme pour le test d'entrée, un premier traitement consiste au comptage des mots significatifs présents dans les productions des élèves pour les deux groupes :

- Non-initié à l'analyse fonctionnelle, groupe NAF.
- Initié à l'analyse fonctionnelle, groupe AF.



Graphique 10



Graphique 11

Nombre de mots significatifs en fonctions du pourcentage d'élèves
(groupe AF et groupe NAF)

Si pour le groupe NAF plus de 20 % des élèves utilisent 4 mots significatifs, aucune tendance aussi nette ne se distingue pour le groupe AF. On observe une meilleure répartition des élèves qui utilisent alors de 1 à 6 ou 7 mots significatifs. On peut aussi noter que lors du test d'entrée nous avons un plus grand nombre d'élèves qui utilisaient 6 mots significatifs, les résultats du test d'entrée et du groupe NAF se rejoignent donc surtout si l'on considère que le système à décrire pour le test d'entrée, le vélo, est plus connu des élèves que l'imprimante 3D.

Il semble donc qu'il y est ici un effet de l'initiation à l'analyse fonctionnelle, à ce stade cet effet est difficile à expliciter, il est possible que cela soit dû à la différence des modes de représentation ou l'on passe d'un langage formel à un langage graphique. Pour valider cette hypothèse, nous analysons, comme pour le test d'entrée les différents types de représentations présents.

L'analyse suivante concerne le type de représentation utilisé par les élèves, les résultats sont les suivants :

Types de représentations	Gr NAF		Gr AF	
	Nbr	En %	Nbr	En %
Texte seul	43	65	31	34
Dessin	6	9	2	2
Schéma	6	9	1	1
Texte + Dessin	0	0	0	0
Texte + Schéma	3	5	4	4
Texte + Blocs Fonctionnels	1	2	6	7
Blocs Fonctionnels	7	11	48	52

Tableau 19 : nombre d'élèves utilisant un type de représentation donné

Nous voyons donc que plus de la moitié des élèves (52 %) du groupe AF utilisent les blocs fonctionnels pour décrire le système. Nous pouvons supposer que ces élèves ont agi par mimétisme et ont effectué un apprentissage vicariant, au sens défini par Bandura (Bandura, 1986). Si l'on ajoute au 52 % qui ont utilisé les blocs fonctionnels les 7 % qui ont ajouté du texte à ces blocs fonctionnels, c'est un total de 59 % d'élèves qui réutilisent l'analyse fonctionnelle. Il paraît alors logique que les mots significatifs soient agencés de manière différente par les élèves et qu'ils cherchent alors une description plus synthétique du système. À l'exception des schémas avec textes, nous voyons aussi que tous les autres modes de représentations ont été moins utilisés par le groupe AF que par le groupe NAF. Autrement dit ce n'est pas uniquement pour éviter une description textuelle que les élèves ont utilisé l'analyse fonctionnelle, cela rejoindrait bien l'idée de l'apprentissage vicariant.

Quelques élèves du groupe NAF utilisent aussi l'analyse fonctionnelle (11 %) on peut penser que dans ce contexte accès sur la technologie certains ont déjà étudié et utilisé ce type d'outil et ils ont pu s'essayer à l'utiliser. Nous pouvons maintenant analyser en détail ce qui concerne les fonctions et éléments cités par ces 2 groupes d'élèves pour voir s'il existe des différences. La première constatation concerne le comptage global des fonctions et éléments, ramené au nombre d'individus.

	Groupe NAF	Groupe AF
Nombre moyen de fonctions citées par élève	1,36	2,05
Nombre moyen d'éléments cités par élève	2,05	2,00

Tableau 20 : nombre de fonctions et éléments cités en moyenne

En moyenne un élève du groupe NAF cite 1,36 fonction et 2,05 éléments. Pour un élève du groupe AF, c'est 2,05 fonctions et 2,00 éléments. On note tout d'abord que ces chiffres sont assez faibles, il paraît assez délicat de décrire un système avec si peu de fonctions et éléments, on peut penser que les élèves restent sur des descriptions très superficielles ou ne s'attache qu'à quelques éléments et n'ont pas une véritable volonté de travailler de manière poussée. L'exercice qui leur est demandé ne les guide pas et s'apparente à une question ouverte ce qui peut leur poser des difficultés. À cela s'ajoute la non-valorisation par une note, l'effort n'étant pas nécessairement récompensé, les élèves ne s'investissent pas dans cette tâche. On remarque cependant que le groupe NAF cite beaucoup moins de fonctions que le groupe AF (1,36 contre 2,05). Les élèves initiés à l'analyse fonctionnelle utilisent donc plus que les autres cet outil. Si la plupart des élèves se sont bien approprié l'instrument, il nous faut maintenant essayer de voir ce qu'ils en font et comment ils l'utilisent. Si l'on détaille les fonctions citées par les élèves, nous obtenons le tableau suivant :

Fonction citée	Gr NAF		Gr AF	
	Nbr	En %	Nbr	En %
Fonction principale	39	59	59	64
Modélisation CAO	15	23	52	57
Automatisme / gestion du système	2	3	8	9
Chauffage du fil	19	29	28	30
Extrusion	3	5	13	14
Déplacement de la buse ou du plateau	4	6	13	14
Transfert à l'imprimante	3	5	10	11
Solidification	4	6	4	4
Supporter l'objet	1	2	4	4
Sécuriser	0	0	1	1

Tableau 21 : détail des fonctions citées par les élèves

Si les élèves du groupe analyse fonctionnelle citent un peu plus la fonction principale que ceux du groupe NAF, la différence n'est pas très grande, 5 % de plus. Ce n'est pas la mise en place d'un outil de l'analyse fonctionnelle qui permet aux élèves d'avoir une approche du besoin pour lequel a été créé cet objet technique. On notait déjà dans le test

d'entrée que cette notion de fonction principale reste sous-estimée par les élèves. La fonction de modélisation prend beaucoup plus d'importance et est nettement plus citée par les élèves du groupe AF, 57 % contre 23 % pour ceux du groupe NAF. Tout se passe comme si la modélisation, première étape chronologique dans le processus d'utilisation de l'imprimante 3D, prenait une importance particulière. La modélisation est pratiquement autant citée que la fonction principale, respectivement par 64 et 57 % des élèves du groupe AF. Ces élèves ont bien saisi que la conception sur ordinateur est une phase cruciale de l'impression 3D.

On peut penser que l'outil de l'analyse fonctionnelle est instrumentalisé. Pour ces élèves l'enseignement de l'analyse fonctionnelle a fait ressortir une dimension supplémentaire, une autre fonction que la fonction principale existe, ce n'est pas le cas pour l'autre groupe. Il doit paraître évident aux élèves de ce groupe qu'il faut citer au moins une autre fonction que la fonction principale, c'est ce qui apparaissait sur le diagramme FAST réalisé la semaine dernière pour d'autres systèmes. Ces élèves commencent à appréhender les interactions entre les différentes parties d'un système (de Rosnay, 1977).

Les autres fonctions citées le sont pratiquement toutes un peu plus par les élèves du groupe AF, de 1 à 9 % de plus. Une seule fonction est citée avec 2 % de moins. Cela confirme bien que les élèves du groupe AF ont une approche plus fonctionnelle du système que ceux du groupe NAF.

Si l'on regarde en détail les éléments cités par les deux groupes, on obtient le tableau suivant :

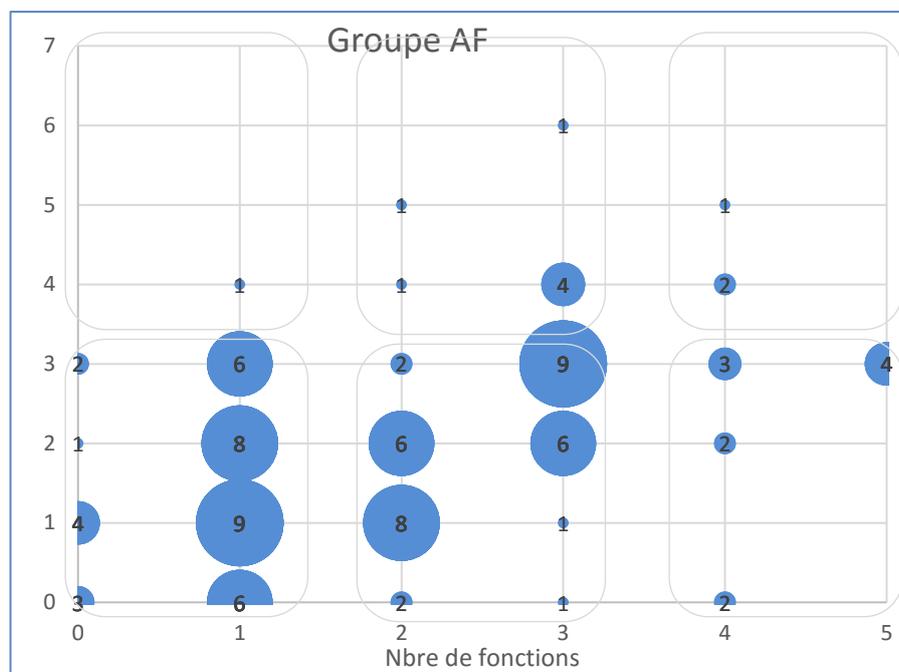
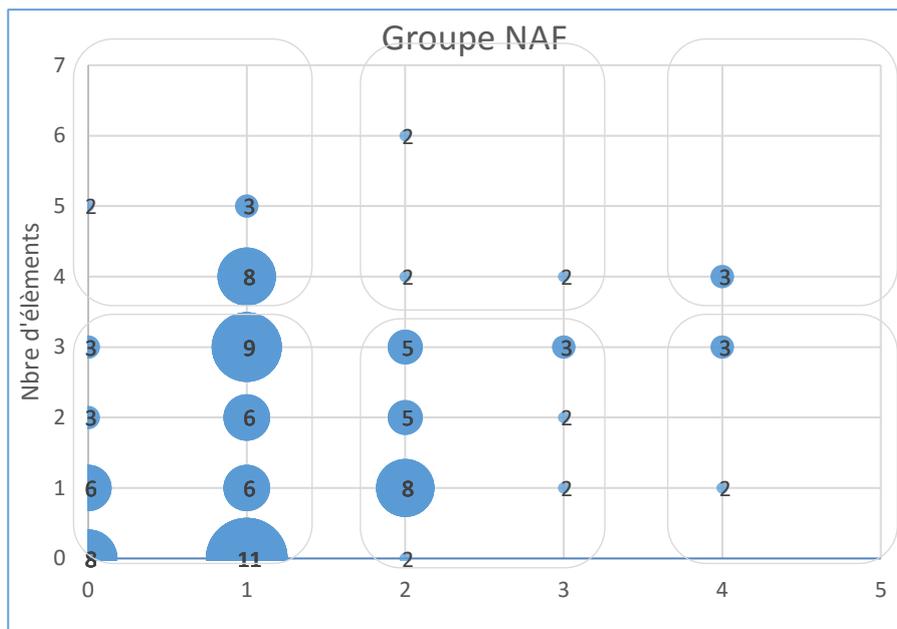
Solutions citées	Gr NAF		Gr AF	
	Nbr	En %	Nbr	En %
Ordinateur	31	47	56	61
Logiciel / fichier	25	38	27	29
Résistance chauffante	1	2	4	4
Buse	13	20	22	24
Moteurs	3	5	0	0
Support / plateau	13	20	18	20
Plastique / matière	30	45	46	50
Dépôt par couches	13	20	6	7
Énergie électrique	1	2	1	1
Câble de liaison	7	11	7	8
Capot de protection	0	0	0	0

Tableau 22 : détail des éléments cités par les élèves

On voit que l'ordinateur est nettement plus cité comme solution par le groupe AF (14 % de plus), ceci étant très certainement lié au fait que ces élèves citent beaucoup plus la fonction de modélisation. En effet l'ordinateur fait partie de la solution nécessaire à la modélisation. Le logiciel est lui moins cité par les élèves du groupe AF, cela peut

s'expliquer si les élèves considèrent que l'ordinateur fait partie de la solution pour modéliser, le logiciel intervient alors un peu moins. Si l'on considère l'ensemble « ordinateur et logiciel », il est cité par 24 % des élèves du groupe NAF et 20 % de ceux du groupe AF la différence est alors minime, comme pour la plupart des autres éléments cités. Exception faite du « dépôt par couches », celui-ci est moins vu comme une solution par les élèves du groupe AF. Avec les données en notre possession il est difficile de donner une explication à cette caractéristique, une piste serait qu'il est peut-être plus difficile pour un élève du collège de relier cette solution à une fonction et ils ont pu préférer l'ignorer.

Nous pouvons maintenant nous pencher, comme nous l'avons fait pour le test d'entrée sur la répartition des élèves par le nombre de fonctions et d'éléments cités. Nous pourrions alors comparer les performances des différents niveaux d'élèves et voir si des différences existent entre nos deux groupes.



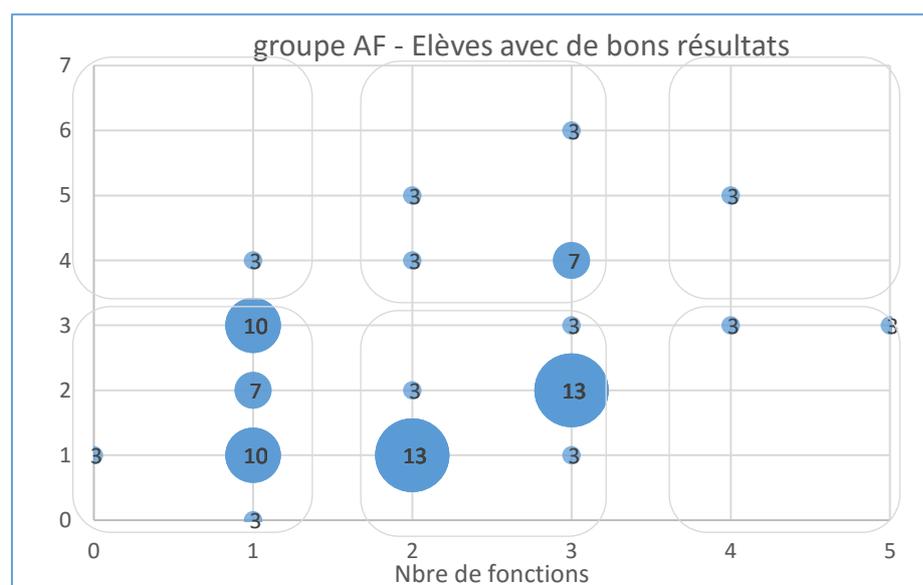
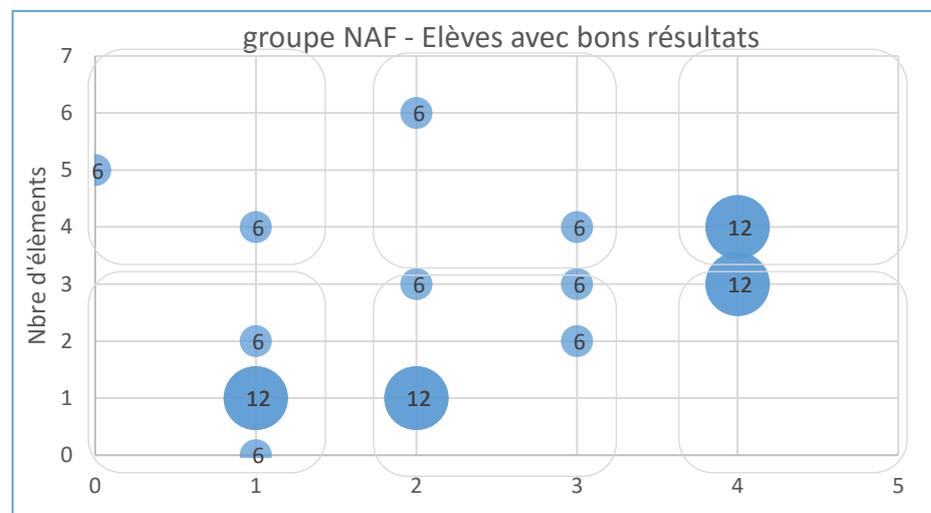
Graphique 12 et Graphique 13 : phase 1 – description de l'imprimante 3D répartition en % des élèves

Sur ces graphiques on distingue nettement l'augmentation du nombre d'élèves dans la catégorie 3 (2 ou 3 fonctions et de 0 à 4 éléments), pour le groupe AF. Comme nous l'avons déjà remarqué, ces élèves citent donc plus de fonctions que ceux du groupe NAF. Nous savons aussi qu'ils citent pratiquement autant d'éléments, l'on voit ici qu'ils associent globalement une solution à une fonction. Les effectifs de la catégorie 3, ceux qui citent 2 ou 3 fonctions, pour le groupe AF sont les plus conséquents (37 élèves sur

un total de 92 soit 40 %) et ils citent 2 ou 3 éléments. La continuité de l'étude d'un système en prenant en compte les fonctions puis les éléments, est donc faite pour ces élèves. L'initiation à l'analyse fonctionnelle leur a permis d'aller plus loin que la description analytique faite par la plupart des élèves du groupe NAF.

On remarque aussi quelques élèves (environ 12 %) qui vont jusqu'à citer plus de fonctions (4 et 5), mais qui n'y associent pas forcément des éléments.

Nous pouvons maintenant essayer de catégoriser comme précédemment notre échantillon en fonction du niveau scolaire pour voir si, comme nous le pensons, l'utilisation d'un artefact graphique, ici le diagramme FAST, aide plus les élèves en difficulté scolaire pour décrire un système.

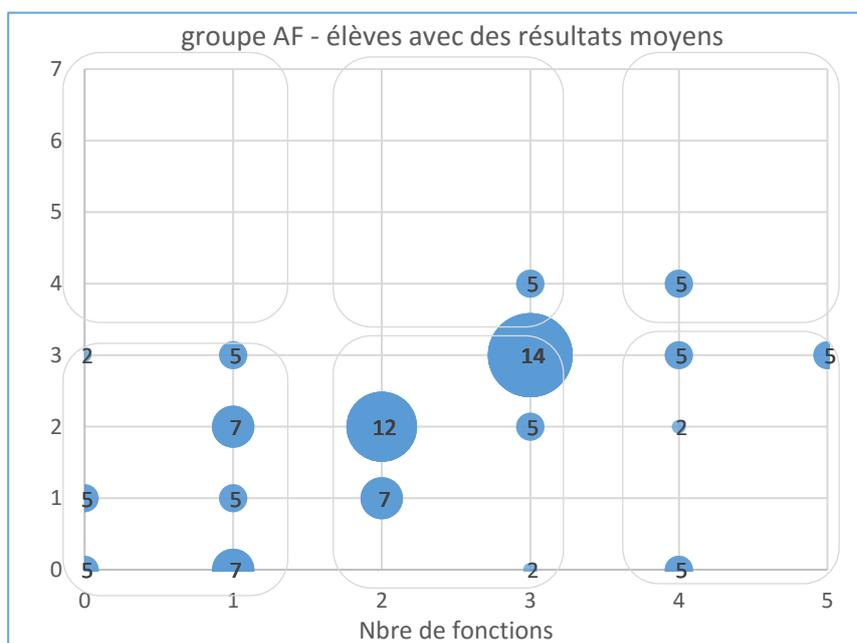
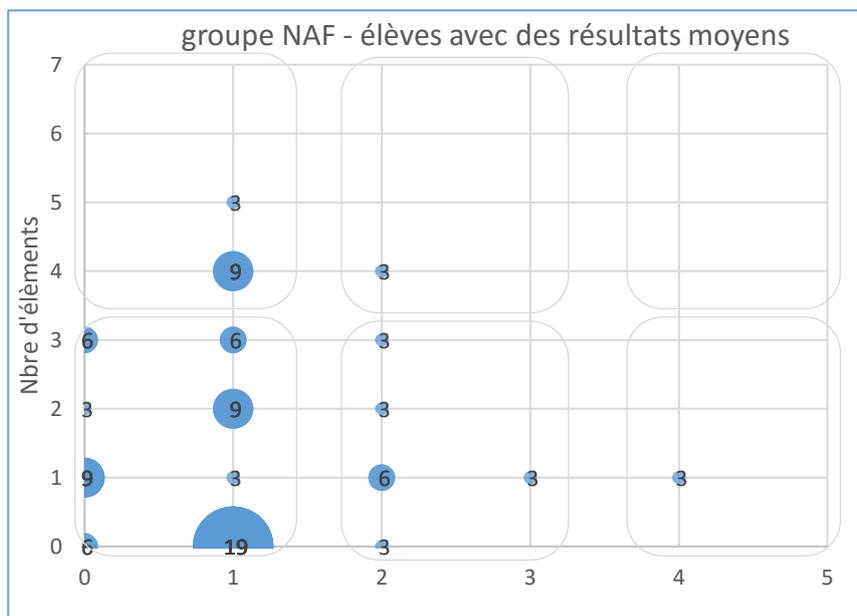


Graphique 14 et Graphique 15 : phase 1 – description de l'imprimante 3D répartition en % des élèves ayant de bons résultats

En première approximation, on note que les élèves des deux groupes, qui ont une bonne moyenne générale, sont répartis à peu près également sur le graphique, ils citent de 1 à 4 fonctions et de 1 à 4 éléments.

On remarque aussi que, pour le groupe NAF, 24 % des bons élèves citent 4 fonctions ou plus, et représentent pratiquement tous les élèves de l'ensemble de ces catégories 5 et 6 (4 élèves sur 5). Pour le groupe AF se sont seulement 9 % des bons élèves, soit 3 élèves sur les 14 de l'ensemble, toujours pour ces mêmes catégories 5 et 6.

La comparaison des deux graphiques indique que cet apprentissage profite peu aux élèves les plus performants. Les élèves ayant suivi l'enseignement de l'AF se retrouvent dans la moyenne de l'ensemble, ce qui n'est pas le cas pour le groupe NAF. Ceci irait à l'inverse de « l'effet Mathieu » qui veut qu'un apprentissage supplémentaire profite aux meilleurs (Merton & others, 1968). Nous serions donc en présence d'un outil dont l'enseignement ne suit pas les règles générales, l'instrumentalisation de cet outil par les élèves semble mettre en place des processus différents de ceux habituellement observés dans l'éducation. Ces bons élèves ont des outils pour décrire un système, nous l'avons vu majoritairement une description textuelle, ils réussissent dans le système scolaire en procédant de cette manière, ils ont peu d'intérêt à modifier leur façon de faire. Introduire l'analyse fonctionnelle semble même défavorable pour certains d'entre eux, ils ne maîtrisent pas l'outil. Il faut peut-être faire ici un lien avec ce qui se passe pour les enseignants (voir chapitre précédent) sur la maîtrise de l'outil et son utilisation. Certains enseignants déclarent eux même ne pas maîtriser l'outil et le trouvent trop complexe.

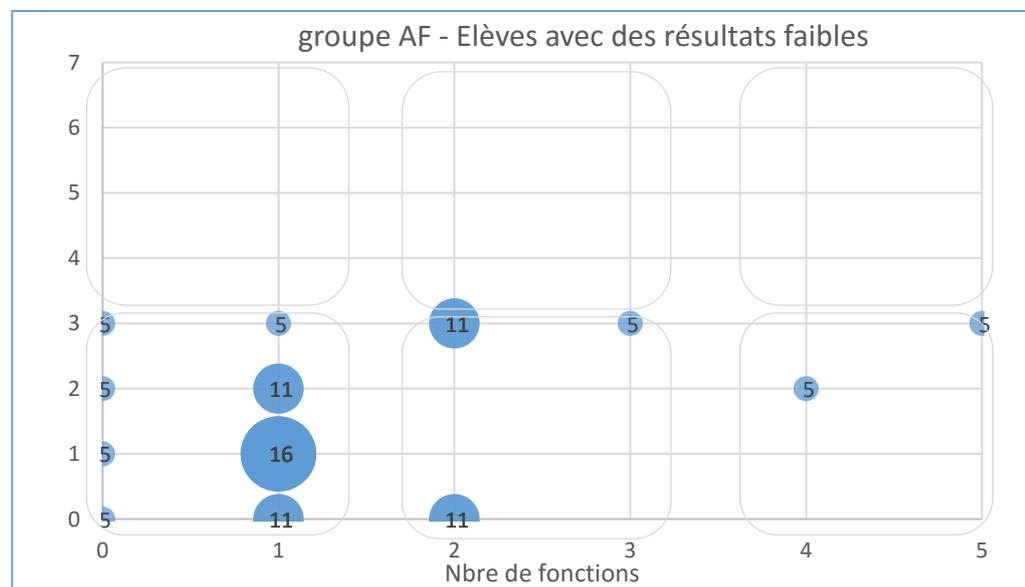
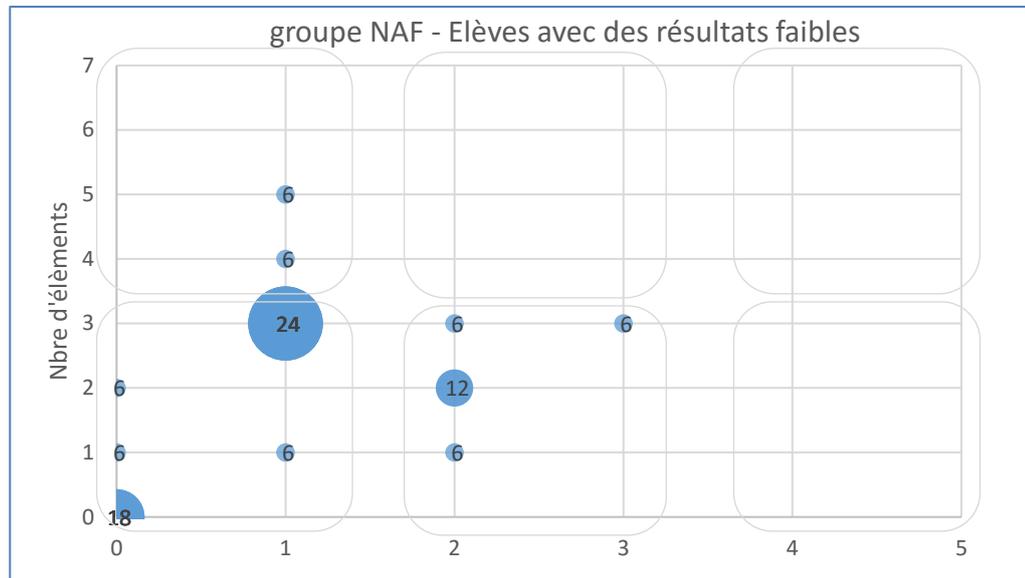


Graphique 16 et Graphique 17 : phase 1 – description de l'imprimante 3D répartition en % des élèves ayant des résultats moyens

On note cette fois une très nette différence. Si dans le groupe NAF, assez peu d'élèves citaient plus d'une fonction (8 sur 32 soit 25 %), dans le groupe AF, ils sont nettement plus nombreux (27 sur 43, soit plus de 60 %). L'initiation a permis à ces élèves, qui ont

une moyenne générale entre 10 et 14 sur 20 de prendre en compte l'aspect fonctionnel du système.

Pour la dernière catégorie, celle des élèves qui ont moins de 10 de moyenne générale, nous obtenons les graphiques suivants :



Graphique 18 et Graphique 19 : phase 1 – description de l'imprimante 3D répartition en % des élèves ayant des résultats faibles

Même si ces effectifs sont assez réduits (17 élèves pour le groupe NAF et 19 pour le groupe AF), dans cette catégorie, on remarque que les élèves du groupe NAF se concentraient sur le point aucune fonction ni solution citée (3 élèves) et 1 fonction et 3

éléments (4 élèves). Pour le groupe AF la majorité a cité une fonction (8 élèves), mais un peu moins d'éléments que ceux du groupe NAF. Cependant 2 élèves ont cité 4 et 5 fonctions. Si l'effet est moindre que pour la catégorie B on peut quand même penser que certains de ces élèves ont utilisé une approche fonctionnelle, mais ils n'ont pas associé les fonctions de l'objet aux éléments techniques.

En conclusion, les élèves ont tendance à privilégier une description analytique du système. Si on les initie à une approche fonctionnelle, ils l'utilisent volontiers. La majorité a cependant des difficultés à associer fonctions et éléments. Ceux qui utilisent de façon efficace cette approche fonctionnelle sont plutôt les élèves qui ont un niveau général correct. Les très bons élèves changent assez peu d'approche et les plus faibles essaient, mais ne semblent pas avoir les moyens de progresser pleinement vers une description à la fois des fonctions et d'éléments techniques du système présenté.

5.1.3. Résultats pour la phase 2, classification de l'ordre des opérations

L'intérêt de cet exercice est de pouvoir analyser si les élèves ont une vision globale et fonctionnelle du système. La tâche qui consiste à mettre dans le bon ordre les opérations qui permettent d'aboutir à la mise en œuvre du système imprimante 3D impose d'appréhender l'ensemble des composants et de structurer une logique d'interaction entre les différents éléments. Il faut tenir compte d'une logique temporelle séquentielle qui complète l'analyse fonctionnelle et se différencie d'une approche matérielle.

Pour cet exercice, on le rappelle, notre échantillon est divisé en deux groupes : initiés à l'analyse fonctionnelle, AF et non-initiés, NAF. Ce que nous cherchons à définir et à comprendre réside dans la comparaison entre les deux groupes plus que dans les réponses intrinsèques données par les élèves.

5.1.3.1. Analyse globale de l'erreur

Dans le groupe NAF : 5 élèves sur 70 (7 %) ont donné une réponse correcte. Dans le groupe AF : 10 élèves sur 85 (11 %) ont donné une réponse correcte. Nous observons donc une augmentation de nombre de bonnes réponses suite à l'initiation à l'analyse fonctionnelle. Si ces résultats semblent montrer un apport de l'analyse fonctionnelle, les pourcentages de bonnes réponses restent assez faibles. Il faut prendre en considération qu'un grand nombre d'élèves a fait des erreurs. Pour cela nous allons analyser plus particulièrement les résultats de ces élèves qui ont fait des erreurs.

Pour visualiser la différence entre ces deux groupes, nous avons analysé les réponses en attribuant un chiffre de 1 à 8 à chaque opération suivant la position donnée par l'élève, 1 pour la première position, 2 pour la deuxième, etc. et 8 pour la dernière. Les réponses des élèves pour chaque opération sont comparées avec la position que peut prendre une des opérations à classer dans l'ensemble des éléments possibles tel que cela est présenté dans la méthodologie tableau 4 page 90. Si l'élève dans sa réponse n'a pas affecté une opération donnée à l'une des positions possibles pour cette opération, cela est compté comme une erreur. Nous avons ensuite comptabilisé le nombre d'erreurs faites par chaque élève, et calculé le taux d'erreurs pour chaque groupe (nombre d'erreurs divisé par le nombre d'élèves du groupe). Les résultats figurent dans le tableau suivant.

	Non-initiés groupe NAF	Initiés groupe AF
Taux d'erreurs / élève	2,87	2,90

Tableau 23 : exercice 1 - nombre moyen d'erreurs

Ce taux d'erreur est sensiblement le même pour les élèves initiés à l'analyse fonctionnelle et non-initiés, les élèves non-initiés font en moyenne 2,87 erreurs et ceux qui sont initiés 2,9 erreurs sur un total maximum possible de 8. La différence est minime et il n'y a que peu de différences entre les deux groupes si l'on considère l'ensemble de notre échantillon (moins de 0,4 % d'écart).

Si nous détaillons ces résultats en catégorisant de la manière que pour le test d'entrée (catégories A, B et C en fonction des moyennes générales des élèves sur l'année) nous obtenons le tableau suivant :

Niveau Groupe	A (élèves avec de bons résultats)	B (élèves avec des résultats moyens)	C (élèves avec des résultats faibles)
NAF	2,47	2,85	3,26
AF	2,82	2,90	3,06

Tableau 24 : taux d'erreur en fonction du niveau général

On s'aperçoit que pour le groupe des non-initiés à l'analyse fonctionnelle, l'écart entre les élèves qui ont un bon niveau et ceux qui ont un niveau en dessous de la moyenne est pratiquement de 10 %, les taux varient de 2,47 à 3,26. Dans le cas des élèves initiés à l'analyse fonctionnelle cet écart n'est plus que de l'ordre de 3 %, les taux varient de 2,82 à 3,06.

Il semblerait que l'initiation à l'analyse fonctionnelle ait provoqué une homogénéisation des niveaux, si les élèves en difficultés sont légèrement plus performants, les élèves qui ont plus de facilités scolaires seraient alors moins performants. Cette dernière constatation peut paraître étrange. Mais si l'on regarde en détail les résultats de ces élèves, on s'aperçoit qu'un certain nombre d'entre eux (3 sur 28) n'a pas fini cet exercice, les non-réponses étant comptées comme des erreurs. Ceci n'était pas le cas pour les élèves du groupe NAF, dans ce groupe tous les élèves qui n'ont pas fini l'exercice, soit 5, appartiennent à la catégorie C. Ceux du groupe AF qui n'ont pas terminé l'exercice dans les temps se répartissent de la façon suivante : comme indiqué plus haut 3 dans la catégorie A, 2 dans la catégorie B et 3 dans la catégorie C. On peut donc penser que le fait de devoir analyser le système dans sa totalité a pu prendre plus de temps, y compris pour certains élèves moins en difficulté. Ceci pourrait expliquer le peu de changement du taux d'erreur entre les deux groupes.

Ces résultats globaux sont cependant assez peu différenciés. Cela nous incite à regarder plus attentivement les réponses des élèves. Les opérations sur lesquelles les élèves se sont trompés peuvent être des indicateurs de la compréhension qu'ils ont du système. Dans cette optique certains élèves, dans leurs propositions sont certainement relativement proche de la solution. Les groupes d'appartenance et les points de la procédure où ils s'éloignent de ce qui est possible permettent d'obtenir de nouvelles informations sur la pertinence des réponses à cet exercice.

5.1.3.2. Analyse associée aux opérations

Le tableau suivant indique la répartition en pourcentage des erreurs pour les deux groupes, NAF et AF, pour chaque opération à classer. Le pourcentage est calculé par rapport au nombre total d'erreurs effectuées pour chaque groupe.

Opér. Groupe	A	B	C	D	E	F	G	H
NAF	23	3	6	30	27	6	5	1
AF	19	6	10	28	20	10	6	1
Écart NAF - AF	4	-4	-3	2	7	-4	-1	0

Tableau 25 : répartition des erreurs pour chaque opération en %

Ce tableau permet de visualiser que c'est pour l'opération E, régler la distance entre le plateau et la buse, que l'écart entre les deux groupes est le plus grand. Le groupe AF fait

7% d'erreur en moins que le groupe NAF dans le placement de cette opération. C'est spécifiquement cette opération E qui a été définie comme un point essentiel de la réussite d'une impression. Les élèves qui n'ont pas été initiés à l'analyse fonctionnelle font donc plus d'erreurs que les autres pour savoir à quel moment il faut régler l'imprimante. Si comme expliciter précédemment un réglage peut être vu comme une invention limitée, l'analyse fonctionnelle semble bien être utile à certains élèves pour savoir à quel moment cette « invention » doit être introduite. C'est bien une application directe de l'analyse fonctionnelle qui apparaît ici avec une des fonctions premières de cette méthode qui est de pouvoir aider à la conception.

Les autres résultats du tableau montrent que les écarts sont moins significatifs sur la position des autres opérations. Les groupes NAF et AF font le même genre d'erreur. À titre indicatif on note bien que certaines opérations ne posent pas de problème, que ce soit au groupe AF ou au groupe NAF, ce sont les opérations B, G et H : mettre en route l'imprimante – lancer l'impression et mettre en route l'ordinateur. C'est-à-dire les opérations en début et en fin de manipulation. Les deux autres opérations ou un plus grand nombre d'erreurs, de 19 % à 30 %, sont faites sont les opérations A et D : initialiser l'imprimante et lancer le logiciel. Même si les résultats comparatifs entre les deux groupes sont très proches et assez peu significatifs se sont tout de même les élèves du groupe AF qui sont les moins nombreux à faire des erreurs sur le placement de ces opérations. Cela signifie que quelques élèves du groupe AF ont mieux saisi la chronologie des opérations du système. À ce niveau il est cependant délicat, voire impossible, d'avancer que c'est l'initiation au diagramme FAST qui peut être à l'origine de cette constatation.

Si nous analysons les erreurs faites aux opérations D et E, qui sont les deux opérations pour lesquelles les élèves ont commis le plus d'erreurs, en distinguant ces opérations et les niveaux d'élèves, les résultats suivants sont obtenus :

Groupe \ Niveau	A (élèves avec de bons résultats)	B (élèves avec des résultats moyens)	C (élèves avec des résultats faibles)
NAF	80	79	90
AF	75	74	80

Tableau 26 : pourcentage de répartition des erreurs par niveau pour l'opération D

On retrouve bien le résultat précédent où le groupe AF est légèrement plus performant, avec cette fois une différence un peu plus nette pour les élèves qui ont des difficultés scolaires.

En effectuant la même comparaison sur l'opération E, le réglage de la hauteur du plateau, nous obtenons le tableau suivant :

Niveau Groupe	A (élèves avec de bons résultats)	B (élèves avec des résultats moyens)	C (élèves avec des résultats faibles)
NAF	58	75	90
AF	54	65	56

Tableau 27 : pourcentage de répartition des erreurs par niveau pour l'opération E

Les résultats sont nettement plus significatifs. Les élèves qui ont des résultats faibles et qui n'ont pas été initiés à l'analyse fonctionnelle ont pratiquement tous mal positionné cette opération de réglage, le taux d'erreurs est de 90 %. Alors que presque la moitié des élèves qui ont suivi l'initiation à l'analyse fonctionnelle et qui ont des résultats faibles ont bien positionné l'opération de réglage du plateau, le taux d'erreur est de 56 %. Pour les deux autres groupes, la différence est moins nette, les élèves du groupe AF sont légèrement plus performants.

En conclusion si sur cet exercice l'ensemble des élèves du groupe AF est légèrement plus performant que ceux du groupe NAF, l'apprentissage du diagramme FAST a surtout profité aux élèves qui ont un niveau faible. Presque la moitié des élèves a placé l'opération de réglage à un moment correct dans la chronologie de mise en œuvre de l'imprimante 3D. L'analyse fonctionnelle est présentée aux élèves comme un nouvel outil, même si dans cet exercice une application directe n'est pas demandée, le but est tout de même d'avoir une vision systémique et fonctionnelle d'un ensemble complexe. Certains élèves peuvent avoir des problèmes avec ce changement de vision, cela peut s'appliquer aux élèves qui ont déjà certaines représentations et qui les utilisent certainement pour appréhender et utiliser un système peu connu. Pour ceux qui ont plus de difficultés et qui n'ont peut-être pas de moyen de structurer les enchaînements des opérations de mise en œuvre de l'imprimante 3D, l'analyse fonctionnelle peut apparemment être une aide efficace pour cette opération.

5.2. Analyse des expérimentations qualitatives en classe

L'intérêt que nous portons à l'analyse des discours s'appuie sur le fait que l'expression langagière est le reflet de l'activité cognitive. L'expression langagière est plus facilement analysable que l'activité cognitive. Différents auteurs ont travaillé dans cette voie : (Collet, 2003 ; Goffard & Goffard, 2003 ; Saint-Georges, 2001). Ils s'appuient principalement sur les études des éléments de syntaxe effectuées par (Tesnière & Fourquet, 1988). Pour Goffard si on n'accède aux raisonnements des élèves qu'à travers

leurs verbalisations il faut quand même réaliser que celles-ci ne rendent pas compte de l'ensemble de la réflexion. Pour Collet on peut quand même à travers les considérations linguistiques distinguer des niveaux notionnels et conceptuels. Notre intention est de comprendre comment les concepts liés au systémique peuvent émerger, et cela à travers quel statut linguistique. Si les élèves ont nommé des entités en utilisant des fonctions à la place d'éléments techniques, on peut alors envisager un transfert de la notion vers le concept¹⁹. Si bien entendu aucune entité n'est répertoriée il est impossible d'avancer que ce transfert c'est effectué. Toujours pour Collet les concepts empruntés aux sciences du langage permettent de discerner le niveau notionnel des termes employés dans le texte scientifique ce que nous appliquerons ici aux discours techniques.

Nous avons donc, comme cela a été présenté dans notre méthodologie, étudié un total de six binômes d'élèves. Trois d'entre eux ayant effectué une initiation à l'outil FAST de l'analyse fonctionnel, les trois autres binômes n'ont pas suivi cette initiation. Pour chaque modalité, enseignement avec analyse fonctionnelle et enseignement sans analyse fonctionnelle, nous avons formé, à la vue des résultats de l'expérimentation quantitative, un binôme d'élèves avec des résultats « faibles », un binôme d'élèves avec des résultats « moyens », et un binôme de « bons » résultats.

Ces catégorisations de niveaux scolaires sont les mêmes que dans le paragraphe précédent lors de l'analyse quantitative et ont été explicitées dans la méthodologie.

Afin de simplifier la lecture et l'écriture du chapitre suivant, nous avons adopté le codage suivant :

Résultats « bons » ayant suivi l'enseignement de l'analyse fonctionnelle : AF1

Résultats « moyens » ayant suivi l'enseignement de l'analyse fonctionnelle : AF2

Résultats « faibles » ayant suivi l'enseignement de l'analyse fonctionnelle : AF3

Résultats « bons » n'ayant pas suivi l'enseignement de l'analyse fonctionnelle : NAF1

Résultats « moyens » n'ayant pas suivi l'enseignement de l'analyse fonctionnelle : NAF2

Résultats « faibles » n'ayant pas suivi l'enseignement de l'analyse fonctionnelle : NAF3

¹⁹ Par exemple un radiateur peut être interpréter comme système de chauffage, on peut ainsi passer au concept de chaleur.

5.2.1. Constatations sur les résultats

- Réussite ou non de la fabrication

Notre première analyse concerne la réussite ou l'échec de la fabrication de la bille, pour l'ensemble des six binômes nous obtenons les résultats suivants :

AF 1 : succès	NAF 1 : succès
AF 2 : succès	NAF 2 : succès
AF 3 : succès	NAF 3 : échec

Seuls les élèves les plus faibles et qui n'ont pas suivi l'enseignement de l'analyse fonctionnelle ont échoué dans la fabrication de la bille. La première constatation est qu'il est manifeste que la fabrication est tout à fait réalisable.

Il est aussi intéressant de noter que suite au résultat final trois des élèves des binômes AF1 et AF2 ont personnifié l'imprimante :

« elle est super cool la machine, elle est trop forte
elle est intelligente
elle comprend ce qu'on lui dit ».

Le binôme AF3 est fier d'avoir réussi, il faut rappeler que ce sont des élèves en échec scolaire, ils interpellent même les autres élèves pour leur signaler cette réussite. Pour ces six élèves, qui rappelons-le ont suivi une initiation à l'analyse fonctionnelle, le rapport à la machine va manifestement au-delà de la fonction de fabrication. Ce n'est pas du tout le cas des autres binômes, NAF 1 et 2, qui restent sur un plan purement pragmatique et matériel :

« surtout touches pas
ah oui 100 degrés
t'as vu ça marche
oui ça marche ».

Les élèves du binôme NAF3 n'ont pas compris pourquoi l'impression n'est pas une réussite. Les explications restent vagues et contradictoires :

« la bille a pris trop de hauteur

le bout était trop bas

il aurait fallu diminuer un peu ».

Pour eux le processus d'essais-erreurs n'a pas fonctionné. Ils ont pourtant effectué deux essais, mais ne donnent pas l'explication correcte. Il cerne bien qu'il y a un problème avec la hauteur, mais ils rattachent ce problème à la bille ou à « un bout ». Nous ne savons pas ce qu'est ce « bout » ; la buse, le plateau ? La correction qu'ils proposent va même à l'encontre de la bonne solution, ils pensent diminuer la valeur alors qu'il faudrait l'augmenter.

- Répétition de l'impression après un échec

Nous venons de voir que le binôme NAF3 à effectuer deux essais, qu'en est-il des autres ?

Nous regardons donc cette variable et analysons le fait que les élèves aient de suite réussi (codé : direct) l'impression ou s'ils ont dû répéter l'opération d'impression une deuxième fois (codé : erreur).

AF 1 : direct

NAF 1 : direct

AF 2 : direct

NAF 2 : erreur

AF 3 : direct

NAF 3 : erreur

On note cette fois que les élèves des binômes AF se comportent, tous niveaux scolaires confondus, mieux que les binômes NAF. Seul le binôme des meilleurs élèves de groupe NAF n'a pas fait d'erreur. Cela signifie bien que les fiches fournies aux élèves laissées une interprétation possible comme cela était recherché. Le guidage n'était pas total. Dans l'analyse à priori nous avons notifié que le fait de tester, lors du réglage de la hauteur du plateau, si la feuille est bloquée ou pas, fait intervenir une notion d'appréciation de la part des élèves. En rapport avec le suivi de l'analyse à priori nous pouvons ici dire que les élèves qui ont suivi l'initiation à l'analyse fonctionnelle ont suivi une procédure correcte et ont appréhendé de manière correcte le réglage à effectuer. Seuls les meilleurs élèves du groupe NAF ont un comportement similaire. Nous notons que l'ensemble des élèves ont suivi les fiches guides. Conformément à ce que nous

avons avancé, cela peut signifier que certains élèves ne les ont pas comprises. Les discours confirment ce fait pour le binôme NAF3 :

« Élève 2 : c'est peut-être la hauteur qui va pas

Enseignant : et alors ?

élève 2 : y'avait les images aussi dans le logiciel

Enseignant : il faut recommencer en changeant quelque chose

élève 1 : peut-être la diminuer ou l'augmenter

élève 2 : ou alors on a mal mis la feuille de papier, je sais pas ».

Au début l'élève 2 émet une piste correcte, la hauteur. Mais la suite du discours est beaucoup plus incohérente. Il parle ensuite d'image dans le logiciel (est-ce la modélisation ?) ou de la position de la feuille de papier. Leur deuxième essai sera aussi un échec, ils modifient la hauteur, mais de façon trop faible. De plus ils font ensuite une remise à zéro qui annule leur modification. Nous avons donc ici une partie de la procédure qui est correctement effectuée, mais certainement pas comprise par les élèves. Ils ne saisissent pas clairement pourquoi ils font ces opérations.

Nous constatons donc que seuls les binômes NAF 2 et NAF3 ont tenté de résoudre le problème suite à l'échec d'une première fabrication de la bille. On peut se poser la question de la manière dont ils ont analysé leurs erreurs. Seul le binôme NAF2 a obtenu une bille correcte et a rectifié son erreur. Ces élèves ont un niveau scolaire meilleur que ceux de NAF3. La différence de niveau scolaire est une des variables en jeu dans ce processus de résolution de problème²⁰. Comme les autres binômes ont réussi l'impression dès la première fois, ils n'ont pas été confrontés à cet aspect de la résolution de problème. C'est le cas du binôme AF3 qui a un niveau scolaire semblable à NAF3 : élèves plutôt faibles.

Il est cependant délicat de conclure que l'initiation à l'analyse fonctionnelle a favorisé cette partie de la manipulation pour ces élèves moins bien notés par leurs enseignants. Nous devons être conscients que c'est ici une des limites de notre étude sur ces cas cliniques, nous remarquons cependant que cela corrobore les analyses statistiques effectuées : dans un cadre opératoire, l'initiation à l'analyse fonctionnelle sera plus profitable aux élèves en difficultés scolaires.

Nous venons de détailler ce qui a trait au résultat final. Dans cette manipulation, en accord avec notre analyse à priori de la tâche, nous savons que le résultat final est entièrement dépendant du réglage du plateau. Le résultat final est donc lié à ce résultat intermédiaire. C'est l'action sur le réglage du plateau qui permet de bloquer la feuille. Si la feuille est légèrement bloquée alors la hauteur du plateau est correctement réglée. On veut s'assurer que si les élèves comprennent que le blocage de la feuille est défaillant

²⁰ Ginestié (Ginestié, 2005) a constaté que les connaissances sont essentielles pour appréhender l'ensemble des contraintes qui permettent d'aborder la résolution de problèmes.

alors ils font bien la liaison entre les éléments « bloquer la feuille » et « réussir l'impression ».

Nous abordons maintenant le deuxième niveau de notre grille. Il s'agit de voir si les élèves considèrent que les différents éléments du système interagissent.

5.2.2. Prise en compte des interactions du système

Pour les quatre binômes, AF1-2-3 et NAF 1 des indices apparaissent clairement dans les discours lorsqu'ils observent une interaction, ou au contraire l'absence d'interaction, entre la partie commande et la partie opérative :

Binôme AF1 ligne 73

- 2 : wha ça touche presque
- 1 : comme ça exemple 133, cliquer sur 'aller'
- 2 : faut que ça réagisse
- 1 : ça bouge beaucoup

Ligne 87

- 1 : oui je clique la, mais dis-le-moi
- 2 : ça a pas l'air de bouger en fait là, ha si ça bouge un tout petit petit peu

Binôme AF3 ligne 358

- 2 : 133 il fallait mettre. Pourquoi ça marche pas // appel l'enseignant
- Ens : qu'est-ce qui vous arrive ?
- 2 : ça veut pas monter
- Ens : t'es sur ? Mets 120 pour voir // l'enseignant lance une manipulation de vérification
- 2 : mais ils ont dit 133
- Ens : mets 120 c'est moi qui te le dit
- 1 : comme ça je le mets // valide la valeur, le plateau descend
- Ens : voilà ça marche, tu remets 133 et vous continuez
- 1 : // mets 133, voit le plateau monter, 1 et 2 sont satisfaits.

Binôme NAF1 ligne 464

- 2 : saisir la valeur, cliquer dans la zone aller // cherche sur le clavier
- 1 : il faut remplacer, c'est juste la // tape la valeur sur le clavier

Ens : mettez un point (à la place de la virgule)

2 : (lit la fiche) cliquer sur aller

2 : plateau monte

1 et 2 : // observent le plateau qui monte

2 : (lit la fiche) par exemple avec les flèches, c'est beaucoup

2 : ah oui, on peut dire 3,10

2 : on monte jusqu'à 10 ou c'est 1 qu'il faut ? // appel enseignant

1 : mets 10 en cas

2 : ils disent légèrement

Certains sont quand même un peu surpris quand un automatisme se met en route lors de l'impression, mais réagissent en expliquant le phénomène :

Binôme AF1 ligne 129

1 : ça le fait tout seul // quand ils lancent l'impression

2 : y'a peut-être un souci, on a raté comme les autres, on a tout cassé

Binôme AF2 ligne 185

2 : cliquer sur aller

1 : oh oh, ça monte

2 : c'est normal

1 : elle va toucher le plafond la // le plateau monte

Il est nettement plus difficile de trouver des traces de la compréhension de la correspondance entre le fait d'envoyer une commande en cliquant et de voir un élément s'actionner chez les deux binômes NAF2 et NAF3. Chez un de ces binômes, NAF2, c'est uniquement un effet de surprise qui est très nettement marqué.

Binôme NAF2 ligne 585

2 : régler la distance entre la buse et le plateau

1 : mettez un morceau...c'est fait, cliquer sur centre, vas-y elle m'a fait peur, elle était toute seule la.

Pour le binôme NAF3 on note seulement un suivi du plateau par le regard. Aucune remarque n'est faite, un des élèves pense même que la manipulation est terminée. Pendant un moment il n'envisage pas l'itération pour régler la hauteur du plateau.

Binôme NAF3 ligne 815

1 : ça y est c'est fini //observe la montée du plateau, continue la lecture, continue la manipulation

2 : baisse un peu pour voir

1 : remarque c'est vrai que ça y est

2 : c'est pas compliqué

Ce binôme NAF3 assimile le système à un système sans automatisme : le pistolet à colle.

(lignes 839 et 840 de l'annexe 7)

Élève 1 : c'est pas très chaud // touche très légèrement le plateau

Élève 2 : c'est comme un pistolet à colle

Si cela paraît judicieux pour comparer le principe de transformation d'un élément par la chaleur, il manque toute la partie interaction. Ceci peut, en partie, expliquer que ces élèves ne prêtent pas grande attention au réglage et n'obtiennent pas le résultat escompté.

5.2.3. Analyse des termes : entre notion et conception

5.2.3.1. Entités nommées avec des termes génériques

Il peut arriver que les élèves ne connaissent pas le nom exact du composant, ou qu'ils l'aient oublié. L'attitude la plus répandue dans ce cas est d'utiliser un terme générique. Les termes les plus courants, et que l'on retrouve communément, sont les suivants : truc, machin, ça, il. Si ce terme générique est rattaché à la fonction de l'élément, nous avons alors un indicateur d'une compréhension fonctionnelle du système.

Pour chaque binôme nous avons donc comptabilisé le nombre de termes génériques utilisés et indiqué s'ils étaient associés à une fonction ou non.

Binômes	Nombre de termes génériques	Associés à une fonction	Non associés à une fonction
AF1	4	2	2
AF2	3	2	1
AF3	5	4	1
NAF1	1	0	1
NAF2	3	1	2
NAF3	0	0	0

Tableau 28 : nombre de termes génériques

Ce tableau nous permet d'observer que les binômes AF citent plus de termes génériques que les binômes NAF. On pourrait penser dans un premier temps qu'ils connaissent moins les termes exacts. Mais en détaillant la deuxième colonne, on s'aperçoit qu'ils associent très nettement ces termes à des fonctions, ce qui n'est pas le cas des binômes NAF. Il semblerait que ce soit donc bien l'initiation à l'outil FAST de l'analyse fonctionnelle qui permette à ces élèves d'associer les éléments du système à des fonctions. De plus il semblerait aussi que puisqu'ils ont cette possibilité, ils utilisent plus de termes génériques que leurs camarades. Cette constatation apparaît encore plus nettement pour les élèves les plus faibles, le binôme AF3 utilise cinq fois des termes génériques, dont quatre associés à des explications fonctionnelles, alors que le binôme NAF3 n'utilise aucun terme générique.

Nous pouvons donc avancer que les élèves qui ont suivi l'initiation à l'analyse fonctionnelle ont tendance à nommer plus d'éléments que ceux qui n'ont pas suivi l'initiation, même si les désignations exactes sont inconnues. Ils tentent également d'associer ces éléments à des fonctions. Cette approche permet de penser que ces élèves ont acquis certaines notions sur l'imprimante 3D et qu'ils peuvent l'envisager comme un système, tout au moins nettement mieux que ceux qui n'ont pas une approche fonctionnelle.

5.2.3.2. Concept et blocage de la feuille

Dans l'étude à priori nous avons détaillé le problème que les élèves doivent résoudre, celui du réglage de la hauteur du plateau. Nous pensons que s'ils appréhendent l'importance de ce réglage, ils peuvent comprendre le rôle joué par la hauteur du plateau dans la fabrication. La maîtrise de ce concept peut permettre la compréhension générale du système.

Le réglage se déduit du blocage ou non d'une feuille entre la buse et le plateau. Rappelons aussi que cette notion de blocage a été choisie car elle est sujette à l'appréciation du manipulateur. Derrière ce geste c'est un processus cognitif qui se met en place et c'est ce processus que nous tentons de cerner dans les discours entre élèves. Nous nous focalisons sur les termes relatifs à ce blocage dans les discours en qualifiant ces termes de mots clés pour notre étude.

On note que certains binômes se sont contentés d'une observation visuelle pour contrôler le blocage ou non de la feuille. Cette démarche est apparue comme suffisante. Nous discernons ici de quelle manière ce test a été pratiqué, soit en suivant la consigne et en tirant manuellement sur la feuille (codé : manuel) soit de manière moins formelle en regardant si la feuille était bloquée (codé : visuel).

AF 1 : manuel

NAF 1 : manuel

AF 2 : manuel

NAF 2 : manuel

AF 3 : visuel

NAF 3 : visuel

Ce résultat nous indique qu'ici, la différence se fait principalement par rapport au niveau scolaire des élèves. Seuls les élèves les plus faibles n'ont pas testé la feuille manuellement. Ce qui est plus surprenant est que le binôme AF3 a réussi avec succès l'impression, alors qu'ils opèrent un réglage visuel et que le binôme NAF2 manipule correctement, ils testent manuellement si la feuille est bloquée, mais échoue à la première fabrication. Pour les élèves la liaison entre le blocage de la feuille et la réussite de l'impression n'est pas aussi évidente qu'il y paraît. Comme nous l'avons dit lors de la conception de notre grille, ceci peut montrer que le résultat n'est pas l'indicateur le plus significatif pour évaluer la façon dont les élèves perçoivent le système. Si nous détaillons les discours à ce moment particulier où il faut retirer la feuille, nous avons les observations suivantes :

Binôme AF1 : là ça commence à bien bloquer

Binôme AF2 : ça touche – voilà c'est bon

Binôme AF3 : il faut tirer la feuille, oui c'est bloqué

Binôme NAF1 : elle est bloquée

Binôme NAF2 : oui j'arrive à la bouger – on l'enlève

Binôme NAF3 : elle y est pratiquement

Nous nous apercevons que pour les trois binômes AF et pour NAF1 le discours indique clairement que la feuille est bien bloquée. Pour les deux autres binômes, ce n'est pas le cas. Pour NAF2 c'est même la constatation inverse qui est faite, mais cela n'empêche pas les élèves de continuer.

Pour les quatre premiers binômes, la phase de réglage est donc importante, ils suivent la procédure et veulent se conformer à ce qui doit se faire. Ce n'est pas qu'une question de niveau scolaire des élèves puis les binômes NAF2 et NAF3 ont des résultats similaires à ceux de AF2 et AF3. Il y aurait donc bien un processus spécifique qui se mettrait en place et pousserait ces élèves dans une voie ou pour eux, le réglage de la hauteur du plateau à une importance certaine pour réussir la fabrication. Si le binôme NAF1 n'a pas suivi l'initiation à l'analyse fonctionnelle, nous rappelons qu'il s'agit d'élèves avec de bons résultats scolaires, cela expliquerait qu'ils saisissent l'importance d'effectuer le réglage correctement.

Ces résultats s'ils sont le fruit d'une analyse clinique externe sont en accord avec les résultats obtenus avec l'analyse quantitative. Ils nous permettent de supposer que l'initiation à l'outil FAST de l'analyse fonctionnelle a pu faire prendre conscience aux élèves que des interdépendances existent entre les différents composants d'un système

5.2.4. Description du système

Nous nous intéressons à la manière dont les élèves dans l'exercice final ont décrit l'imprimante 3D. Les résultats sont les suivants :

Repère élève	Type de description
Élève 1 AF1	Tentative FAST
Élève 2 AF1	Non FAST / texte
Élève 1 AF2	FAST
Élève 2 AF2	FAST
Élève 1 AF3	Tentative FAST
Élève 2 AF3	Non FAST / texte + dessin
Élève 1 NAF1	Texte + Schéma
Élève 2 NAF1	Blocs fonctionnels
Élève 1 NAF2	Dessin
Élève 2 NAF2	Texte
Élève 1 NAF3	Texte
Élève 2 NAF3	Texte

Tableau 29 : types de descriptions utilisées par les élèves pour décrire le système imprimante 3D après manipulation

Nous voyons que quatre des six élèves qui ont eu une initiation et ont utilisé le diagramme FAST n'hésitent pas à reproduire ce mode de représentation ou tout au moins une représentation approchante pour décrire un système. Nous pouvons nous demander ce qui a pu inciter les élèves à procéder ainsi. Est-ce le fait d'avoir manipulé la machine et donc de mieux cerner les différentes fonctionnalités et leurs relations ou le fait d'être dans une situation scolaire où les élèves savent qu'ils doivent reproduire ce qu'ils ont appris ?

Il faut tout d'abord remarquer que la restitution n'est pas toujours juste. Par exemple, comme le montre la figure suivante, un des élèves fractionne bien la description en trois colonnes, indique bien la fonction principale dans la première colonne de sa représentation et les solutions dans la dernière, mais propose « modèle théorique » à la place de « fonction technique ». Les fonctions qui sont décrites dans cette colonne sont très vagues et le rapport aux solutions indiquées n'est pas évident, mais les termes utilisés sont cependant significatifs des fonctions de l'imprimante 3D.

Nous retrouvons aussi des erreurs dans les représentations des autres élèves, par exemple les termes adéquats ne sont pas utilisés, fraise au lieu de buse, les colonnes fonctions et solutions sont inversées, plusieurs fonctions figurent dans un même bloc. Cette analyse montrerait qu'un début de prise de conscience de l'aspect fonctionnel se produit chez l'élève. Si ces élèves voulaient uniquement respecter la consigne et décrire le système, ils pourraient comme pour le test d'entrée, se passer de l'outil FAST. Même s'il ne maîtrise pas l'outil, ils s'essayeraient à l'utiliser et ils y voient certainement un avantage.

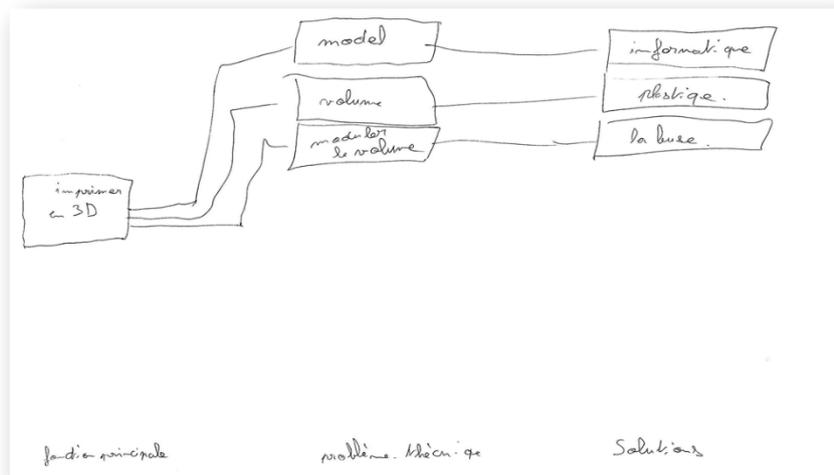


Figure 24 : représentation de l'imprimante 3D
phase 3 - élève 1 AF 1

Ceux qui n'ont pas été initiés à cet outil ne l'utilisent pas, ce qui est tout à fait logique. Seul un élève s'essaie à décrire le système à l'aide de blocs fonctionnels. On peut supposer qu'il a très certainement étudié ces représentations auparavant et qu'il a pu trouver utile de les utiliser dans ce contexte, nous notons aussi que c'est un élève qui a de bons résultats scolaires.

Même s'il est délicat avec ces données de répondre à la question que nous nous sommes posée sur l'importance de la situation scolaire, nous voyons que l'approche fonctionnelle est présente chez les élèves qui l'ont étudiée. Nous notons aussi que la maîtrise de l'outil FAST est très loin d'être parfaite. La formation à l'outil demande très certainement des pratiques plus soutenues, le protocole mis en place ne semble pas permettre d'acquérir toutes les connaissances nécessaires pour reproduire un diagramme FAST.

5.3. Liens avec le cadre théorique conclusion sur l'analyse fonctionnelle et les élèves

Lorsqu'ils n'ont pas étudié l'analyse fonctionnelle, les élèves semblent avoir la capacité de mémoriser les objets, mais plus difficilement les relations entre ces objets. Ils perçoivent alors un système comme un assemblage de composants. Ils ont des difficultés à saisir les liens qui peuvent exister entre ces composants. Les résultats montrent que les élèves qui recourent à l'analyse fonctionnelle sur l'imprimante 3D perçoivent la complexité du système et se centrent sur ce qui est important à résoudre. Ils isolent les paramètres et résolvent le problème. Ce n'est pas le cas chez les élèves qui ne recourent pas à l'analyse fonctionnelle.

Dans le cadre théorique, nous avons insisté sur la complexité du processus d'enseignement – apprentissage. Nous avons tenté de montrer que la genèse instrumentale est centrée sur un artefact. L'analyse fonctionnelle est bien un instrument que les élèves peuvent utiliser. L'instrumentalisation semble plus délicate à percevoir. Seuls les élèves ayant des difficultés scolaires s'emparent de cet instrument pour mettre en place une description d'un système orientée vers la fonctionnalité des différents composants. L'interfonctionnalité entre les composants est encore plus difficile à appréhender pour les élèves. Le manque de maîtrise de l'outil semble être un frein important à cette instrumentalisation. A contrario l'activité manipulatoire du système amène les élèves vers cette instrumentalisation. Cette activité manipulatoire est pour nous abordée par la résolution de problème. Nous notons aussi que si la phase d'instrumentation n'a pas lieu, les concepts liés à une approche systémique et fonctionnelle n'apparaissent pas chez les élèves. Et cela même si l'activité permet de manipuler le système.

6. Efficacité de l'analyse fonctionnelle lors de l'enseignement – apprentissage et conclusion

6.1. Résultats croisés

Jusqu'ici les résultats ont été analysés séparément, d'une part au travers de l'activité de l'enseignant, qui doit s'appuyer sur ses connaissances pour mettre en place une ingénierie pédagogique, et d'autre part au travers de l'activité de l'élève, développée pour apprendre. Mais cela ne signifie pas nécessairement que l'élève aura mis en place les structures mentales ou les concepts tels que les envisageait l'enseignant. C'est à ce niveau que nous pouvons tenter d'établir une corrélation entre ce que voulait l'enseignant, ou de manière plus générale l'institution, et les résultats des élèves.

L'enseignement – apprentissage inclut un lien entre ces deux activités. Pour trouver une adéquation entre les résultats du chapitre 4, l'activité enseignante et ceux du chapitre 5, l'activité élève, nous allons regarder les expressions qui assurent la continuité de la transmission des savoirs.

Les caractères, au sens de traits distinctifs, qui apparaissent au chapitre 4, résultats enseignants, sont les suivants :

- l'utilisation principalement pédagogique puis pragmatique de l'analyse fonctionnelle,
- la maîtrise nécessaire de l'outil,
- l'utilité de l'analyse fonctionnelle comme descriptif systémique et pas uniquement en conception de système, ce qui permet de structurer l'enseignement,
- la présentation originale de savoirs industriels qui rend l'apprentissage attractif de par sa référence au monde des ingénieurs,
- les rapports aux objets techniques et systèmes du quotidien qui sont rendus plus abordables et plus lisibles grâce à l'analyse fonctionnelle.

Les caractères qui apparaissent au chapitre 5, résultats élèves, sont les suivants :

- le bénéfice apportait aux élèves qui ont des résultats faibles ou moyens,
- le passage d'une description par éléments à une description globale,
- l'établissement des relations entre les différents éléments et des rapports de dépendances du système,
- la résolution d'un problème technique avec une position de concepteur,
- le temps nécessaire pour s'adapter à l'outil et changer ses habitudes.

La figure suivante replace, reclasse et synthétise les résultats précédents dans un processus temporel. C'est une image d'un cheminement de la transmission de l'analyse fonctionnelle vers l'élève. L'axe principal de transmission (flèches pleines) passe par l'enseignant, chez l'enseignant et l'élève les étapes se mettent en place en se superposant dans un ordre donné (flèches internes fines).

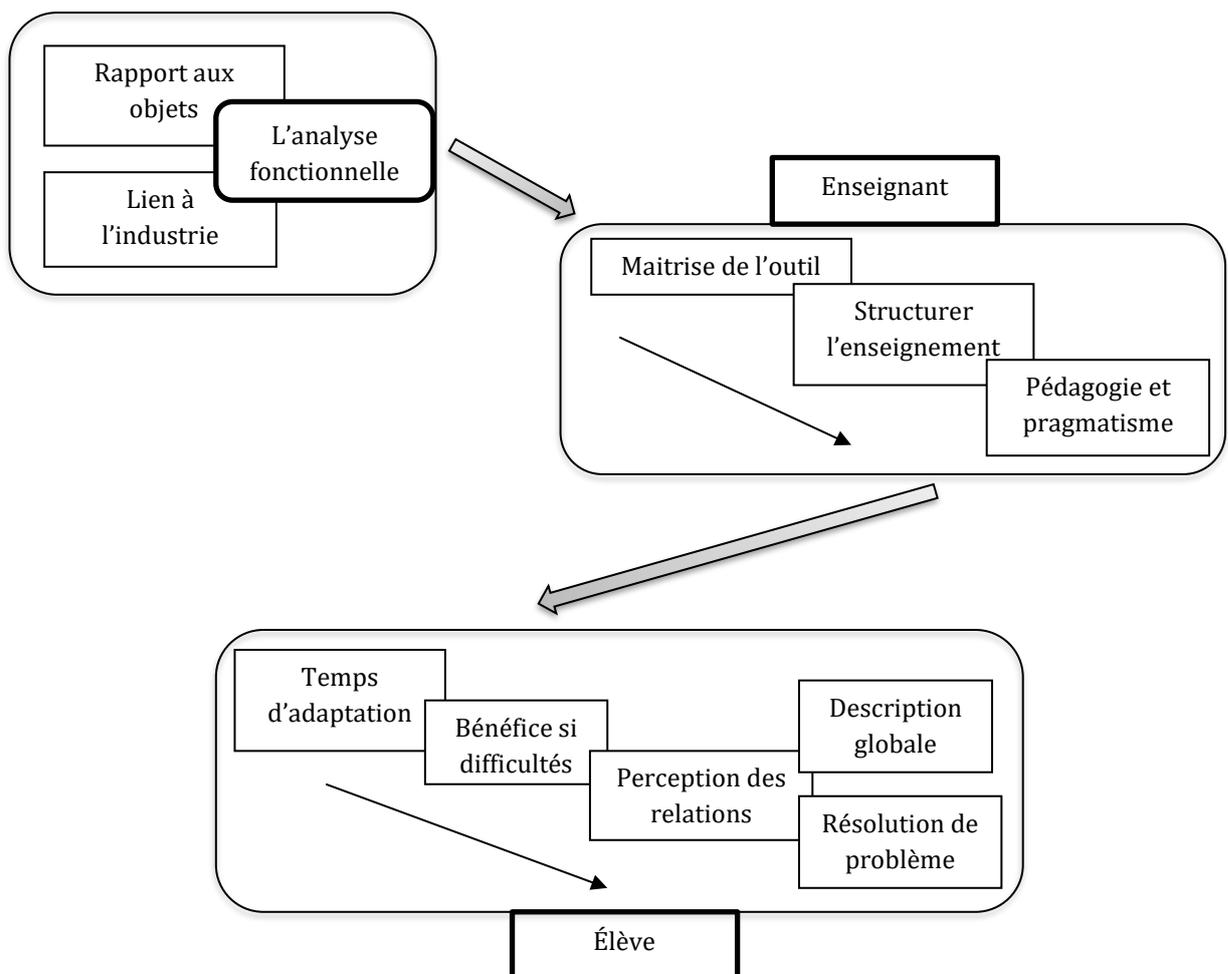


Figure 25 : caractères de l'analyse fonctionnelle attachés aux enseignants et aux élèves

Une grande partie des enseignants de technologie s'emparent de l'analyse fonctionnelle. Tous ne déclarent pas la maîtriser totalement, mais cela ne les empêche pas de l'utiliser dans des modalités d'études ou de conceptions de systèmes. Pour eux, avec majoritairement une approche pédagogique et une stratégie pragmatique, l'enseignement de l'analyse fonctionnelle peut être efficace pour les élèves. Le résultat est visible dans l'activité de certains élèves. Les élèves les plus impactés sont ceux qui ont des difficultés scolaires. Ils peuvent alors décrire un système de manière globale, cela peut aussi dans certains cas les aider à résoudre des problèmes techniques.

Les résultats retranscrits ici le sont dans un cadre particulier avec une démarche spécifique. Certaines contraintes sont apparues et d'autres approches peuvent venir compléter ces travaux. C'est cet aspect qui est abordé.

6.2. Les limites de la recherche

Notre étude s'est voulue exhaustive. Nous avons cherché à aborder divers aspects des processus d'enseignement et d'apprentissage. De fait la méthodologie qui a été mise en œuvre peut sur certains points faire l'objet d'approfondissements afin de confirmer les axes développés voire en explorer de nouveaux.

C'est notamment le cas de l'aspect cognitif. Sur ce plan, nous avons tenté de mettre en évidence des rapports entre connaissances et actions. Les structures qui se mettent en place aussi bien chez les enseignants que chez les élèves sont délicates à détecter. Ce point demande un approfondissement certain qui peut se faire par exemple par une exploitation plus fine des expérimentations élèves. Les deux entretiens avec les enseignants s'ils ont permis une première approche, restent cependant une analyse de cas isolés qui reste à confirmer et demanderait une généralisation. Cerner ces structures cognitives serait un apport à la compréhension de l'apprentissage en éducation technologique en permettant de mieux cibler l'enseignement nécessaire. C'est une voie qui reste à l'heure actuelle assez peu explorée et pleine de promesses. Dans le même axe, la connaissance des habitudes et pratiques des élèves en dehors du contexte scolaire jouent très certainement un rôle qui n'a pas été abordé ici.

De la même manière, les interactions directes entre enseignants et élèves n'ont pas été étudiées. C'est dans ce cas toute une étude complémentaire qui peut être effectuée. En effet le rôle joué par ces interactions qui peuvent réguler l'activité de l'élève apparaît comme une entrée possible et essentielle dans la compréhension des processus d'enseignement – apprentissage. On peut toutefois noter que l'observation directe de l'activité de l'enseignant en classe implique de prendre en compte de nouvelles variables propres aux individus, se dégager de ces variables peut aussi présenter des avantages en rendant les observations moins tributaires de certains facteurs humains.

Pour rester sur ce problème structurel, nous remarquons que la simple initiation à un outil spécifique de l'analyse fonctionnelle permet d'obtenir les tendances présentes dans nos résultats. Une reproduction des expérimentations identiques ou introduisant d'autres outils, voire la mise en place de séquences plus longues doivent être envisagées pour confirmer ces tendances.

6.3. Conclusion et perspectives

La capacité à produire un résultat correspond ici à la notion d'efficacité explicitée au paragraphe 1.4.1. En complément à l'efficacité, toujours au paragraphe 1.4.1 nous avons introduit l'efficience, qui prend en compte la consommation des ressources. Pour les outils spécifiques de l'analyse fonctionnelle, cette consommation est loin d'être optimale. Tant du point de vue de la généralisation à tous les élèves que de son utilisation par certaines catégories d'élèves et par les enseignants. Un peu plus de la moitié des élèves initiés réinvestissent l'outil, et tous les enseignants ne le maîtrisent pas.

Si l'efficience ne semble pas optimum, l'analyse fonctionnelle apparaît bien comme un moyen efficace à la fois pour les enseignants et pour les élèves sur deux niveaux. Pour l'enseignant c'est l'instrument qui va lui permettre à la fois de structurer le savoir et de transmettre des connaissances. Pour l'élève se sera une approche systémique accessible qui doit lui apporter des compétences spécifiques qu'il pourra réinvestir.

Ces constatations ramenées aux hypothèses posées prennent la forme suivante :

- notre première hypothèse présente l'analyse fonctionnelle comme un instrument utilisé par les enseignants de technologie et qui conduit les élèves vers une compréhension de la complexité des systèmes techniques. En première approche cette hypothèse semble satisfaite. Mais cette affirmation reste nuancée. L'utilisation par les enseignants est effectivement répandue, mais ils ont cependant un certain mal à se déclarer très compétents sur ce sujet. Quand ils l'utilisent, cela dépend principalement de leur formation universitaire, ils mettent en avant le lien avec l'industrie et l'aspect attractif qu'y trouvent les élèves. Certes le bénéfice qu'en tirent les élèves est bien celui mentionné, mais l'enseignement est loin de prendre en compte l'ensemble des élèves. Sur l'expérimentation effectuée, cela concerne un peu plus de la moitié des élèves. Certains groupes d'élèves, moins performants scolairement, sont plus réceptifs et réinvestissent ce qui est enseigné, mais ce n'est pas le cas de tous.
- la seconde hypothèse précise que l'analyse fonctionnelle référence les savoirs et permet d'organiser les enseignements. La référence aux savoirs est bien présente, mais du fait même de la limite apparue à la première hypothèse sur la

maitrise de l'outil, les savoirs référencés ne font pas l'unanimité et ne sont pas instaurés de manière pérenne. Les enseignants sont très partagés sur l'organisation des enseignements qui doit résulter avec l'utilisation de l'analyse fonctionnelle et c'est le système qui reste au centre de leurs préoccupations. Seul un quart des enseignants interrogés pose l'analyse fonctionnelle en tant que structure de base dans leurs enseignements. Alors que près de 80 % pensent qu'elle est plus ou moins indispensable pour étudier un système. Nos résultats montreraient alors que l'organisation se fait de manière inconsciente pour la majorité des enseignants.

Peu d'alternatives qui permettraient aux élèves d'assimiler ces mêmes connaissances systémiques sont apparues au cours de ces travaux. Une approche analytique et un guidage pour acquérir le niveau utilisateur d'un système technique peuvent paraître suffisants, il nous apparaît cependant comme évident qu'il faut dépasser cette vision simpliste. Pour le citoyen commun, à des niveaux moins courants qu'une banale utilisation d'un objet comme par exemple la réparation ou la conception, voire l'achat, des décisions doivent être prises, des approches fonctionnelles doivent alors être mises en pratique. Les résultats confirment qu'il ne suffit pas que les élèves manipulent pour qu'une approche fonctionnelle et systémique soit développée. Le simple fait de démonter ou remonter un objet technique ne permet pas forcément de comprendre son fonctionnement ou les interactions qui peuvent exister entre ses différents éléments. Du point de vue des enseignants, actuellement si l'analyse fonctionnelle n'est pas utilisée, pour apprendre aux élèves à « réfléchir » sur un système on cherche à l'expliquer en détaillant les fonctions ou les composants de ce système. Cela va à l'encontre de l'approche systémique que l'on voudrait mettre en place.

Penser de manière systémique est une activité complexe et son enseignement tout comme son apprentissage sont spécifiques. C'est en priorité au niveau de l'enseignement technologique que doit se faire ce travail. À l'heure actuelle, ces apprentissages avec une méthode systémique ne sont véritablement mis en pratique que dans l'enseignement supérieur et dans le cadre d'études orientées vers le domaine technique. Il est certes important que les futurs concepteurs de nos systèmes techniques prennent en compte toutes les dimensions des objets qui nous entourent, mais les utilisateurs, consommateurs, réparateurs auront nécessairement des décisions à prendre face à des interfaces fonctionnelles associées aux systèmes. L'apprentissage doit être progressif, c'est certainement une des données dont l'absence fait aujourd'hui défaut et qui pénalise l'efficacité de l'apprentissage.

Cette étude menée à partir des pratiques déclarées par les enseignants et effectives pour des élèves en classe vient enrichir la panoplie de recherches en éducation technologique sur la problématique de séparation à la référence industrielle. Ainsi se pose la question de la légitimité et de l'existence de cet enseignement, mais aussi celle de la formation des enseignants dans ce domaine. Les perspectives concernent donc ce qui se fait en éducation technologique et de quelles manières les apprentissages sont

envisagés ou envisageables par exemple dans le cadre d'une culture scientifique et technologique industrielle (CSTI). Les nouveaux programmes mis en place à la rentrée 2016 vont dans le sens d'une intégration de la technologie à un pôle sciences. Cette intégration se fait au sein de ce que l'éducation nationale regroupe sous le terme d'enseignement intégré des sciences et technologie. La technologie doit être comprise comme une science contemporaine. C'est une science dans le sens où elle s'appuie sur des savoirs. Les divers éléments présentés, charge cognitive, transposition, activités, savoirs, sont autant de facteurs qui peuvent être sujets à discussion, mais au final c'est donc la place de l'éducation technologique et son contenu qui sont d'après nous les points à préciser.

Bibliographie

- Afeissa, H.-S. (2014). *Gilbert Simondon et la libération par les techniques*. <http://www.slate.fr/tribune/85761/gilbert-simondon-liberation-par-les-techniques>
- Agostinelli, S. (1994). *La régulation interactive dans un environnement d'apprentissage informatisé : une expérience en physique*. Thèse de doctorat. Université de Provence.
- Aïm, R. (2013). *L'essentiel de la théorie des organisations 2013*. Paris : Gualino éditeur.
- Akrich, M. (1987). Comment décrire les objets techniques ? *Techniques & Culture*, 49–64.
- Altet, M. (1994). Comment interagissent enseignant et élèves en classe ? *Revue française de pédagogie*, 107(1), 123-139.
- Amigues, R. (2003). Pour une approche ergonomique de l'activité enseignante. *Skholê, hors-série, 1*, 5–16.
- Anderson, C. & Le Séac'h, M. (2012). *Maker : la nouvelle révolution industrielle*. Paris : Pearson.
- Andreucci, C. & Chatoney, M. (2006). La dévolution en situation ordinaire : étude d'une séance de technologie à l'école primaire, *Revue des sciences de l'éducation*, 32 (3), 711-731.
- Andreucci, C., Froment, J.-P. & Verillon, P. (1996). Contribution à l'analyse des situations d'enseignement/apprentissage d'instruments sémiotiques de communication technique. *Aster*, 23, 181-211.
- Astolfi, J. P. (2008). *La saveur des savoirs : disciplines et plaisir d'apprendre*. Issy-les-Moulineaux : ESF.
- Astolfi, J. P. (2011). *L'erreur, un outil pour enseigner*. Issy-les-Moulineaux : ESF.
- Astolfi, J. P., Peterfalvi, B. & Vérin, A. (2006). *Comment les enfants apprennent les sciences ?* Paris : Retz.
- Audry, F. (2010). Analyse fonctionnelle guide pour le professeur.
- Bandura, A. (1986). *L'apprentissage social*. Bruxelles : Mardaga.
- Bandura, A. (1993). Perceived self-efficacy in cognitive development and functioning. *Educational psychologist*, 28(2), 117-148.
- Bandura, A. (1999). Social cognitive theory: An agentic perspective. *Asian Journal of Social Psychology*, 21–41.

- Bandura, A., & Lecomte, J. (2007). *Auto-efficacité : le sentiment d'efficacité personnelle*. Bruxelles: De Boeck.
- Barak, M. (2013). Teaching engineering and technology: cognitive, knowledge and problem-solving taxonomies. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 11(3), 316-333.
- Barnier, G. (s. d.). Théorie de l'apprentissage et pratiques d'enseignement. http://www.ac-nice.fr/iencagnes/file/peda/general/Theories_apprentissage.pdf
- Béguin, P. & Clot, Y. (2004). L'action située dans le développement de l'activité. *Activités, revue électronique*, 1(2), 35-49.
- Berchon, M., & Luyt, B. (2013). *L'impression 3D*. Paris : Eyrolles.
- Bertin, J. (1999). *Sémiologie graphique les diagrammes, les réseaux, les cartes*. Paris : Ed. de l'EHESS.
- Bessen, J. (2015). *Learning by doing: the real connection between innovation, wages, and wealth*. New Haven: Yale University Press.
- Blanchet, A. & Gotman, A. (2015). *L'entretien*. Paris : Armand Colin.
- Bohler, S. (2015). Cerveau : ils percent le secret le mieux gardé de l'humanité. *ARTE 28mn*.
- Boilevin, J. M. & Brandt-Pomares, P. (2007). *Intégration d'ordinateurs portables dans l'organisation de l'étude en physique et en technologie*. AREF 2007, Strasbourg.
- Brandt-Pomares, P. (2003). *Les nouvelles technologies de l'information et de la communication dans les enseignements technologiques De l'organisation des savoirs aux conditions d'étude : didactique de la consultation d'information*. Université de Provence.
- Brandt-Pomares, P. (2013). *Les technologies de l'information et de la communication en didactique de l'éducation technologique*. HDR. Aix-Marseille : Université de Provence.
- Bransford, J. D., Brown, A. L., Cocking, R. R., & others. (2000). *How people learn*. Washington DC: National Academy Press.
- Brousseau, G. & Balacheff, N. (1998). *Théorie des situations didactiques : didactique des mathématiques 1970-1990*. Grenoble : La Pensée sauvage.
- Bruner, J. S. (1966). *Toward a theory of instruction*. Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard University Press.
- Bruner, J. S. (1983). *Le développement de l'enfant : savoir faire, savoir dire (1966)*. Paris : Presses universitaires de France.
- Bruner, J. S. (2008). *Culture et modes de pensée : l'esprit humain dans ses œuvres*. Paris : Retz.
- Bulea Bronckart, E. & Bronckart, J.-P. (2010). Les conditions d'exploitation de l'analyse des pratiques pour la formation des enseignants. *Linguarum Arena*, 1(1), 43-60.

- Cambien, A. & al. (2008). *Une introduction à l'approche systémique : appréhender la complexité*. http://lara.inist.fr/bitstream/handle/2332/1431/CERTU-RE_08-09.pdf?sequence=1
- Charnay, R. (2003). L'analyse à priori, un outil pour l'enseignant. *Troisième volume des actes des rencontres sur le Rallye Mathématique Transalpin*, 3(209), 63-64.
- Chatoney, M. (2003). *Construction du concept de matériau dans l'enseignement des « sciences et technologie » à l'école primaire : perspectives curriculaires et didactiques*. Thèse de doctorat. Aix Marseille : Université de Provence.
- Chatoney, M. (2005). Organiser des activités de production à l'école primaire sélectionner des matériaux avec des élèves de 6 ans. *Aster*, 41, 41, 247).
- Chatoney, M. (2013). *Etudier, concevoir, fabriquer et utiliser des artefacts techniques*. HDR. Aix Marseille : Université de Provence.
- Chevallard, Y. (1998). Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques : l'approche anthropologique. *Actes de l'École d'été de la Rochelle*, 91-118.
- Chevallard, Y. & Johsua, M. A. (1991). *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : la Pensée sauvage.
- Choppin, A. (2005). L'édition scolaire française et ses contraintes : une perspective historique. *L'édition scolaire française et ses contraintes : une perspective historique*. Caen : Scérén-CRDP Basse-Normandie.
- Clanet, J. (2013). L'efficacité enseignante, quelle modélisation pour servir cette ambition ? *Questions Vives. Recherches en éducation*, 6, 18.
- Clot, Y. (2006). *La fonction psychologique du travail*. Paris : Presses universitaires de France.
- Collet, G. (2003). Le phénomène de superposition d'une notion en langue et d'un concept scientifique. P. Bacot & S. Rémi-Giraud (Éd.), *La polysémie ou l'empire des sens : lexique, discours, représentations*. Lyon : Presses Univ.
- Crahay, M. (2015). *Psychologie de l'éducation*. Paris : Presses universitaires de France.
- de Rosnay, J. (1977). *Le Macroscopie : vers une vision globale*. Paris : Éditions du Seuil.
- de Vries, M. J. (2011). *Positioning technology education in the curriculum*. Rotterdam : Sense.
- Deforge, Y. (1993). *De l'éducation technologique à la culture technique : Pour une maîtrise sociale de la technique*. Paris : ESF.
- Descamps, F. (2011). *L'historien, l'archiviste et le magnétophone : De la constitution de la source orale à son exploitation*. Vincennes : Institut de la gestion publique et du développement économique.

- Develay, M. (2015). Réforme du collège : un nouveau rôle pour l'enseignant. *Les Cahiers pédagogiques*. <http://www.cahiers-pedagogiques.com/Reforme-du-college-un-nouveau-role-pour-l-enseignant>
- Donnadieu, G. & al. (2003). *L'Approche systémique : de quoi s'agit-il ?* <http://www.afscet.asso.fr/SystemicApproach.pdf>
- Dortier, J.-F., & others. (2011). *Le cerveau et la pensée : le nouvel âge des sciences cognitives*. Paris : Sciences Humaines.
- Dumay, X. & Dupriez, V. (2009). *L'efficacité dans l'enseignement : promesses et zones d'ombre*. Bruxelles : De Boeck.
- Dumontet, F. (2012). Etre un bon prof? Pas si simple. *Le Monde.fr*. http://www.lemonde.fr/culture/article/2012/09/06/etre-un-bon-prof-pas-si-simple_1756737_3246.html
- Duval, R. (1991). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 5, 37-65.
- Duval, R. (1996). Quel cognitif retenir en didactique des mathématiques? *RDM*, 16,3, 349-382.
- Duval, R. (2007). La conversion des représentations : un des deux processus fondamentaux de la pensée. In *Du mot au concept : conversion* (Vol. 2). Grenoble : Presses universitaires de Grenoble.
- Engeström, Y. (1987). *Learning-by-Expanding*. Helsinki: Orienta-Konsultit
- Espinas, A. (1897). *Les origines de la technologie : étude sociologique*. Paris : France.
- Favre, D., & Lenoir, Y. (2015). *La didactique entre simplification et prise en compte de la complexité*.
- Fong, P. S., & Lam, L. (1998). What do value practitioners think about value methodology? *SAVE Conference Proceedings*. http://www.value-eng.org/pdf_docs/conference_proceedings/1998/9824.PDF
- Fournier, M. (2011). *Éduquer et former : connaissances et débats en éducation et formation*. Auxerre : Ed. Sciences humaines.
- Ginestié, J. (2000). *Contribution à la constitution de faits didactiques en éducation technologique : curriculum vitae et publications*, HDR, Aix Marseille : Université de Provence.
- Ginestié, J. (2005). Résolutions de problèmes en éducation technologique. *Éducation technologique*, 28, 23-34.
- Ginestié, J. (2008). Concepts pour une éducation technologique en France. In *Allgemeine Technologie und Technische Bildung* (E. Hartmann & W. Theuerkauf, p. 107-125). Frankfurt am Main : Peter Lang.

- Ginestié, J. (2011, avril). *Quelques petites choses sur le processus d'enseignement-apprentissage*. Présenté à Conférence-Fondements-de-didactique, Lyon.
- Ginestié, J., & Tricot, A. (2013). *Activité d'élèves, activité d'enseignants en éducation scientifique et technologique*. Lyon : Éditions de l'École normale supérieure de Lyon.
- Goffard, M., & Goffard, S. (2003). Interactions entre élèves et résolution de problèmes. *Aster « Interactions langagières. Partie 1 », 37.*
- Graube, G., Dyrenfurth, M. J., & Theuerkauf, W. E. (2003). *Technology Education: International Concepts and Perspectives*. Frankfurt am Main: Peter Lang Pub Incorporated.
- Grison, E. (1996). *L'étonnant parcours du républicain JH Hassenfratz (1755-1827) : du faubourg Montmartre au Corps des Mines*. Paris : Presses des Mines.
- Groux, D., & Chnane-Davin, F. (2009). *Méthodologie de la comparaison en éducation*. Paris : Harmattan.
- Hamon, C. (2009). Graphismes techniques : tâches, nature et causes des difficultés des apprenants. *Aster*, 48.
- Hoc, J.-M. (1999). Conditions et enjeux de la coopération homme-machine dans le cadre de la fiabilité des systèmes. In *Sécurité et cognition* (J.G. Ganascia, p. 147-164). Paris : Hermès.
- Host, V. (1989). Systèmes et modèles : quelques repères bibliographiques. *Aster*,8.
- Howard, R. A. (2007). The Foundations of Decision Analysis Revisited. In *Advances in Decision Analysis*. New York: Cambridge University Press.
- Hunter, K. & Kelly. (2007). efficiency in vm/ve studies and the pressure for shorter workshops. *value world*, 30,1.
- Johsua, S. & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : PUF.
- Kambouchner, D., Meirieu, P., Stiegler, B., Gautier, J., & Vergne, G. (2012). *L'école, le numérique et la société qui vient* . Paris : Mille et une nuits.
- Laisney, P. (2012). *Intermédiaires graphiques et conception assistée par ordinateur*. Thèse de doctorat. Aix Marseille : Université de Provence.
- Lavergne, B., & Lavergne, M. (2014). *L'imprimante 3D une révolution en marche*. Lausanne : Favre.
- Le Moigne, J. L. (1999). *La modélisation des systèmes complexes*. Paris : Dunod.
- Lebahar, J.-C. (2001). Approche didactique de l'enseignement du projet en architecture : étude comparative de deux cas. *Didaskalia*, 19, 39- 77
- Lebahar, J.-C. (2006). Pratique professionnelle et enseignement de la technique d'organigramme en architecture : problèmes de transposition didactique.

- Lebeaume, J. (2012). *perspectives-curriculaires-de-leducation-technologiques-2012-uer-agirs-hep-vaud.pdf*. Présenté à Colloque Sociologie et didactiques, HEP Vaud.
- Leontiev, A. N. (1984). *Activité, conscience, personnalité*. (G. Dupond & G. Molinier, Trad.) (Vol. 1-1). Moscou, Russie : Editions du Progrès.
- Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail : Contribution à la psychologie ergonomique* (Vol. 1-1). Paris, France : Presses universitaires de France.
- Leplat, J., & Pahlous, J. (1977). La description de la tâche : statut et rôle de la résolution de problème. *Bulletin de Psychologie*, 332, 149- 156
- Leroi-Gourhan, A. (1964). *Le geste et la parole*. Paris : Albin Michel.
- Leroux, P. (2009). *Apprendre et enseigner la technologie par la robotique et l'informatique*. Québec : Éditions MultiMondes.
- Lessard, C., & Meirieu, P. (Éd.). (2005). *L'obligation de résultats en éducation: évolutions, perspectives et enjeux internationaux*. Bruxelles : De Boeck.
- Linard, M. (2001). Concevoir des environnements pour apprendre : l'activité humaine, cadre organisate ur de l'interactivité technique. *Sciences et techniques éducatives*, 8(3-4), 211-238.
- Lipson, H., Kurman, M., & Rozenbaum, M. (2014). *L'impression 3D la prochaine révolution industrielle*. Paris : First interactive.
- Martinand, J. L. (1983). Questions pour la recherche : la référence et le possible dans les activités scientifiques scolaires. In *Recherche en didactique de la physique : les actes du premier atelier international*. (Edition du CNRS, p. 227-249). Paris : G. Delacôte & A. Tiberghien (coord.).
- Martinand, J. L. (s. d.). Introduction à la modélisation.
- Martinand, J.-L. (2003). La question de la réfèrence en didactique du curriculum. *Investigações em Ensino de Ciências*, 8(2), 125-130.
- MEN. (2008a). BO spécial n°6 du 28 août 2008.
- MEN. (2008b). Programmes de l'enseignement de technologie.
- MEN. (2009). Ressources pour faire la classe en 6ème, 5ème, 4ème et 3ème.
- MEN. (2015). Projet de programmes pour les cycles 2, 3 et 4.
- Merton, R. K. & others. (1968). The Matthew effect in science. *Science*, 159,3810, 56-63.
- Mezui M'Obiang, S. (2013). *Les gestes professionnels, entre savoirs scolaires formalisés et savoirs d'expérience dans la formation des enseignants de maintenance des systèmes motorisés au Gabon*.Thèse de doctorat. Aix - Marseille, AMU.
- Musial, M., Pradère, F., & Tricot, A. (2012). *Comment concevoir un enseignement?* Bruxelles: De Boeck.
- Olivier, M., & Leleux, jean-P. (2014). *Rapport provisoire CSTI*. Assemblée nationale.

- Pastré, P., Mayen, P., & Vergnaud, G. (2006). La didactique professionnelle : note de synthèse. *Revue française de pédagogie*, 154, 145–198.
- Perrenoud, P. (1998). La transposition didactique à partir de pratiques : des savoirs aux compétences. *Revue des sciences de l'éducation*, 24, 3, 487-514.
- Perrenoud, P. (2004). *Métier d'élève et sens du travail scolaire*. Paris : ESF.
- Perruchet, P., Vinter, A., & Pacton, S. (2007). La conscience auto-organisatrice : Une alternative au modèle dominant de la psychologie cognitive. *Éducation et didactique*, 1(3), 105–116.
- Plé, E. (2012). *Des intentions à l'utilisation : les manuels scolaires en sciences et technologie à l'école élémentaire*. ENS de Lyon.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies : approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : A. Colin.
- Rabardel, P., & Pastré, P. (2005). *Modèles du sujet pour la conception : dialectiques, activités, développement*. Toulouse : Octarès.
- Rak, I., Teixido, C., Cazenau, M., & Favier, J. (1992). *La démarche de projet industriel : technologie et pédagogie* (Vol. 1–1). Paris, France: les Ed. Foucher.
- Renkl, A. (1997). Learning from worked-out examples: A study on individual differences. *Cognitive science*, 21(1), 1–29.
- Rézeau, J. (2002). Médiation, médiatisation et instruments d'enseignement : du triangle au « carré pédagogique ». *Asp. La revue du GERAS*, (35-36), 183-200.
- Rogalski, J. (2000). Approche de psychologie ergonomique de l'activité de l'enseignant. In *Actes du XXVI^e colloque COPIRELEM* (p. 45–66).
- Saint-Georges, M. (2001). L'analyse des dialogues de classe : un outil pour une formation didactique des professeurs de sciences. « *Didactique et formation des enseignants. Des recherches en didactique des sciences à la formation des enseignants : quels liens, quelles interactions ?* ». *Aster*, 2001, 32
- Scaravetti, D. (2004). *Formalisation préalable d'un problème de conception pour l'aide à la décision en conception préliminaire*. Thèse de doctorat. ENSAM : Bordeaux.
- Sensevy, G. (2008). Le travail du professeur pour la théorie de l'action conjointe en didactique. *Recherche & formation*, 1.
- Sensevy, G. (2011). *Le sens du savoir : éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. Bruxelles: De Boeck.
- Simon, H. A. (1996). *Models of my life* (1st MIT Press ed). Cambridge, Mass: MIT Press.
- Simondon, G. (2012). *Du mode d'existence des objets techniques*. Paris : Aubier.
- Söderberg, J. (2013). Illusoire émancipation par la technologie. *Le Monde Diplomatique*. <https://www.monde-diplomatique.fr/2013/01/SODERBERG/48629>

- Szowiecky, S. (2012). *Évaluation et conception d'un langage symbolique pour l'intelligence collective : Vers un langage allégorique pour le Web*. Thèse de doctorat. Université Paris VIII : Vincennes-Saint Denis.
- Talbot, L. (2013). Les recherches sur les pratiques enseignantes efficaces. *Questions Vives. Recherches en éducation*, 6, 18.
- Tesnière, L., & Fourquet, J. (1988). *Éléments de syntaxe structurale*. Paris : Klincksieck.
- Tiberghien, A., & Malkoun, L. (2007). Différenciation des pratiques d'enseignement et acquisitions des élèves du point de vue du savoir. *Éducation et didactique*, 1, 1, 29-54.
- Tricot, A. (2004). Guidages, apprentissages et documents. *NEQ-Notions en Questions*, 8.
- Trouche, L. (2003). *Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques : nécessité des orchestrations*. HDR. Université de Paris VII : Paris.
- Trouche, L. (2007). *Environnements informatisés d'apprentissage : quelle assistance didactique pour la construction des instruments mathématiques ?* Bruxelles : De Boeck.
- Trouche, L. (2009). *Penser la gestion didactique des artefacts pour faire et faire faire des mathématiques : histoire d'un cheminement de recherche*. http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/recherche/approche_documentaire/educateur2009-ltv3.pdf
- VanDerMaren, J.-M. (1996). *Méthodes de recherche pour l'éducation* (2. éd). Paris : De Boeck Université.
- Venturini, P. (2012). Action, activité, « agir » conjoints en didactique : discussion théorique. *Education & didactique*, 6, 127-136.
- Vergnaud, G. (1991). *La théorie des champs conceptuels*. Paris : la pensée sauvage.
- Vergnaud, G. (2003). La conceptualisation, clef de voûte des rapports entre pratique et théorie. In *Actes de la DESCO. CRDP de l'Académie de Versailles*, 48-57.
- Vergnaud, G. (2007). Représentation et activité : deux concepts étroitement associés. *Recherches en Education*, 4, 9-22.
- Vérillon, P. (1996). Approches psychologiques et didactiques en technologie : l'exemple du dessin technique. *Aster*, 22.
- Verillon, P. & Rabardel, P. (1995). Cognition and artifacts: A contribution to the study of thought in relation to instrumented activity. *European Journal of Psychology of Education*, 10(1), 77-101.
- Vérin, A. (1988). Apprendre à écrire pour apprendre les sciences. *Aster*, 6.
- Vernat, Y. (2004). *Formalisation et qualification de modèles par contraintes en conception préliminaire*. Arts et Métiers : ParisTech.

- Viard, J. (2002). De l'intérêt de respecter la spécificité des disciplines scientifiques et technologiques dans l'enseignement. Le cas de la conduction électrique. *Didaskalia*, 20.
- Viau, R. (2009). *La motivation en contexte scolaire* (2. éd). Bruxelles: De Boeck.
- von Bertalanffy, L. (1973). *Théorie générale des systèmes*, Paris : Dunod.
- Vygotski, L. S. (1997). *Pensée et langage*. (F. Sève, Trad.) (Vol. 1-1). Paris : la Dispute.
- Weisser, M. (2005). Collaboration dans la classe et collaboration virtuelle. In J.F. Marcel & Th. Piot (Eds.). *Dans la classe, hors de la classe. L'évolution de l'espace professionnel des enseignants*, 175-190. Paris : INRP.
- Winykamen, F. (1990). *Apprendre en imitant ?* Paris : Presses universitaires de France.
- Zehtaban, L. & Roller, D. (2012). Systematic Functional Analysis Methods for Design Retrieval and Documentation. *International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering*, 6, 12.

ANNEXES

Annexe 1 :

quelques outils de l'analyse fonctionnelle

SADT

Structured Analysis and Design Technique (Analyse structurée et technique de conception). Démarche systémique qui crée une décomposition fonctionnelle descendante et qui permet à l'aide de représentations graphiques par blocs de décrire des systèmes complexes.

APTE

APTE est un nom déposé (**A**pplication aux **T**echniques d'**E**ntreprise). Cette méthode est utilisée pour analyser les besoins et identifier les fonctions de service d'un produit.

FAST

Functional Analysis System Technique (Technique d'analyse fonctionnelle systématique). Outil graphique de description fonctionnelle. Le diagramme final permet d'avoir une vision globale d'un produit complexe.

CDCF

Cahier des charges fonctionnel. Il récapitule les fonctions de besoin du produit issues de l'analyse fonctionnelle. C'est un document contractuel final qui est destiné au client, il sert de référence aux différents intervenants qui doivent s'accorder sur son contenu. Il est défini par la norme NFX 50-151

Annexe 2 : questionnaire enseignant

Questionnaire enseignant (recherche ADEF/Gestepro/FG)

Ce questionnaire contribue à la recherche en éducation et technologie dans le cadre de l'équipe Gestepro du laboratoire ADEF de l'université d'Aix-Marseille.

Répondre aux questions ne devrait vous prendre que quelques minutes.
Entourez votre réponse (ou effacez les autres) et complétez les pointillés.

1. Nom et prénom (facultatif) :

.....

2. E-mail (facultatif) :

.....

3. Sexe : Homme Femme

4. Quel est votre âge ?

5. Quelles sont les classes dans lesquelles vous enseignez ?

6^e 5^e 4^e 3^e Autre :

6. Quel est votre statut ?

Contractuel Certifié PEGC Autre :

7. Si vous êtes PEGC quelle est votre discipline d'origine ?.....

8. Quelle est la durée de votre expérience en tant qu'enseignant ?

Moins de 3 ans Entre 3 et 8 ans Entre 9 et 14 ans Plus de 14 ans

9. Quel est votre niveau de formation universitaire ?.....

10. Dans quelle(s) discipline(s) avez-vous effectué votre formation universitaire ?

.....

11. Évaluez votre maîtrise de l'analyse fonctionnelle
de 0 (je ne maîtrise pas du tout) à 5 (je maîtrise parfaitement) ?

0 1 2 3 4 5

Avant d'enseigner connaissiez-vous les outils suivants ?

12. Le "diagramme bête à cornes" ? oui non

13. Le "diagramme pieuvre " ? oui non

14. Le "cahier des charges fonctionnel" ? oui non

15. Le "diagramme FAST" ? oui non

16. Si vous connaissiez ces outils, où en avez-vous eu connaissance ?

En formation universitaire En entreprise Autre :

17. Avez-vous recours à l'analyse fonctionnelle en classe ?

oui non (passez à la question 21)

18. Si oui dans quel(s) niveau(x) de classe ?

6^e 5^e 4^e 3^e Autre :

19. Dans quelle situation recourez-vous à l'analyse fonctionnelle ?

Plutôt en situation de conception

Plutôt en situation d'analyse

Autre :

20. Comment mettez-vous en œuvre l'analyse fonctionnelle en classe ?

J'explique l'outil et ensuite je demande aux élèves de faire une analyse avec cet outil.

J'analyse un système avec l'outil pour que les élèves comprennent le système.

J'analyse un système avec l'outil pour que les élèves comprennent le système et l'outil.

Autre :

.....

21. Est-ce que l'analyse d'un système peut se concevoir sans l'analyse fonctionnelle ?

Pourquoi ? (Expliquer en 10 lignes maximum).

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

.....
.....
.....
.....
.....

22. Utilisez-vous d'autres outils identiques à, ou issus de, l'analyse fonctionnelle ?

oui non

23. Si oui : quels sont ces outils ?

.....

24. Avez-vous d'autres observations concernant votre utilisation de l'analyse fonctionnelle dans vos enseignements à nous communiquer ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Merci pour votre participation.

Annexe 3 :

documents présentés aux enseignants

Document A

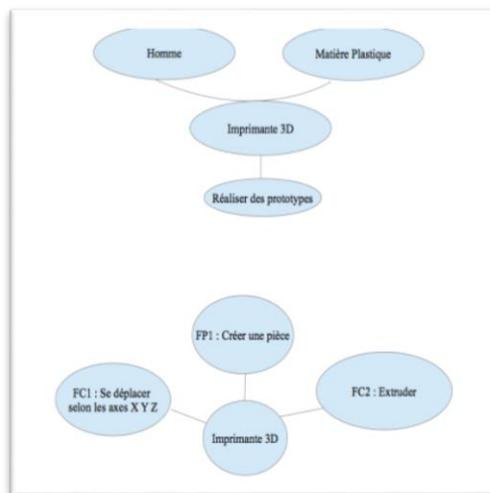


Figure 26 : cahier des charges issu de l'analyse fonctionnelle (modèle de base)

Document B

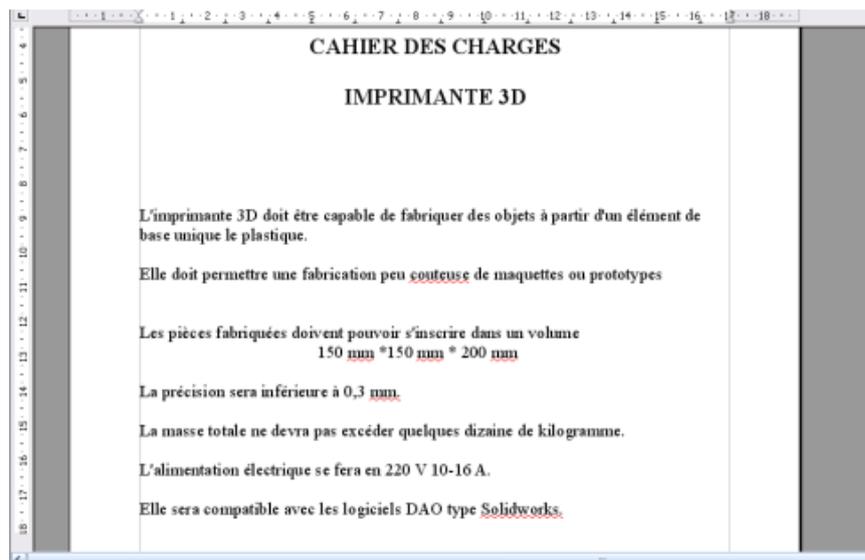


Figure 27 : cahier des charges sous forme de texte (version simplifiée)

Document C

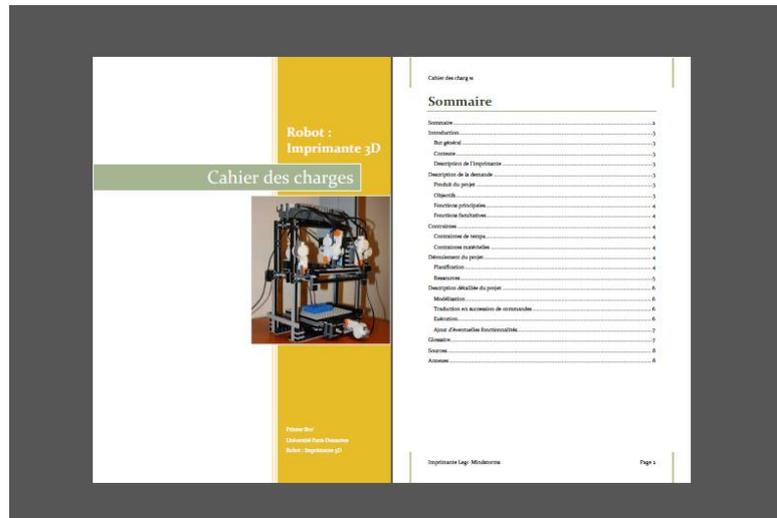


Figure 28 : extrait du cahier des charges issu de l'industrie (sans analyse fonctionnelle)

Document D

A) Cahier des Charges

Problématique

- Rendre l'impression 3D accessible

Contraintes et objectifs

- Volume utile 200*200*200
- Structure rigide
- Utilisation possible par tous
- Cratérisation

Fonction

- FC1: Réaliser au maximum avec les moyens disponibles
- FC2: Limiter les coûts
- FC3: Utiliser un maximum d'éléments standards

Figure 29 : cahier des charges issu de l'analyse fonctionnelle (version enrichie)

Document E

CAHIER DES CHARGES DE LA 2CV
établi par P.J. Boulanger responsable de Citroën à
M. Brogly directeur du bureau d'études (1936)



« Faites étudier par vos services, une voiture pouvant transporter 2 cultivateurs en sabots, 50 kg de pommes de terre ou un tonnelet à une vitesse de 60 Km/h, pour une consommation de 3litres au cent.

La voiture pourra passer dans les plus mauvais chemins ; elle devra pouvoir être conduite par une conductrice débutante et avoir un confort irréprochable.



Son prix devra être inférieur au tiers de celui de la traction avant 11 CV.

Le point de vue esthétique n'a aucune importance. »

Figure 30 : cahier des charges inhabituel

Annexe 4 :

retranscription des entretiens enseignants

Transcription des discours des enseignants

Codage : C-> chercheur ; E -> Enseignant

1 Enseignant 1 (E1)

2 Durée : 40 mn

3 C : les élèves vont avoir une séance où ils vont découvrir l'impression 3D. Voici deux
4 documents (présentations des documents A et B). Lequel serait présenté aux élèves
5 pour qu'ils comprennent cet objet ?

6 E : (consulte les documents pendant 15 secondes) Le A pour moi c'est l'étape une, puis
7 du cahier des charges découle ça (le document B).

8 C : donc les deux seraient présentés ?

9 E : non à partir de A, il doit découler B.

10 C : c'est eux qui le trouvent ?

11 E : soit eux, soit je les aide un petit peu. S'ils ne le connaissent pas du tout je partirais
12 d'un autre objet, je leurs expliquerais comment ça fonctionne et ensuite c'est parti, à
13 vous de jouer.

14 C : quel autre objet ?

15 E : celui sur lequel je travaille en ce moment, pour le diagramme « bête à corne » je l'ai
16 fait à partir d'une clé USB et le diagramme pieuvre, le graphe des inter-acteurs là, je
17 l'avais fait avec un cardiofréquencemètre. J'avais énoncé tout ce qui était environnant à
18 la personne, j'avais donné un exemple vite fait, je leur avais dit il faut que ça s'adapte à la
19 poitrine de la personne.

20 C : au départ c'était un cahier des charges comme celui-là (document A) ?

21 E : non j'étais directement parti, je leur ai dit donnez-moi tout de qui est environnant au
22 cardiofréquencemètre. Ils m'ont dit il y a la personne, et après ils m'ont dit « y'a la
23 météo, y'a l'atmosphère et monsieur s'il pleut et tout ça ».

- 24 C : Et pourquoi ne pas partir du document A ?
- 25 E : parce que après c'est à eux de le faire, je trouve que c'est trop direct.
- 26 C : tout à l'heure on partait de A pour aller vers le document B. Avec les élèves ce ne
27 serait pas ça ?
- 28 E : D'abord on a le cahier des charges. Mais avec les élèves je fais d'abord B puis le cahier
29 des charges, ce n'est pas illogique ? Mon but c'est de dire aux élèves « on ce cahier des
30 charges, nous devons trouver l'énoncée du besoin et le diagramme pieuvre », donc ils
31 vont me dire « mais qu'est-ce que c'est que ça ou quoi ». Je vais leur dire on partir d'une
32 clé USB pour faire l'énoncé du besoin et on va prendre le cardiofréquencemètre pour
33 faire le diagramme pieuvre. À partir de là, revenons à l'imprimante 3D alors là ils vont
34 dire « ah ça y est oui j'ai compris », moi je vois ça comme ça.
- 35 C : qu'est-ce qu'il faudrait modifier dans ces deux documents ?
- 36 E : B est impeccable, c'est bon. Par contre j'ajouterais les questions, à qui ça rend service,
37 dans quel but et sur quoi agit-il. Parce que sinon ils (les élèves) ont du mal à le lire. Je
38 leurs dit on part du centre, donc l'imprimante 3D, puis on lit la question, on répond, on
39 lit la question, on répond, on lit la question, on répond, allez hop on fait avec ça. Ensuite
40 (document B) la pareille, on part de l'imprimante 3D, on énonce, par contre la ça ne me
41 plaît pas ça (fonction de contrainte, fonction principale), normalement on met tout ce
42 qui est environnant et ensuite soit on met les fonctions principales en dessous, je fais
43 marquer la fonction sur le trait.
- 44 C : plus comme ça (présentation du document D).
- 45 E : oui voilà. Donc l'imprimante 3D, qu'est-ce qu'il y a autour, le groupe, les moyens,
46 maintenance logicielle, oui c'est bon, le prix, etc. L'imprimante qu'est-ce qu'elle doit faire
47 par apport au prix, elle doit couter moins de tant d'euros. Je partirais plutôt sur ce
48 document.
- 49 C : celui-là est mieux (document D) ?
- 50 E : oui il y a une norme, je ne sais pas comment dire celui est plus près de la norme, mais
51 j'ai un doute, ce qu'on présente pour le CAPET (document C) on fait comme ça. L'autre
52 (document D) est moins parlant.
- 53 C : et avec ce document ou ils expliquent ce qu'est une imprimante 3D, bon il ne fait pas
54 tout lire (document C), mais est ce qu'il est présentable aux élèves ?
- 55 E : on dirait un sujet de CAPET ou pour le BAC ISI, c'est lourd. Impossible et trop
56 compliqué pour des élèves de 3^e, ça moi je le mâche et puis à partir des exemples pour
57 les élèves il en découle ça et ça (documents A et B).
- 58 C : qu'est-ce que ces documents apportent aux élèves ?

59 E : avoir une méthodologie, je ne sais pas si on peut dire fiable, mais, une méthodologie
60 rigoureuse pour analyser, un objet ou un système. Et qui fonctionne pour des choses de
61 plus en plus complexes, le but pour moi c'est d'y arriver quelle que soit la complexité,
62 c'est ça le but, c'est comme ça que je le vois sinon ce n'est pas intéressant de travailler
63 dessus. Si tu travailles sur des fusées, avec les contraintes qu'il y a, il faut ça.

64 C : quelle est la finalité pour les élèves : comprendre l'imprimante ? Comprendre
65 l'analyse fonctionnelle ?

66 E : déjà de comprendre et d'utiliser les outils d'analyse.

67 C : est-ce qu'il est vital qu'ils fabriquent un petit objet ? Est-ce qu'une vidéo ou une photo
68 suffisent ?

69 E : ça peut être une carotte, vu le prix.

70 C : cela n'amènerait rien aux élèves de manipuler l'imprimante ?

71 E : tout dépend, mais l'acheter exprès, quand même, si elle est gratuite il n'y a pas de
72 souci.

73 C : c'est l'investissement qui serait gênant ?

74 E : c'est comme d'acheter un avion pour montrer comment vole un avion. À moins qu'on
75 trouve une utilité après pour fabriquer des choses, pour l'instant je ne vois pas l'utilité.

76 C : par exemple pour fabriquer des pièces de robots ?

77 E : cela coûterait moins cher d'acheter un stock de pièces comme des engrenages, pour
78 l'instant moi je trouve que c'est comme ça.

79 C : combien de temps durerait un projet de ce type avec les élèves ?

80 E : en gros sur un paquet de sept semaines je déborde un petit peu, ça ferait dix à quinze
81 heures. Franchement j'insiste sur ça.

82 C : est-ce d'autres supports pourraient être utilisés ? Si oui lesquels ?

83 E : oui en partant sur d'autres projets, après ça va tout seul, on arrive et ils partent
84 dessus. Par exemple sur des robots, avec le cahier des charges, un peu le même style de
85 chose, programmable ou pilotable par ordinateur.

86 C : est-ce que d'autres outils pourraient être mis en œuvre comme un diagramme FAST ?

87 E : je les ai utilisés, mais je n'ai jamais accroché avec les élèves pour ça.

88 C : pourquoi ?

89 E : je ne sais pas, j'ai l'impression qu'ils n'accrocheront pas.

- 90 C : qu'est-ce qui fait qu'il accroche sur ça (document B) et pas sur un diagramme FAST ?
- 91 E : moi je le trouve très clair. Ce genre de choses (montre des diagrammes sur un livre de
92 technologie). Je mets fonctions, solutions, j'utilise les blocs fonctionnels. C'est très
93 important, chaque fois qu'ils arrivent (j'en parle). C'est l'étape d'après, on arrive aux
94 fonctions, une fois qu'on a les différentes fonctions, il va falloir trouver les solutions.
- 95 C : mais par exemple le diagramme FAST passe bien de la fonction à la solution.
- 96 E : moi je fais tout le temps, énoncé du besoin, la deuxième étape le diagramme pieuvre
97 et troisième étape fonction solution. Après c'est parti soit on passe à la pratique ou alors
98 à la conception avec le logiciel ou à la fabrication.
- 99 C : comment sont situés ces outils par rapport aux programmes de technologie ?
- 100 E : c'est dans les programmes, c'est conseillé de l'utiliser. Après je ne sais pas si c'est une
101 obligation, non ce n'est pas une obligation, je ne pense pas. Mais c'est comme ça que c'est
102 présenté dans les livres, dans les différentes éditions, on peut passer par qui tu veux.
- 103 C : et par rapport aux programmes officiels ?
- 104 E : on te demande savoir énoncer, savoir associer une contrainte à une fonction. Je ne
105 vois pas d'autres manières de le faire.
- 106 C : des remarques ou quelque chose à ajouter ?
- 107 E : mes étapes c'est cahier des charges, énoncé du besoin, diagramme pieuvre ensuite
108 fonction/solution, après l'informatique, après la pratique.
- 109 C : Et tu le connais (document E), le cahier des charges de la 2CV ? Qu'est-ce que tu en
110 penses, tu le connais ? C'est un exemple réel.
- 111 E : non ça ne me dit rien du tout. C'est affolant, on dirait le cahier des charges d'un 4x4.
- 112 C : qu'est-ce que tu en penses, on arrive à un produit aboutit et on n'a pas forcément
113 besoin de ça (document B et D) ?
- 114 E : à l'époque ils n'utilisaient que ça, mais après il a dû en découler...Apparemment ça n'a
115 pas trop mal marché. Là on se remet en question.
- 116 C : là on ne s'occupe plus du système, comment fonctionne la voiture on ne s'en occupe
117 pas. Ce qu'on veut c'est monter dans la voiture et transporter...Est-ce que c'est utile pour
118 les élèves d'analyser un système ?
- 119 E : j'ai l'impression que là on en a fait un truc pas rigolo, mais...
- 120 C : c'est de la caricature ?
- 121 E : oui je ne sais pas le texte a été fait d'une manière...

- 122 C : ça, on ne peut pas le faire pour tous les systèmes ?
- 123 E : la ça a fonctionné on a pu le faire. Par contre c'est un système complexe, c'est une
124 voiture et tout ça.
- 125 C : l'utilisateur n'a pas besoin de savoir comment fonctionne la voiture.
- 126 E : c'est une colle ?
- 127 C : non c'est une vision qu'on peut avoir.
- 128 E : voilà pour le coup on se fout du système. C'est complémentaire, on peut trouver une
129 complémentarité, si les deux fonctionnent, on a le choix entre deux systèmes, certains
130 (élèves) vont mieux le comprendre, le but c'est pour l'élève. On ne peut pas dire que lui
131 est mieux.
- 132 C : alors qu'est-ce qu'on doit faire en classe devant les élèves ?
- 133 E : pourquoi ne pas faire les deux et leur demander leur avis et justement après se sera à
134 eux de le faire avec les deux méthodes.
- 135 C : tu leur demandes leur avis quand tu le fais ?
- 136 E : en général je leur demande « c'est bon vous avez compris, c'est clair pour vous ? ».
137 Par contre c'est bien qu'ils aient une trace écrite de ... Une espèce de fiche quoi, sinon ils
138 l'oublient. Les trois questions posées et tout. Quand on arrive au bout de 8 ou 9
139 semaines et qu'on demande c'est quoi l'énoncé du besoin, il y en a un qui va te dire ça,
140 l'autre ça. C'est toujours bien d'avoir une fiche.
- 141 C : ils ont besoin de le savoir, de le mettre en place pour plus tard ?
- 142 E : s'ils travaillent dans un bureau d'études oui, mais pour la vie de tous les jours non.
- 143 C : très peu vont travailler dans un bureau d'études, est-ce que ça vaut le coup ?
- 144 E : là on remet en question tout le programme, moi là je le trouve pas adapté. Avoir des
145 pistes comment innover, etc., ça se fait au compte-goutte.
- 146 C : par exemple dans l'EIST est ce qu'on va conserver ce genre de choses ?
- 147 E : on pourra, par exemple je sais que moi je l'utiliserai.
- 148 C : et si on fait de l'informatique, du codage ?
- 149 E : là non je ne pense pas.
- 150 C : pourtant c'est utilisé pour les logiciels.
- 151 E : si c'est efficace.

152 C : c'est ce qu'on veut voir l'efficacité de ces méthodes. La technologie ce n'est pas de la
153 magie. Qu'est-ce qui se passe quand on appuie sur un bouton ?

154 E : les deux manières de voir les choses sont complémentaires, on ne peut pas les
155 opposer. Quand on veut rentrer dans le détail on est obligé de passer par la (l'analyse
156 fonctionnelle), je doute...

157 C : maintenant plus personne ne connaît un système comme une fusée ou une voiture en
158 totalité. On connaît seulement un des sous-systèmes.

159 E : alors c'est la mort de ça. Est-ce que c'est obsolète et qu'il faudrait passer à autre
160 chose, mais ça y est quand même dans les livres. Maintenant on l'a moins dans les
161 programmes, c'est pour que les gens aillent vers les bacs technos et soient attirés par ces
162 bacs, c'est stratégique, mais ça n'a pas bien marché.

163 C : Bien, merci beaucoup.

164

165

166 Enseignant 2 (E2)

167 durée : 45 mn

168 C : Il faut aider les élèves à découvrir et à comprendre comment fonctionne une
169 imprimante 3D. Voici deux documents (A et B), lequel serait utilisé, qu'est-ce que tu en
170 penses ?

171 E : je lis l'un et l'autre. Comme ça à brule-pourpoint, le A irait très bien si le prof ne doit
172 pas intervenir et avec les élèves en demi-groupe, je mettrai ça sur la table, ils pourront le
173 lire et analyser, comment te dire, les mots, c'est des consignes écrites donc ils sont déjà
174 préformés à lire et à analyser le cahier des charges de l'imprimante 3D. Le B à la
175 différence, lui je l'utiliserai si c'est le prof qui doit intervenir, et là faire une démo au
176 tableau pour expliciter de manière schématique, je ne sais pas si je me fais bien
177 comprendre, le A c'est les gamins en autonomie, ils partent en groupe et je leurs donne
178 ça et avec un travail dessus, des questions sur le petit texte, est ce que vous avez
179 compris. Alors que le B ce serait plutôt un outil qui permettrait d'argumenter un propos
180 que j'aurais devant la classe si je devais parler de l'imprimante 3D, comme ça sans
181 vraiment les avoir lus, juste au niveau de schémas et de textes écrits, là il faut que je
182 rentre bien dedans. Le A les élèves peuvent le lire l'apprendre et le comprendre de
183 manière induite rien qu'en le lisant, le B si je leurs balance ça sans leurs avoir fait au
184 départ une explication préalable, une lecture disons du prof assistée sur un autre
185 exemple. J'appelle ça la bête à corne, je ne sais pas comment on appelle ça, mais si je n'ai
186 pas au départ préformé avec un autre exemple sur ce type de schéma ils vont le
187 regarder. Je suis pas sûr qu'ils aient les codes et le schéma pour comprendre FC, FP1,

188 FP2, voilà. Par contre le B si j'avais ce travail au préalable sur un autre exemple avec une
189 bête à cornes ou FAST, je ne sais pas comment on appelle ça, je pense qu'ils iraient très
190 vite parce qu'ils auraient compris le truc je pense

191 C : ils iraient plus vite qu'avec le A ?

192 E : je parle d'un élève qui suit le cours et s'intéresse, moyen, oui si je fais un autre
193 exemple. Parce que moi je le fais la bête à corne en classe pour d'autres raisons. Ils ont
194 toujours des problèmes de formalisation des phrases qui font le lien entre les bulles,
195 entre les petits traits, ils peinent à formaliser, ce n'est pas tout de suite compréhensible
196 le coté, voilà. Celui-là (document B, 2nd diagramme) oui, celui-là non (1er diagramme),
197 c'est compliqué je trouve pour un enfant de ...

198 C : il y a le diagramme des besoins ou bêtes à corne et le graphe des inter-acteurs ou
199 diagramme pieuvre.

200 E : oui c'est ça, le pieuvre exactement, ils le comprennent très vite. Oui ils le
201 comprendront très vite d'autant plus que si tu l'as fait au préalable avec un autre
202 exemple X ou Y, il y a l'objet au milieu avec la fonction principale et les contraintes, ça je
203 le fais à chaque fois. On retombe sur nos pattes et j'en suis certain, ça ils pigent tout de
204 suite. Par contre la bête à corne, la formalisation des liens entre les bulles par rapport à
205 l'objet technique qui est l'imprimante 3D, l'objectif, c'est un petit peu plus compliqué,
206 plus difficile pour eux d'apprendre. Comment dire, ça fait plus appel à l'abstraction à
207 mes yeux que le texte brut qu'on va leur donner. Autant un texte brut pour un gamin
208 moyen, mais sérieux qui ne prendrait que le temps de lire, sans l'avoir coaché
209 au préalable il va comprendre. La s'ils ont été formés avant, tout au moins sous forme
210 d'exemple, si j'ai déjà montré un exemple ils vont aller peut-être plus vite qu'avec ça
211 parce que ça va leur parler tout de suite avec les bulles hop hop hop mis ça demande une
212 petite formation préalable.

213 C : donc si tu devais choisir entre les deux lequel tu choisirais, le A ou le B ?

214 E : pour montrer ce qu'est une imprimante au travers du cahier des charges. Alors moi
215 j'ai tendance, ça paraît fou, on nous propose souvent de faire ce qu'on appelle des
216 démarches d'investigation, c'est un peu... il faut investiguer, il faut démarcher, sauf que
217 ça marche que de temps à temps sur un sujet donné ça peut être sympa et c'est très bien
218 quand on peut le mettre en œuvre. Mais moi j'aurais tendance si je devais introduire
219 l'imprimante 3D, je le ferai moi à l'oral avec ça au tableau (1er diagramme document B)
220 et je commenterai les bulles. Et ça me servirait d'appui projeté pour faire comprendre à
221 tous, le cahier des charges d'une imprimante 3D. Parce que c'est moins absurde que de
222 proposer un texte projeté ou une photocopie élève par élève. J'ai la moitié des gamins
223 qui ne vont pas le lire parce qu'ils sont fainéants ou parce qu'ils n'ont pas envie. Là je
224 sais que si je fais des bulles et que je les commente, je les argumente avec mon doigt ou
225 mon pointeur laser, disons que ça devient un support à mon oral d'explication, je vais

226 choisir le B. Mais jamais le B tout seul. Le B justement en tant qu'illustration ou support
227 que je vais moi commenter devant les gamins.

228 C : qu'est-ce que tu modifierais ou tu les laisserais tel quel ?

229 E : comme ça à brule-pourpoint, moi j'essayerai de me dire ...Pour moi c'est super
230 simpliste, parce que ça ne justifie pas la notion de l'imprimante 3D qui à mon avis, enfin
231 ce n'est pas mon avis, c'est ce que je découvre, on est face à une révolution énorme sur
232 ce que ça peut apporter par rapport à ce qu'il y avait avant. Parce que finalement homme
233 plus matière plastique, à la place d'imprimante 3D tu mettrais machine à commande
234 numérique, type fraiseuse, qu'ils utilisent ou bricolage en mettant en œuvre et
235 réalisation des prototypes aussi. Je m'entends quand je dis ça parce que les gamins
236 finalement quand je leur donne un peu de papier un peu de plastique, ils vont faire leur
237 châssis de robots, sans utiliser l'imprimante 3D ils réalisent aussi des prototypes.

238 C : tu essaierais de le complexifier ?

239 E : je n'essaierai peut-être pas de le complexifier, mais de trouver un truc qui va faire
240 que l'imprimante 3D apporte quelque chose aujourd'hui dans le fait qu'il n'y avait pas
241 avant, que d'autres machines, d'autres moyens de production n'existaient pas avant. En
242 gros l'imprimante 3D, c'est carrément un outil fantastique.

243 C : tu arrives à avoir une idée, pour toi les documents ne sont pas assez spécifiques de
244 l'imprimante 3D ?

245 E : oui, c'est plutôt ici que je changerai les trucs (dans le diagramme pieuvre).

246 C : alors pour avancer un peu en voilà deux autres (présentation des documents C et D).

247 E : c'est vachement plus compliqué, heu enfin plus complet disons. Si tu veux présenter
248 ça à des gamins, pour moi il y a la notion de cout qui est fondamentale, ce n'est pas cher
249 aujourd'hui une imprimante 3D et ça révolutionne un truc. Au final, qu'est-ce qu'apporte
250 l'imprimante 3D, c'est que ça te fait toutes les formes qu'on puisse imaginer, même si
251 rien n'est parfait, si on devait le fabriquer avec nos mains, les gamins sont pas
252 compétents. En fait je sortirai de ça et je leur expliquerai qu'un bureau d'études qui fait
253 un prototype à l'aide de SolidWorks soit Catia, etc. avant ils envoyaient ailleurs, faire
254 fabriquer, ils sous-traitaient leurs prototypes, comme un architecte qui fait ça chez un
255 maquettiste, qui revenait un mois après, le gars il avait son résultat une semaine ou deux
256 après. Il pouvait dire est-ce que c'est bien ou pas bien, l'essayer, dire si c'est adapté ou
257 pas adapté par rapport à l'objet qu'ils sont en train d'évoluer. Il y avait un aller-retour
258 qui demandait du temps, et l'avantage, c'est là où tout est complètement dingue c'est
259 qu'aujourd'hui le gars qui de son bureau conçoit sa pièce, il fait imprimer et tout de suite
260 il peut voir si ça va ou ça ne va pas.

261 C : pour le faire comprendre aux élèves tu irais vers quelque chose de complexe ou de
262 simple ?

263 E : au collège, simple c'est sûr, je le ferai au niveau 3e, pourtant je vois l'imprimante 3D
264 en 5e. Mais comprendre le fonctionnement ça s'intègre totalement dans ce que je ferai
265 avec les 3e, avec les 5e il n'y a pas cette démarche de projet global.

266 C : et en 5e alors c'est dans quel cadre ?

267 E : en fait je fais travailler tout au long de l'année sur la maquette de l'immeuble. Les
268 gamins à un moment donné partent par groupe de 2 ou 3 voire 4 élèves ça va dépendre.
269 Ils prennent en charge une unité d'habitation dans cet immeuble donc un appartement
270 et je leur donne comme indications vous êtes architecte d'intérieur, l'immeuble est en fin
271 de construction et vous votre travail c'est de concevoir des habitations pour accueillir
272 potentiellement des occupants.

273 C : tu les fais fabriquer ? C'est eux qui dessinent avec Sketch up ?

274 E : complètement sinon ça perd son intérêt. C'est ce que je leur montre, c'est
275 complètement génial, avant avec la techno on leur faisait modéliser leurs pièces sur
276 papier puis sur Sketch up ou SolidWorks, mais finalement on s'arrêtait là. Ou alors de
277 temps en temps on coupait un peu de papier ou de carton, de PVC, l'avantage avec
278 l'imprimante 3D c'est que tu fais enregistrer sous puis imprimer et le gamin il voit son
279 objet une heure après, c'est génial.

280 C : et en 3e tu leur fais quoi ?

281 E : je leur demande de me faire un exposé sur ce qu'est l'impression 3D aujourd'hui,
282 comment ça fonctionne, les différentes techniques, par extrusion, par flocage... Je leur
283 demande de faire un petit exposé et sur l'avenir, qu'est-ce que ça va nous apporter.

284 C : et le document C, qu'est-ce qu'il apporte aux élèves.

285 E : comme en histoire-géo ou dans les autres disciplines français, anglais, ils sont noyés
286 là-dedans, c'est de l'écrit. Bon lire des consignes, ils font ça dans toutes les disciplines, ils
287 prennent l'information. Un gamin qui va avoir peine à lire, il va plus vite comprendre ça
288 enlève un processus intellectuel, il va être au même niveau de compréhension que les
289 autres. Certains on leur met des 0 et ils entretiennent un complexe depuis des années
290 parce qu'ils ne savent pas trop bien lire les consignes ou parce qu'ils sont fainéants ou
291 dyslexique. Donc finalement celui qui n'a pas compris ce n'est pas parce qu'il n'est pas
292 capable de comprendre. Là ça ne fait pas appel à des process qu'ils auraient loupés les
293 années précédentes. S'il est malin même s'il est un peu en dessous scolairement parlant,
294 là s'il est un peu motivé il le comprend ça.

295 C : et pour le bon élève ?

296 E : il s'en sortira dans les deux cas. Il travaille en autonomie, il va être capable de le lire
297 de faire une petite synthèse et de m'expliquer ce qu'il en a compris. Mais même le bon
298 élève il a besoin d'un exemple simple sur une bête à cornes, il faut faire une lecture avant
299 avec eux sur comment ça fonctionne. Si moi je m'en sers après comme projection à la

300 classe entière (document B) ça ira beaucoup plus vite et il y aura moins de prise de
301 notes, on ira plus vite à l'essentiel.

302 C : est-ce que ça apporterait quand même quelque chose au bon élève ?

303 E : il a une démarche intellectuelle qui est ultra-guidée au sens où il ne peut pas se
304 tromper, il n'y a pas de part ou il peut avoir son propre raisonnement interne avec le
305 document C. Alors qu'avec le B ou le D il a juste les mots clés importants, et les liaisons
306 ou l'interprétation doit se faire à partir de cette lecture, à mon sens c'est plus riche parce
307 qu'il va devoir dans sa tête, recréer, reformuler ces liaisons et interpréter le graphique
308 sous la forme d'un langage interne. C'est à mon sens plus riche et instructif même si ce
309 n'est pas forcément plus simple. En C c'est une simple lecture de mots qui le guident
310 mais il n'y a pas ce côté qui va m'intéresser.

311 C : c'est bizarre c'est un outil plus riche pour le bon élève et le « mauvais » élève va y
312 arriver aussi ? Ce n'est pas paradoxal ?

313 E : sauf que j'ai présupposé que j'ai pris un exemple ultra simple dans une séance
314 précédente et que c'est un outil que j'ai déjà utilisé avec eux, sinon même moi, prof de
315 techno, je serai largué. On a appris à le lire ensemble, par expérience, j'en ai la preuve,
316 j'ai des élèves a-scolaires, mais qui ont prouvé qu'ils avaient une facilité et une
317 pertinence de compréhension. Ils n'ont pas ces codes-là, mais peuvent avancer aussi vite
318 que d'autres. Après il faut trouver la motivation pour que l'élève travaille. Certains me
319 l'ont prouvé.

320 C : ces outils (SADT – FAST) sont prévus à l'origine dans un but de conception. Là ils sont
321 utilisés pour de l'analyse, tu en penses quoi ?

322 E : moi je suis partisan de la pédagogie de l'ignorant, quand je donne un problème aux
323 élèves je n'ai pas la solution au préalable. Je sais ce qu'on veut obtenir au final comme
324 objet, mais je ne sais pas comment on peut y arriver, par contre je connais les outils qui
325 peuvent donner la réponse.

326 Juste avant le cours je ne sais pas ce qu'on va mettre comme contrainte, ce sont les
327 élèves qui le font, on le construit ensemble. On est dans l'ingénierie un peu adaptée,
328 frelatée, c'est sûr qu'on est au collège, les élèves ne connaissent pas les outils, mais en
329 brainstorming on arrive à construire ça sans que j'y ai réfléchi auparavant. Je vais les
330 aider à avoir une compréhension et un usage de l'outil, je vais leur dire on va utiliser cet
331 outil, voilà comment. Mais je ne fais pas de truc trop guider style pré-ingénierie.

332 C : tu prends quel objet comme exemple pour leur expliquer ?

333 E : je prends des bons cours qui existent, je leur fais faire un petit exo avant et je leur
334 propose comme objet le cardiofréquence-mètre, on étudie les interactions, les
335 contraintes avec le joggeur. Puis je fais le châssis du robot, je ne fais pas l'imprimante
336 3D, moi je suis ignorant, pas assez compétent, dans tout ce qui est capteur, Arduino, etc.

337 C : est-ce que l'exemple ça pourrait être l'imprimante 3D au lieu du
338 cardiofréquence-mètre ?

339 E : oui ça serait possible. En plus on en a une dans le laboratoire, on pourrait l'observer.

340 C : pour toi il faut absolument avoir l'imprimante 3D dans le labo ?

341 E : ce n'est pas vital, mais d'en avoir une c'est pour donner de l'envie, de l'appétence. Ils
342 se disent je m'éclate en techno. C'est valorisant.

343 C : la finalité c'est donc ce que tu as dit, qu'ils aient de l'appétence pour la techno ?

344 E : c'est pour susciter de l'envie, de l'intérêt on est la seule discipline pratiquement où on
345 a un pied dans le réel et on fait le grand écart entre le monde théorique des autres
346 disciplines et le monde du réel. Les élèves sont baignés par le monde des ordinateurs, les
347 tablettes, l'information, mais au collège... Nous on peut faire entrer ça au labo de techno.
348 Le gamin il voit ça aux infos, puis il dit nous on en a une aussi au collège. Moi j'ai des
349 gamins qui redescendent du lycée en disant : « monsieur on a utilisé SolidWorks ». Ça a
350 du sens, c'est leur mettre dans les mains tous les outils actuels et à venir. C'est donné de
351 l'intérêt au gamin.

352 C : combien de temps tu passerais sur cet objectif, comprendre l'imprimante 3D, leur
353 donner envie de l'utiliser ?

354 E : c'est une séquence de formation qu'après ils doivent réinvestir. Au même titre que la
355 machine à commande numérique, les gamins vont après la mettre en œuvre, c'est très
356 simple même s'il y a quelques paramètres.

357 C : tu passes combien de temps pour qu'ils comprennent ces diagrammes (documents B
358 et D) ?

359 E : c'est très bref, une séance ou deux. Je les fais travailler sur SolidWorks avec le
360 didacticiel et après je pose la pièce sur la table. Ça va vite ils sont loin d'être cons les
361 gamins.

362 C : est-ce que tu mettrais d'autres outils en œuvre, style FAST ?

363 E : c'est trop long et trop compliqué, ils ont besoin d'être dans le cœur. Je ne dénigre pas
364 la partie conception pure parce que c'est ça qui est génial, mais l'analyse du besoin est
365 lourde, scolaire et difficile à appréhender. Eux ce qu'ils veulent c'est rentrer dans le jeu,
366 couper du papier, coller, mettre en œuvre voir si ça colle, si ça rentre.

367 C : l'imprimante 3D fait ça à leur place non ? Est-ce qu'elle est utile alors ?

368 E : eux ils partent de rien, je ne sais pas ce qu'ils auront à la fin de l'année, ils auront un
369 robot qui rentre dans un cahier des charges et ils sont libres là-dedans. Pour fabriquer
370 un châssis plat c'est plus facile une fraiseuse à commande numérique qu'une
371 imprimante 3D. Par exemple pour faire des roues une simple fraiseuse fait très bien

372 l'affaire, en 3e ils y arrivent. Cette année très peu d'élèves l'ont mise en œuvre en 3e, en
373 5e un peu, c'est vrai on peut très bien s'en passer. Je leurs ai prouvé par a+b qu'une
374 fraiseuse à commande numérique ça marche tout aussi bien. Ce qui fait décider le choix
375 entre la fraiseuse ou l'impression 3D c'est la forme de l'objet. Y'en a aussi avec du papier
376 et du crayon, je leur demande de réfléchir c'est la conception avec des ciseaux,
377 l'imprimante 3D ça vient après.

378 C : Comment tu situes ces outils par apport au programme de technologie ?

379 E : les 2 sont jouables, je les vois applicable en 3e car là on part d'une idée et on la mène
380 jusqu'au bout, à fin de la conception. Le A ou le B s'intègre parfaitement. En 3e dans la
381 compréhension de ce qu'est le besoin, de ce qu'est l'objet par apport à son
382 environnement, les notions de contraintes. Dans les programmes on ne nous dit pas
383 utiliser ça ou ça, ils vont nous dire, aborder ce qu'est une fonction principale, une notion
384 de contrainte. Être capable de mettre en perspective un objet technique quelconque et
385 que nous on va se servir de cet outil en tant que prof.

386 C : et tu penses qu'il devrait l'inclure dans le programme ?

387 E : je ne sais pas si c'est bien de fermer. Moi je n'aime pas quand ils ferment. Je suis
388 convaincu qu'un prof c'est un ingénieur, voilà la finalité et je veux qu'à la fin du socle ou
389 à la fin de l'année, l'enfant ait appris telle ou telle notion, dans les règles de l'art quand
390 même. Vous êtes enseignant votre job c'est d'inventer le moyen de faire en sorte qu'au
391 final le gamin est atteint telle ou telle compétence.

392 C : c'est un ingénieur, pour le prof de techno ?

393 E : non quel qu'il soit, dans sa classe le prof il sait où il doit aller. Les programmes sont là
394 pour décrire les compétences et tous les enfants de France et de Navarre, voire plus. Ce
395 qui se passe avant c'est là où le boulot du prof rentre en compte, et c'est tout l'art et la
396 qualité du métier d'enseignant, c'est qu'en fonction de ta personnalité de ton savoir de
397 ton envie de bosser tu vas présenter les choses d'une certaine manière et pas d'une
398 autre.

399 C : comment tu situes les cartes heuristiques par apport à ce dont on vient de parler ?

400 E : pour moi c'est l'avenir. Je veux expliquer un peu plus longuement. C'est là où ça
401 devient intéressant, c'est qu'avant il y avait ça (document B) ou alors on est parti de ça
402 (document A), avec l'arrivée des cartes heuristiques, bien que ça existe de longue date,
403 dans l'enseignement l'usage d'outils comme Xmind ou d'autres, c'est un outil pour le
404 prof, mais aussi pour l'élève, qui est capable de l'utiliser au sein d'un petit groupe de
405 travail. C'est beaucoup moins lourd, plus libre, et encore plus constructif que ce genre
406 d'outil qui est encore un peu trop fermé à mes yeux. Et je pense que l'usage des cartes
407 heuristiques est amené à se développer. Je trouve ça génial, on balance les idées comme
408 elles viennent que ce soit au primaire au collège ou avec des ingénieurs. Les gamins avec

409 leurs savoirs, leurs compétences et leurs acquis, qu'ils soient forts ou pas à l'école, il va
410 balancer les idées, on va construire l'enseignement, la savoir vient des gamins.

411 C : est-ce que les cartes heuristiques ressemblent ou découlent de ça (document D) ?

412 E : oui je dessine au tableau le mot, puis quelles sont les contraintes, les élèves vont
413 tenter de mettre les traits.

414 C : et tu te situes ou par apport à ces représentations pour analyser un système ?

415 E : avec ce genre d'outils (B et D) on peut gérer l'hétérogénéité et booster les gamins,
416 même les a-scolaires et pour analyser un problème c'est l'arme absolue. Avec les autres
417 (documents A et C) on va les noyer.

418 C : Et ça tu connais (document E), le cahier des charges de la 2CV ?

419 E : je le connais, on me l'avait montré à l'IUFM, on me l'avait cité comme exemple c'est
420 une bonne base, j'avais été étonné, ah c'est ça un cahier des charges !

421 C : ce serait le départ de la conception de la 2CV, sans passer par ça (documents B et D),
422 ça ressemblerait plus au document A, qu'est-ce que tu en penses ?

423 E : ça n'existait peut-être pas à l'époque, ce genre d'outils. Les outils n'étaient pas encore
424 développés, il me semble. Mais peut-être que je dis une grosse bêtise. Pour moi ce sont
425 des outils de conception qui sont arrivés plus tard. Mais pour faire passer son idée le
426 gars a peut-être fait un croquis à la craie sur un tableau noir, il a dessiné un sac de 50 kg
427 de pommes de terre, la 2CV, il en a fait un carré, il a fait une flèche 60 km/h max pour la
428 vitesse.

429 C : merci beaucoup.

Annexe 5 :

bande-son des enseignements dispensés

Enseignement NAF (sans utilisation de l'analyse fonctionnelle)

Diapositive 1 (figure 10) :

Nous allons étudier ensemble un système. Vous l'avez reconnu c'est une cuillère.

À quoi sert ce système ? Lorsqu'on mange il permet de prendre les aliments et de les apporter à sa bouche.

Nous voyons la cuillère avec la représentation du trajet des aliments jusqu'à la bouche.

Qu'ont prévu les concepteurs pour remplir cette fonction ?

Un manche pour tenir la cuillère et une partie creuse pour contenir les aliments, nous les situons sur notre schéma.

Diapositive 2 (figure 12) :

Voici un autre système, c'est un aspirateur. Il sert non pas à aspirer, mais à nettoyer, enlever la poussière.

Nous pouvons le représenter schématiquement de la manière suivante.

Qu'est-ce qui a été prévu pour remplir cette fonction ?

Différents éléments : un système d'aspiration, un sac, un réservoir, un tuyau.

Nous pouvons indiquer tous ces éléments sur le schéma précédent.

Nous avons ainsi une représentation complète de notre système.

Diapositive 3 (figure 14) :

C'est maintenant à vous d'analyser un système.

Utilisez la représentation qui vous semble la plus pertinente pour effectuer cette analyse.

Le système que vous avez à analyser est une brouette.

Vous avez trois minutes pour réaliser ce travail sur votre feuille. Allez-y.

Voilà posez vos stylos et arrêtez votre travail pour le moment, merci.

Diapositive 4 (figure 15) :

Voici maintenant une correction pour l'analyse de ce système.

Nous retrouvons un schéma et une légende annotée avec les différents éléments.

Le châssis, les poignées, le porte-charge, le système roulant avec la roue et les pieds ou supports.

Vous avez une minute pour corriger votre représentation. Allez-y.

Diapositive 5 (film imprimante 3D) :

Voyons maintenant comment fonctionne une imprimante 3D.

C'est une machine qui permet de fabriquer différents objets en plastique, comme par exemple des coques de téléphone.

Tout commence avec un fichier modélisé sur un ordinateur. Ce fichier est envoyé vers l'imprimante.

L'imprimante dépose des couches successives de plastique. Le plastique est chauffé et fondu puis déposé en passant à travers une buse en fines couches qui sont déposées les unes sur les autres.

Vous allez pouvoir revoir cette vidéo avec a bande-son d'origine.

Revoyons donc une deuxième fois les principales étapes de cette impression 3D.

Les objets fabriqués sont en plastique. Au départ le plastique est fondu, puis on obtient des objets solides. Il faut un ordinateur avec un logiciel capable de modéliser ces objets.

Le fichier est transféré au processeur de l'imprimante.

Le plastique fondu est déposé par couches successives au travers d'une buse.

Cette buse se déplace au-dessus d'un plateau et superpose les différentes couches du plastique qui se refroidit et se solidifie.

Les mouvements de la buse sont commandés par des moteurs qui répondent aux ordres du processeur de l'imprimante. Ces ordres dépendent directement du fichier qui a été transféré.

Enseignement AF (avec utilisation de l'analyse fonctionnelle)

Diapositive 1 (figure 11) :

Nous allons étudier ensemble un système. Vous l'avez reconnu c'est une cuillère.

À quoi sert ce système ? Lorsqu'on mange il permet de prendre les aliments et de les apporter à sa bouche.

Nous inscrivons ceci dans un premier rectangle.

Qu'ont prévu les concepteurs pour remplir cette fonction ?

Un manche pour tenir la cuillère et une partie creuse pour contenir les aliments. Nous mettons ces informations dans des rectangles à droite.

Ensuite nous indiquons au centre les fonctions. Nous avons alors une fonction principale à gauche, des fonctions techniques au centre qui correspondent à des solutions à droite.

Diapositive 2 (figure 13) :

Voici un autre système, c'est un aspirateur. Il sert non pas à aspirer, mais à nettoyer, enlever la poussière.

Nous mettons cela en fonction principale.

Qu'est-ce qui a été prévu pour remplir cette fonction ? Différents éléments : un système d'aspiration, un sac, un réservoir, un tuyau.

Nous mettons ces éléments du côté des solutions, dans la troisième colonne. Au centre nous associons les fonctions techniques qui sont principalement des verbes qui correspondent aux solutions.

Nous avons ainsi effectué l'analyse fonctionnelle de notre système.

Diapositive 3 (figure 14) :

C'est maintenant à vous d'analyser un système en utilisant l'analyse fonctionnelle en faisant trois colonnes : la fonction principale, les fonctions techniques qui sont des verbes et les solutions.

Le système que vous avez à analyser est une brouette.

Vous avez trois minutes pour réaliser ce travail sur votre feuille. Allez-y.

Voilà posez vos stylos et arrêtez votre travail pour le moment, merci.

Diapositive 4 (figure 16) :

Voici maintenant une correction pour l'analyse de ce système.

Sa fonction est de transporter du matériel. Pour cela on a une cuve qui contient le matériel, des poignées qui permettent de soulever et guider, une roue pour avancer, des pieds pour reposer l'ensemble de la brouette. L'ensemble est maintenu par le châssis.

Vous avez une minute pour corriger votre représentation. Allez-y.

Diapositive 5 (film imprimante 3D) :

Voyons maintenant comment fonctionne une imprimante 3D.

C'est une machine qui permet de fabriquer différents objets en plastique, comme par exemple des coques de téléphone.

Tout commence avec un fichier modélisé sur un ordinateur. Ce fichier est envoyé vers l'imprimante.

L'imprimante dépose des couches successives de plastique. Le plastique est chauffé et fondu puis déposé en passant à travers une buse en fines couches qui sont déposées les unes sur les autres.

Vous allez pouvoir revoir cette vidéo avec a bande-son d'origine.

Revoyons donc une deuxième fois les principales étapes de cette impression 3D.

Les objets fabriqués sont en plastique. Au départ le plastique est fondu, puis on obtient des objets solides. Il faut un ordinateur avec un logiciel capable de modéliser ces objets.

Le fichier est transféré au processeur de l'imprimante.

Le plastique fondu est déposé par couches successives au travers d'une buse.

Cette buse se déplace au-dessus d'un plateau et superpose les différentes couches du plastique qui se refroidit et se solidifie.

Les mouvements de la buse sont commandés par des moteurs qui répondent aux ordres du processeur de l'imprimante. Ces ordres dépendent directement du fichier qui a été transféré.

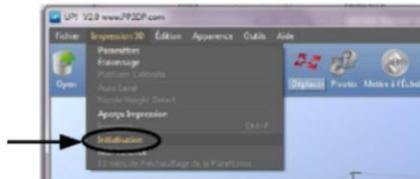
Annexe 6 :

fiches opératoires fournies aux élèves

A

INITIALISER L'IMPRIMANTE

Avant toute impression, l'imprimante doit être initialisée. A partir du menu **Impression 3D**, cliquez sur **Initialisation**.



L'imprimante émet 4 bips et la procédure d'initialisation débute, les trois axes se mettent en mouvement pour prendre leurs origines. Elle émet à nouveau un bip lorsqu'elle est prête.

Note : lorsqu'il n'y a plus de liaison entre l'imprimante et l'ordinateur, il est possible de faire une initialisation manuelle en appuyant sur le bouton **Initialize** à l'avant de l'imprimante pendant quelques secondes.

B

METTRE EN ROUTE L'IMPRIMANTE

Allumer l'imprimante en appuyant sur bouton situé à l'arrière de la machine.

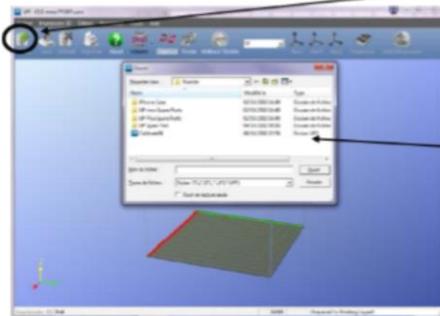


C

OUVRIR LE FICHIER « BILLE »



Il est possible de charger un ou plusieurs modèles.
A partir du menu **Fichier**, cliquez sur **Ouvrir...** ou cliquez directement sur l'icône **Open** de la barre d'outils.



CHOISIR LE FICHIER « BILLE »

D

LANCER LE LOGICIEL « UP »

Ce logiciel permet de piloter l'imprimante.

SUR LE BUREAU FAIRE UN DOUBLE CLIC SUR L'ICÔNE DU LOGICIEL « UP »



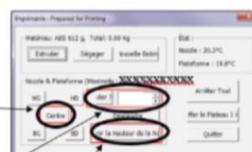
REGLER LA DISTANCE ENTRE LA BUSE ET LE PLATEAU

E

- 1 - A partir du menu « Impression 3D » cliquez sur « Maintenance »
- 2 - Mettre un morceau de feuille de papier (épaisseur 0,1 mm) entre le plateau et la buse (voir photo).
Sans la bloquer ni la concier
- 3 - Cliquer sur « centre »
- 4 - Saisir la valeur de 133.00 dans la zone « aller ? » (Ce sera la hauteur à laquelle va monter le plateau)
- 5 - Cliquer sur « Aller ? », le plateau monte jusqu'à la valeur indiquée.
- 6 - Augmenter légèrement la valeur à l'aide de la flèche vers le haut (par exemple 133,10).
- 7 - Cliquer sur « Aller ? », le plateau monte jusqu'à la valeur indiquée.

**Recommencer les opérations 6 et 7 en augmentant la valeur jusqu'à ce que la feuille soit très légèrement bloquée entre la buse et le plateau.
Par exemple essayer avec 133,2, tester si la feuille se bloque. Puis recommencer avec 133,3 etc.**

- 8 - Quand le réglage est correct cliquer sur « Définir la hauteur de la nozzle », puis sur « oui » pour valider.
- 9 - Puis cliquez sur « Quitter »
- 10 - Enlever la feuille



Feuille papier
80 g/m²

Dispositif

Buse
(Nozzle)

RELIER L'IMPRIMANTE A L'ORDINATEUR

F

1. Reliez l'imprimante à l'ordinateur à l'aide du câble USB.

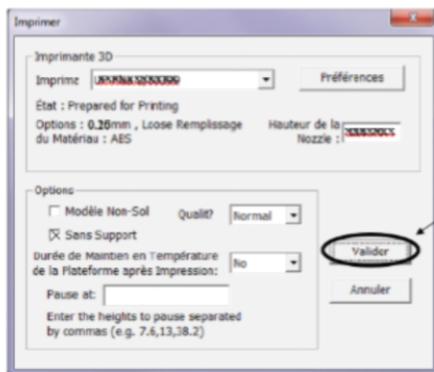


Note : vous pouvez soulever le bras de l'axe X si vous n'avez pas accès au port USB à l'arrière de l'imprimante.

G

LANCER L'IMPRESSION

A partir du menu **Impression 3D**, cliquez sur **Imprimer** pour faire apparaître la fenêtre d'impression.



Cliquez sur « Valider » puis « OK »

Attendre environ 5 minutes pour que le système chauffe avant que l'impression commence.
(La température de la buse doit atteindre 260°C et celle du plateau 100°C).

H

METTRE EN ROUTE L'ORDINATEUR

La session a utilisée est « IMPRIM3D »

Il n'y a pas de mot de passe.

Annexe 7 :

retranscription des discours élèves

Codage : 1 pour l'élève 1 – 2 pour l'élève 2 – Ens pour l'enseignant

Binôme AF1

- 1 Ens : *Donne les consignes pour le classement des opérations.*
- 2 1 : déjà en premier il faudrait mettre en route l'imprimante et puis genre lancer le
- 3 logiciel, donc ça c'est à la fin. Relier l'imprimante ou d'abord allumer l'imprimante
- 4
- 5 2 : mais non d'abord la relier
- 6 1 : pourquoi
- 7 2 : parce ce que c'est... attends ça c'est la clé USB (*touche les liaisons USB de l'ordinateur*)
- 8 1 : ha câble USB, on peut donc d'abord la relier, ensuite, d'abord lancer le logiciel, le
- 9 logiciel bille
- 10 2 : ensuite, c'est ou ... t'as vu lancer l'imprimante
- 11 1 : mettre en route l'imprimante, tu l'as déjà placé
- 12 2 : mettre en route l'imprimante, initialiser l'imprimante
- 13 1 : régler la distance entre la buse et le plateau, lancer l'impression, quoi que même ça
- 14 on peut le mettre après
- 15 2 : t'es sur
- 16 1 : oui, ça c'est lié à l'ordinateur, ça c'est lié à l'imprimante
- 17 2 : oui, mais est-ce que pour ce genre d'application avec ce fichier il faut pas que
- 18 l'imprimante soit déjà la
- 19 1 : tu douterais de mes talents
- 20 2 : oui
- 21 1 : si tu veux, tiens, voilà, t'es content c'est toujours mon ordre de toute façon
- 22 2 : mais non moi je préférerais que ça soit quand même allumer l'imprimante avant,
- 23 pourquoi il faut
- 24 1 : mais quand t'arrives
- 25 2 : et alors
- 26 1 : que tu branches le câble quand c'est allumé ou quand c'est éteint c'est la même chose
- 27 2 : ben oui
- 28 1 : ben voilà, on s'en fiche, donc t'allumes l'imprimante avant
- 29 2 : on s'en fiche
- 30 Ens : bon ça y est
- 31 2 : oui et non
- 32 1 : tiens la, si on se trompe c'est carrément ta faute

33 Ens : *presse les élèves pour terminer*
34 1 : la fiche A, on fait par numéro, la fiche A, numéro 1, la fiche 2
35 2 : t'es sur, t'es sur sûr comme tu susurres
36 1 : je valide Jean-Pierre
37 1 : la fiche 3, lancer le logiciel
38 *Les 2 élèves numérotent les fiches*
39 Ens : *donne les indications pour remplir la fiche*
40 1 : donc allumer l'ordinateur, ça c'est fait, lancer le logiciel, c'est déjà fait, ouvrir le fichier
41 bille, c'est fait, en fait vous avez tout fait on fait quoi nous, mettre en route l'imprimante,
42 ça c'est fait, initialiser l'imprimante, bon en fait il faut initialiser l'imprimante
43 2 : mais imprimante elle est initialisée la
44 1 : alors faut voir à chaque début de truc, impression 3D, initialisation, ça fait bip bip
45 1 : *lis la fiche mise en œuvre de l'imprimante*
46 1 : et puis après
47 2 : régler la distance entre la buse et l'imprimante
48 1 : hop c'est pas avant ce truc, c'est les questions maintenant, la buse c'est ce petit
49 machin
50 2 : je suppose que la buse c'est cette boule
51 1 : la buse elle est déjà
52 Ens : la machine n'est pas réglée
53 1 : Ha ok
54 1 : *lis la fiche qui concerne le réglage*
55 1 : on peut utiliser ce papier la
56 Ens : non pas celle-là enfin vous pourriez, mais qu'est-ce qu'on demande
57 1 : 0,1mm
58 Ens : ça c'est des feuilles 0,1
59 1 : *continue la lecture de la fiche à partir « d'entre le plateau et la buse »*
60 2 : ça on suppose que du coup faut le mettre la
61 1 : cliquer sur 100, tu sais pas ou faut mettre le papier, met un papier, je crois qu'il faut
62 pas laisser de passage entre les deux
63 2 : ou ça
64 Ens : cliquer sur centre
65 1 : centre, pourquoi ça a mis centre, on est pas du tout au bon endroit
66 2 : du coup faut le mettre au milieu
67 Ens : oui, ça va au milieu c'est bon
68 1 et 2 : *lise la suite de la fiche à partir de « saisir la feuille »*
69 Ens : *demande aux élèves s'ils peuvent rester pour terminer (suite à la sonnerie)*
70 1 et 2 : *acquiescent*
71 2 : taper la valeur, aller aller
72 1 : *lis la fiche « augmenter...*
73 2 : wha ça touche presque
74 1 : comme ça exemple 133, cliquer sur 'aller'
75 2 : faut que ça réagisse
76 1 : ça bouge beaucoup
77 2 : essaye de mettre virgule 10, c'est peut-être qu'il a pas le bon nombre de chiffres
78 1 : c'est marqué 133 point dix
79 2 : ouai faut lui mettre un zéro la peut-être que c'est qu'il pas le bon de chiffres et du
80 coup ça le perturbe
81 1 : c'est en mm tu sais, *lis la suite de la fiche « recommencer.....plateau »*

82 1 : ah non non, et en plus j'ai cliqué sur entrée, oups
83 2 : qu'est-ce que t'as fait
84 1 : j'ai cliqué sur entrée
85 1 : c'était maintenance puis 133.10
86 2 : du coup essaye de monter à 133.20, cliques sur 'aller'
87 1 : oui je clique la, mais dis-le-moi
88 2 : ça a pas l'air de bouger en fait la, ha si ça bouge un tout petit petit peu
89 1 : ou ça
90 2 : non ça touche toujours pas là, non ça touche pas
91 1 : encore un peu, ça touche toujours pas, ouai y'a une onde, la ça touche je crois
92 1 : ouai mais juste à peine quoi, c'est genre tu vois sur les grosses bosses
93 1 : ouai mais là c'est parce que le papier il est comme ça, mais ça non voilà
94 2 : la redémarre je tiens le papier
95 1 : appuie pas, appuie pas
96 2 : ok j'appuie pas sur le papier, la galère, il peut encore bouger, non il est toujours là, je
97 pense qu'il faut augmenter de 2 voilà
98 1 : c'est le maximum, aller, ça va là, ça a pas l'air très très coincé
99 Ens : qu'est-ce qu'il vous arrive ?
100 2 : faut qu'il soit légèrement coincé, légèrement bloqué
101 Ens : alors ? Qu'est-ce qui vous arrive ?
102 1 : je sais pas
103 Ens : quel est le problème ?
104 1 : je crois qu'on est au maximum de la hauteur
105 Ens : Et ?
106 1 : le papier est pas bloqué
107 Ens : *initialise pour pouvoir augmenter la hauteur du plateau*
108 2 : du coup on était à combien tout à l'heure, 134 c'est ça ?
109 1 : on était à 134 point quelque chose non ?
110 Ens : oui je pense à 134,5 ou comme ça
111 1 : là c'est assez loin d'être bloqué la
112 2 : alors la ça touche, mais c'est pas bloqué encore 1 je pense, encore un peu, voilà c'est
113 tout proche, c'est tout proche, tout proche, encore tout proche, bon c'est tout proche,
114 tout proche tout loin, ça commence déjà à être bloqué, un peu
115 1 et 2 : beaucoup, passionnément
116 2 : à la folie
117 1 et 2 : pas du tout
118 2 : la ça commence bien à bloquer, là je crois qu'elle est un peu bloquer regardes
119 1 : ouai ça va
120 2 : c'est légèrement bloquer la
121 Ens : combien vous avez ?
122 1 : j'ai 135.5, enfin on a 135.5
123 2 : *lit la fiche « quand le réglage.....la hauteur » et commence la fiche imprimer*
124 1 : on peut lancer ?
125 Ens : oui, *donne les feuilles à compléter, explique que le résultat sera certainement positif*
126 1 et 2 : *complète les fiches élèves*
127 1 : *ça démarre pas, ha c'est vert*
128 2 : Ha c'est vert, ça fait Bip, ça refait bip
129 1 : Ça le fait tout seul
130 2 : y'a peut-être un souci, on a raté comme les autres, on a tout cassé

131 1 : non, il en train de faire un cercle
132 2 : pourquoi là il fait un trait, là il fait un cercle, mais tout à l'heure il a eu l'air de faire un
133 trait
134 Ens : il fait un trait avant le cercle
135 2 : ah ok
136 2 : elle est super cool la machine, elle est trop forte
137 Ens : *donne les fiches exercice 2 et les instructions*
138 2 : on doit faire l'analyse fonctionnelle ?
139 Ens : comme tu veux
140 1 : on a réussi à ne pas faire n'importe quoi, c'est déjà un bon point
141 Ens : c'est bon, ça marche, voilà votre bille, elle est pas mal
142 1 : c'est quoi le matériau ?
143 Ens : de l'ABS, un plastique
144 2 : Ça s'appelle comment de là où sort le plastique ?
145 1 : la buse
146 2 : la buse ça s'appelle
147 Ens : je vous libère, merci
148

Binôme AF2

- 149
- 150
- 151 1 et 2 // manipulent et lisent les fiches
- 152 1 : ah oui c'est H F, non HGF
- 153 2 : si // suivant la position sur la table
- 154 1 : non
- 155 2 : si
- 156 1 : c'est ça
- 157 2 : oui, c'est ça H en premier // les fiches sont classées sur la table
- 158 1 : G en dernier, y'en a 8, E vient en 7, C en 6
- 159 2 : en 4
- 160 1 : F
- 161 2 : Qu'est-ce tu fais ? faut le marquer // fin du classement, le recopie 4 mn
- 162 Ens : vous pouvez commencer et suivre vos procédures, certaines sont déjà faites
- 163 2 : // liste les opérations déjà faites
- 164 1 : on risque pas de la casser .
- 165 Ens : non ça ira et ce ne sera pas vous, je surveille
- 166 1 : ça s'est fait
- 167 1 : allumer, appuyer c'est fait // touche l'interrupteur de l'imprimante 5 mn
- 168 1 : il reste 2 trucs
- 169 1 : régler la distance entre la bille et le plateau c'est pas fait ?
- 170 Ens : non c'est pas fait
- 171 1 : alors on a un truc à faire
- 172 2 : // ajuste la feuille sur le plateau
- 173 1 : // chuchote et rigole
- 174 2 : // manipule l'ordinateur
- 175 2 : je crois que j'ai fait une bêtise
- 176 1 : non, oh non, t'as pas fait une bêtise
- 177 2 : cliquer sur aller
- 178 1 : oh oh , ça monte
- 179 2 : c'est normal
- 180 1 : elle va toucher le plafond la // le plateau monde
- 181 1 : elle touche // prévient son camarade
- 182 2 : // surveille l'imprimante et continue la procédure
- 183 1 : pourquoi tu montes ?
- 184 2 : c'est marqué,
- 185 1 : pourquoi tu montes jusqu'à 135
- 186 2 : en fait il faut que la feuille elle soit bloquée // montre le plateau
- 187 1 : elle monte pas là // regarde très attentivement le plateau
- 188 2 : si // continue à manipuler l'ordinateur
- 189 1 : non, mais elle monte pas depuis tout à l'heure
- 190 2 : // teste si la feuille est bloquée

191 2 : elle monte pas // regard vers l'enseignant
 192 1 : comment on fait ? En fait on n'arrive pas //appel enseignant
 193 Ens : qu'est-ce qui vous arrive ?
 194 1 et 2 : ça monte pas, pas plus que 134
 195 Ens : je vais vous débloquent // autorise les valeurs supérieures
 196 2 : // poursuit l'itération
 197 1 : non t'es allé en arrière à 134
 198 2 : non elle était à 126
 199 1 : non regarde actuel 134 // montre l'écran
 200 1 : tu essaies 135 ?
 201 1 : faut mettre 135 hein !
 202 2 : //manipule l'ordinateur et test la feuille
 203 1 : houla // voit le plateau monter
 204 2 : c'est bon
 205 1 : si on met 135, ça touche
 206 2 : voilà
 207 1 : ça touche pas
 208 2 : c'est bon // teste si la feuille est bloquée
 209 1 : c'est bon ? // demande à l'enseignant
 210 Ens : c'est vous qui décidez
 211 1 : on veut pas casser le truc
 212 Ens : t'en fais pas ça, même si tu le casses c'est pas grave
 213 1 : y'a l'assurance
 214 Ens : ça t'empêchera pas de dormir
 215 1 : oh si
 216 1 : c'est bon touche plus, touche plus
 217 1 : oui valider
 218 2 : voilà // n'ont pas testé la feuille
 219 2 : faut enlever la feuille // enlève la feuille qui n'est pas coincée
 220 1 : ça touche pas
 221 2 : normal// passe à la fiche suivante et effectue les opérations 10 min
 222 1 : à partir du menu impression 3D, là-bas en haut à gauche
 223 2 : mais faut mettre un truc avant non ?
 224 1 : non je sais pas y'a pas marqué
 225 2 : on met rien
 226 1 : tu veux mettre quoi ?
 227 2 : je sais pas // se demande peut être sur quoi repose l'impression
 228 1 : y'a rien à mettre, il est là le fil
 229 1 : faut vérifier s'il y en a, mais y'en a
 230 1 : c'est pas les ...
 231 2 : lance l'impression 11 mn
 232 1 : oh c'est la discothèque // l'imprimante bip et le voyant clignote
 233 1 et 2 : // attende la montée en température

- 249 **Binôme AF3**
- 250
- 251 1 : on met la date et l'heure ?
- 252 Ens : oui c'est marqué, ça fait un repère
- 253 1 : // classe les fiches
- 254 1 : déjà, lancer l'impression c'est la dernière
- 255 2 : lancer l'impression c'est la dernière
- 256 1 : c'est ça
- 257 2 : et initialiser ?
- 258 2 : la fiche A
- 259 1 : mais qu'est-ce que tu dis, mettre en place
- 260 2 : parce que initialiser l'imprimante, ça vient pas avant
- 261 1 : on peut pas le mettre avant
- 262 2 : mettre en route l'imprimante, c'est quoi ça ?
- 263 2 : mettre en route l'imprimante, ouvrir le fichier, relier l'imprimante à l'ordinateur
- 264 1 : mettre en route l'imprimante, déjà ça il faut le faire
- 265 2 : oui déjà
- 266 1 : la fiche H
- 267 2 : mettre en route l'ordinateur, H c'est la
- 268 2 : après lancer le logiciel non ?
- 269 1 : attends, attends
- 270 2 : ah non, c'est pas relier l'imprimante à l'ordinateur ?
- 271 1 : regardes celui-là aussi, lui c'est D
- 272 2 : je pense que ...
- 273 1 : y'a lui comment tu veux faire
- 274 2 : bon alors
- 275 1 : après relier l'imprimante c'est la F
- 276 1 : je me suis trompé de fiche, m....
- 277 2 : non parce que ça c'est quand on éteint le logiciel, après ça on ouvre le fichier
- 278 1 : ben voilà
- 279 1 : initialiser ça va avec l'imprimante
- 280 2 : oui, c'est quoi initialiser l'imprimante, relit ça , mettre en route l'imprimante
- 281 2 : après on met ça
- 282 1 : //joue avec la caméra 5 mn
- 283 2 : après il faut relier l'imprimante
- 284 1 et 2 : // se déconcentre et ne font plus l'exercice
- 285 Ens : c'est bon ?
- 286 2 : en fait on s'est trompé je crois
- 287 Ens : c'est pas grave, ça arrive, si en plus vous vous en apercevez c'est très bien
- 288 2 : vous pouvez pas nous aider
- 289 Ens : non c'est à vous de le faire
- 290 1 : // s'impatiente

291 2 : en fait on a mis mettre en route l'ordinateur, après on a mis lancer le logiciel, après on
292 a mis relier l'imprimante à l'ordinateur et après on a mis ouvrir le fichier
293 2 : mais quand on relie l'imprimante, après il faut l'allumer
294 Ens : mettez les feuilles dans l'ordre et après vous remplirez la fiche
295 Ens : coller ces numéros dessus si vous préférez
296 2 : // classe les fiches en les numérotant
297 1 : tu vois c'est comme ça //aide son camarade
298 2 : attends doucement
299 2 : relier, relier l'imprimante à l'ordinateur
300 2 : moi je dis ça c'est 3 et après ça c'est 4
301 1 : t'es sur ?
302 2 : ouvrir le fichier
303 1 : y'a déjà ???
304 2 : ouvrir et après on met ça
305 Ens : c'est bon ?
306 1 : //oui on pense
307 2 : y'a plusieurs trucs ? // concernant les opérations à effectuer
308 Ens : là vous les avez dans l'ordre // à lui-même mis les fiches dans le bon ordre et aide
309 les élèves à formaliser sur la feuille l'ordre qu'ils ont obtenu
310 1 et 2 et Ens : // retranscrivent l'ordre sur la fiche élève
311 Ens : vous avez mis H en 1, B en 2, F en 3, A en 4, là il y a un changement, C en 5, D en 6, E
312 en 7 et G en 8 voilà, maintenant vous allez faire // fin du classement des fiches
313 Ens : // explique ce qui est déjà fait
314 Ens : Initialiser l'imprimante ?
315 2 : c'est bon je pense
316 Ens : je sais pas, qu'est-ce que vous en pensez ?
317 1 : ben oui faut faire
318 2 : c'est ou qu'il faut aller ? Impression 3D
319 1 : il faut aller sur impression
320 Ens : non-initialisation
321 2 : // à cliquer sur initialisation
322 1 : // montre le plateau qui monte 10 mn
323 2 : et ça fait quoi la ?
324 Ens : c'est marqué la // montre la fiche et indique les opérations déjà effectuées
325 1 : donc il faut aller la // lit la fiche réglage
326 1 : mettre un morceau de feuille. Monsieur on le trouve ou le morceau de feuille
327 Ens : //indique le morceau de feuille à côté du plateau
328 1 : // continue la lecture
329 2 : non parce que ce que t'as mis là c'est 120, il faut mettre 133
330 1 : il y va pas
331 2 : si il y va attends
332 2 : ou sinon on fait ça // saisie la valeur au clavier
333 2 : lâche, lâche, lâche, tu fais avec les chiffres

334 1 : 0 c'est ça
335 2 : mets aller
336 1 : // lit très attentivement la fiche
337 2 : attend je le fais // saisie une nouvelle valeur au clavier
338 1 : //termine la saisie
339 2 : attends, ils ont dit quoi ? Augmenter légèrement... // relit la fiche
340 1 : // prend le relais de la lecture
341 2 : ça marche pas
342 1 : t'as mis quoi ?
343 2 : 133 il fallait mettre. Pourquoi ça marche pas // appel l'enseignant
344 Ens : qu'est-ce qui vous arrive ?
345 2 : ça veut pas monter
346 Ens : t'es sur ? Mets 120 pour voir // l'enseignant lance une manipulation de vérification
347 2 : mais ils ont dit 133
348 Ens : mets 120 c'est moi qui te le dit
349 1 : comme ça je le mets // valide la valeur, le plateau descend
350 Ens : voilà ça marche, tu remets 133 et vous continuez
351 1 : // mets 133, voit le plateau monter, 1et 2 sont satisfaits.
352 1 : // lit la suite de la fiche
353 2 : // prends le relai de la lecture et effectue la manipulation
354 2 : tu pourras mettre descendre
355 1 : et j'ai mis quoi ?
356 2 : non y écrit descendre
357 1 : // regarde la fiche puis le plateau
358 Ens : ça va ?
359 2 : oui
360 1 : non
361 Ens : qu'est qui va pas ?
362 2 : en fait on met point 10 point 2 et quand on met 'aller' ça descend pas
363 Ens : tout à l'heure vous avez vu, ça descendait
364 1 : mais là on doit recommencer l'opération
365 Ens : lit jusqu'à la fin, pourquoi on veut monter ou descendre ?
366 1 : je sais pas, pour bloquer a feuille
367 Ens : voilà
368 1 : entre la buse et le plateau // regarde les éléments de l'imprimante
369 Ens : est-ce que la feuille est bloquée la ?
370 1 et 2 : non
371 2 : pour bloquer la feuille va falloir monter
372 2 : met le à 135 pile on va voir 15 mn
373 1 : // saisie la valeur
374 1 : c'est pas encore coincé // semble avoir bien compris l'itération
375 2 : on met 140
376 1 : non c'est trop on met 135,5

377 2 : je sais si on met des points trucs ça monte pas
378 Ens : // débloque le système
379 1 : là c'est bon la
380 2 : non pas encore
381 1 : mais qu'est-ce que tu dis
382 2 : mais c'est bon c'est le truc blanc
383 2 : il faut que ça touche
384 1 : il faut que ça bloque
385 Ens : est-ce que c'est bloqué ?
386 1 : ben oui // regarde attentivement le plateau
387 2 : non je crois pas
388 1 : // saisie une nouvelle valeur
389 2 : 136, faut que tu fasses 'entrée'
390 1 : c'est bon la
391 2 : non
392 1 : mais si // s'énerve
393 2 : c'est le truc blanc qu'i faut que ça touche ?
394 1 : ben il faut tirer la feuille, oui c'est bloqué
395 1 : //lit la suite de la fiche et valide les opérations
396 2 : // approuve
397 1 : // enlève la feuille, passe à la fiche suivant
398 1 : ça va faire une bille la
399 2 : vas-y la imprimer // semble sûr de lui
400 1 : valider, c'est bon, ça aussi c'est bon
401 1 et 2 // regarde attentivement le plateau
402 Ens : alors c'était si difficile que ça ?
403 2 : non
404 2 : pourquoi ça le fait pas, ça chauffe pas ? // s'impatiente
405 Ens : ça chauffe, il y a la température là, il faut que ç arrive à 260 °C 20 mn
406 1 : on laisse faire // s'impatiente un peu aussi
407 1 : ça à l'air de marcher // résultat correct au 1^{er} essai fin d'impression
408 1 : on a réussi du premier coup // s'adresse à d'autres élèves
409
410

Binôme NAF1

- 411
- 412
- 413 2 : // effectue le classement seul
- 414 2 : t'es d'accord ?
- 415 1 : oui ça c'est bon ,après le deuxième.
- 416 1 : lancer le logiciel, d'accord // participe un peu (34mn)
- 417 2 : le 6 puis en 8, la initialiser l'imprimante
- 418 1 : ça y est c'est bon
- 419 Ens : vous êtes d'accord ?
- 420 1 : oui
- 421 Ens : c'est bien // fin du classement des fiches 35 mn
- 422 2 : G c'est 8, B en 7, A en 6, E en 5, 4 C, D 3, F 2, et H 1
- 423 1 et 2 : // attendent pendant 1mn 30 sans rien faire
- 424 Ens : vous pouvez commencer, vous suivez les indications
- 425 2 : mais c'est juste ou pas ?
- 426 Ens : on va voir, vous avancer on verra bien
- 427 2 : ça veut dire il faut initialiser
- 428 2 : 3 lancer le logiciel UP, c'est fait, 4 c'est fait, le 5 régler la distance entre le plateau et la
- 429 buse, je sais pas si c'est fait
- 430 Ens : ça c'est pas fait, le réglage n'est pas fait
- 431 1 : regarde sur la fiche je pense que c'est prêt // montre l'écran
- 432 2 : c'est prêt, mais il faut voir la diff ...
- 433 1 : passe-moi le machin // montre l'écran
- 434 2 : attend du coup c'est elle, alors(lit la fiche) //prend les fiches
- 435 2 : mettre la feuille de papier épaisseur 0,1 ah ça on l'a pas fait
- 436 1 : faut le faire
- 437 2 : l'épaisseur du papier heu ? Faut la mettre ? // appel enseignant
- 438 Ens : oui, elle est ici
- 439 2 : non, mais l'épaisseur c'est ça, c'est ça l'épaisseur // prend la feuille à l'élève 1
- 440 2 : entre le plateau et la buse, je crois que c'est ça // pose la feuille sur le plateau, 1 l'aide
- 441 2 : voilà, voir photo, cliquer sur centre
- 442 1 : centre c'est la // montre l'écran
- 443 2 : saisir la valeur, cliquer dans la zone aller // cherche sur le clavier
- 444 1 : il faut remplacer, c'est juste la // tape la valeur sur le clavier
- 445 Ens : mettez un point (à la place de la virgule)
- 446 2 : (lit la fiche) cliquer sur aller
- 447 2 : plateau monte
- 448 1 et 2 : // observent le plateau qui monte
- 449 2 : (lit la fiche) par exemple avec les flèches, c'est beaucoup
- 450 2 : ah oui, on peut dire 3,10
- 451 2 : on monte jusqu'à 10 ou c'est 1 qu'il faut ? // appel enseignant
- 452 1 : met 10 en cas

453 2 : ils disent légèrement
454 2 : là je crois que c'est ça, c'est 1, cliquer sur aller
455 2 : ils disent légèrement, je pense que c'est ça
456 2 : //lit la fiche avec le paragraphe sur l'itération
457 2 : opérations 6 et 7, relit la fiche 40 mn
458 2 : recommencer les opérations, etc...
459 1 : //touche légèrement la feuille
460 2 : touche un peu la feuille pour voir, elle est pas bloquée // 1 touche la feuille
461 1 : attends je recommence // touche plusieurs fois la feuille, et sent qu'elle n'est pas
462 bloquée
463 2 : attends un peu
464 1 : là ça commence
465 2 : tu me dis quand c'est bon hein
466 1 : ah ça commence, je sens
467 1 : ah, là ça commence
468 2 : un dernier
469 1 : c'est bon
470 2 : c'est bon ? Elle a bloqué ?
471 1 : elle est bloquée
472 2 : // lit la suite de la fiche (définir la hauteur)
473 2 : enlève la feuille // 1 enlève la feuille (qui est légèrement coincée)
474 2 : voilà donc 5, 6 initialiser l'imprimante, fais voir les petits papiers
475 1 : celui la
476 1 et 2 : // ne se posent pas de question, 2 lance l'initialisation en lissant la fiche
477 2 : initialisation (lit la fiche), faut attendre qu'elle fasse la...
478 1 : //touche légèrement le plateau en mouvement, puis la bobine de fil qui se déroule
479 Ens : //intervient
480 Ens : évites de toucher le fil si des impuretés se déposent ça a tendance à coincer
481 2 : c'est bien fait hein
482 2 : // lit la fiche sur l'initialisation sur l'initialisation et appelle l'enseignant
483 2 : ça monsieur on doit le faire la note ?
484 Ens : non c'est pas la peine, c'est quand ce n'est pas relire
485 2 : ah d'accord
486 2 // lit la fiche « lancer l'impression » et lance l'impression 44 mn
487 2 : appuyer sur 3D et imprimer // lit la suite et effectue les opérations
488 2 : attendre la montée et que la température la buse atteigne 100 degrés
489 2 : surtout touches pas
490 1 : ah oui 100 degrés
491 Ens : explique la montée en température et les indications à l'écran
492 // impression en cours 50 mn
493 // fin de l'impression, la bille est correcte.
494

495

Binôme NAF2

496

497 1 : On vous montre quand on a fini ?

0 mn

498 Ens : Vous pouvez avancer seul

499 1 et 2 : et si on se plante ?

500 Ens : ce n'est pas grave, je suis quand même là pour vous aider s'il y a des gros soucis.

501 1 et 2 : oui

502 2 : on a tout en fait, mais attends, mais attends, là juste là

503 1 : tais-toi, je cherche //insultes

504 1 : déjà là c'est le premier, ensuite il faut faire...

505 2 : attends, il faut mettre le Postit

506 1 : tu m'as énervé la //insultes

507 2 : c'est quoi que tu as mis en 2 ?

508 1 : relier l'imprimante à l'ordinateur, mettre en route l'imprimante, aller colle...c'est

509 bien, ensuite

510 2 : c'est ça, lancer le logiciel

511 1 : t'est sur ? Ensuite faut faire ça, j'hésite entre ces 2 la

512 2 : non c'est ça, ça c'est quand on a fini, ça c'est quand on a fini

513 1 : oui ben mets ça

514 2 : ça c'est le dernier

515 1 : c'est le dernier, fais voir ça, ça après

516 2 : la après

517 1 : ah, attends...c'est installer le logiciel

518 2 : oui

519 2 : elle est ou celle de là ?

520 1 : bah c'est ça, ça c'est quand on a fini

521 2 : bon bah regarde-moi ça

522 1 : tiens...ça c'est le dernier...et après...tiens

523 2 : tu te trompes

524 1 : Celui-là on aurait dû le mettre la , voilà

525 Ens : Donc vous y allez

526 1 : on marque là monsieur

527 Ens : vous marquez déjà

528 2 : initialiser l'imprimante, n°1, non attends

529 1 : ben voilà

530 2 : excuse-moi, ça va

531 1 : tu ne sais rien faire

532 2 : houai comme ça, ça va

533 1 : 6

534 2 : mettre en route l'imprimante

535 1 et 2 : 3

536 1 : tu peux pas imprimer si tu l'as pas mis en route

537 2 : faut ouvrir le fichier bille
538 1 : 5, c'est moi qui le dis
539 2 : lancer le logiciel , c'est 4
540 1 : 4
541 2 : régler la distance entre le plateau, c'est 7 ça non
542 1 : euh houai après
543 2 : relier l'imprimante à l'ordinateur
544 1 : ça c'est le 2
545 2 : lancer l'impression c'est le 8
546 1 : t'as tout compris
547 2 : mettez les fiches dans le bon ordre // lit la fiche 6 mn - fin du classement
548 1 : mettre en route l'ordinateur, c'est bon,
549 2 : relier l'imprimante à l'ordinateur, c'est fait
550 1 : c'est fait aussi, lancer le logiciel, c'est fait
551 2 : voilà c'est fait
552 1 : ouvrir le fichier bille, c'est fait
553 2 : t'es sur, ah oui
554 1 : initialiser l'imprimante
555 2 : initialiser c'est la (montre à l'écran)
556 1 : heu oh oh // lance l'initialisation de l'imprimante 6mn43
557 2 : on s'est trompé d'ordre
558 1 : attends, faut régler la distance c'est heu
559 2 : ça va pas // rires
560 2 : régler la distance entre la buse et le plateau
561 1 : mettez un morceau...c'est fait, cliquer sur centre, vas-y elle m'a fait peur, elle était
562 toute seule la.
563 1 : la valeur de...
564 2 : je t'ai dit aller sur ça
565 1 : Ouais c'est 133 // 1 monte la valeur en cliquant avec la souris
566 2 : sinon tu l'écris
567 1 : c'est bon la, ensuite
568 2 : cliquer sur 'aller'
569 ens : il faut mettre une virgule je pense
570 2 : t'as fait un point d'interrogation la
571 1 : voilà, ensuite
572 2 : cliquer sur 'aller', le plateau ira jusqu'à la valeur indiquée, c'est fait ça
573 1 : je fais comme il m'a dit
574 2 : 133,10 virgule 1 quoi
575 1 : la ça ferait 01 sinon
576 2 : non virgule 1 s'est comme si c'était déjà virgule 10
577 1 : ha bon d'accord, recommencez les opérations 6 et 7 en augmentant la valeur, je n'ai
578 pas très bien compris
579 1 : c'est quoi la buse // appel de l'enseignant

580 Ens : vous l'avez sur la photo
 581 2 : c'est ça la // montre sur la photo
 582 1 : il faut la coller
 583 2 : la coller à quoi ? Ah ça a bougé un peu, c'est pas collé, c'est pas collé
 584 2 : c'est pas collé, la non plus // ne touchent pas du tout la feuille
 585 2 : non, non, vas-y encore
 586 1 : c'est bon ? là je ne peux pas 10 mn
 587 2 : ben regarde, c'est pas collé
 588 1 : elle est collée, là c'est bon
 589 1 : //lit la suite de la fiche
 590 2 : euh t'as appuyé où ? sur quitter ?
 591 1 : oui cliquer sur quitter
 592 1 : enlever la feuille
 593 1 : je l'enlève maintenant ? // appel de l'enseignant et touche la feuille pour l'enlever
 594 2 : monsieur ?
 595 ens : si c'est marqué, je sais pas qu'est-ce que t'en penses ?
 596 1 : à l'instinct aller // retire la feuille (qui n'est pas bloquée)
 597 2 : y'a l'autre truc qui s'est mis à faire
 598 1 : oui lancer l'impression
 599 2 : mais attend ça va imprimer sur quoi ?
 600 1 : ben sur ça // désigne le plateau
 601 1 : impression 3D encore, ça bip, ok
 602 ens : il faut attendre que ça chauffe un petit peu
 603 1 : ça doit monter à combien
 604 ens : c'est marquer sur la feuille
 605 1 : 800
 606 Ens et 2 : non pas 800, mais 260
 607 1 : ça chauffe // Bip de l'imprimante 13 mn
 608 1 : j'espère qu'on n'a pas fait des conneries encore (chuchote)
 609 2 : je crois que ...
 610 1 : c'est pas une bille ça
 611 Ens : c'est pas une bille, on dirait pas une bille, non
 612 2 : on s'est loupé la
 613 Ens : ce n'est peut-être pas la peine d'aller plus loin, on fait arrêt de l'impression
 614 2 : on arrête ?
 615 Ens : oui
 616 1 : ben oui la bille elle part en c....
 617 Ens : je ne dirais pas ça, mais voilà votre bille, manifestement ce n'est pas une bille
 618 2 : on s'est trompé ou ?
 619 Ens : c'est ma question qu'est-ce que vous pouvez faire et recommencer pour avoir une
 620 bille correcte
 621 1 : moi je pense que le truc il touchait pas assez, il touchait même pas du tout
 622 Ens : quel truc ?

623 1 et 2 : la buse
624 1 : la buse et le petit pic 15 mn
625 Ens : bien vous allez essayer de recommencer alors
626 1 : let's go //replaces la feuille sur le plateau
627 2 : tu crois qu'on s'est pas trompé dans ça ?
628 1 : non tout le reste j'avais vérifié c'est bon
629 2 : non, mais dans les numéros d'étapes, tu penses pas qu'on s'est trompé dans ça, dans
630 les étapes à faire ?
631 1 ah c'est possible // reprend l'ensemble des fiches et contrôle
632 2 : déjà la une c'est sur c'est ça, 2 on a mis quoi ? ça c'est sur et après la 3 ou la 4
633 1 : ça c'est bon, ça c'est sur
634 2 : en 4 on a mis ça, attends regarde ça va pas ça
635 1 : le fichier bille aussi c'est bon, je suis désolé
636 2 : là je crois que c'est la 6 puis la 7 puis après on essaye // manipule les fiches
637 2 : mais non je crois qu'on s'est pas trompé dans les numéros
638 2 : // lit la fiche
639 1 : on change
640 2 : on tente, on va voir
641 1 : ça s'est obligé que ce soit ça parce que c'est lancé l'impression. Dans tous les cas si on
642 s'est trompé c'est là-dessus
643 2 : oui parce que les autres je vois pas ce qui va pas, on tente ?
644 1 : allez
645 Ens : alors ?
646 2 : on a inversé un truc
647 Ens : qu'est ce que vous avez inversé ?
648 1 : le 6 et le 7
649 2 : régler la distance entre la buse et le plateau et initialiser l'imprimante, on a mis régler
650 la distance entre la buse et le plateau avant
651 1 : en tous les cas si on s'est trompé, c'est sur ça
652 Ens : combien vous aviez comme valeur ?
653 1 : 134,9, on n'a pas réussi à faire plus.
654 2 : pourquoi on a pas fait 135,30 // touche l'écran
655 1 : on a fait 134 déjà
656 2 : pourquoi on a pas fait 135,30 ?
657 1 : je sais pas il voulait pas
658 2 : c'est pas ça ou on s'est trompé non ?
659 1 : j'en sais rien du tout.
660 2 : la tu vas à 133,0 max
661 1 : oui, mais après ils ont dit qu'on pouvait le faire
662 2 : la
663 1 : mais je l'ai fait, oui, mais après tu peux monter, et après tu fais répéter le 6 et le 7,
664 t'augmente jusqu'à tant que ça touche
665 1 : // manipule l'ordinateur

666 2 : essaye 135,4
667 1 : voilà ça touche
668 2 : tu crois ?
669 1 : oui parce que la feuille, elle a bougé
670 2 : ça touche pas // ne teste toujours pas la feuille
671 2 : va à 135,3
672 1 : la ça touche
673 2 : tu crois ?
674 1 // teste si la feuille est bloquée
675 2 : je crois que ça touche
676 1 : ça touche pas
677 2 // teste si la feuille bloque
678 1 : c'est bon t'arrives à la bouger ?
679 2 : oui j'arrive à a bouger
680 1 : bon attend on l'enlève...attend
681 2 : donc on attend, t'as vu c'est 134,9
682 2 : (lit la fiche) enlever la feuille // enlève la feuille (qui n'est pas bloquée)
683 2 : après on passe au 7, ah non initialiser l'imprimante
684 1 // initialise l'imprimante 20 mn
685 1 : ah non // ricane
686 Ens : qu'est-ce qui vous arrive ?
687 1 : en fait on se n'était pas trompé, on aurait juste du plus collé le ..., on s'est pas trompé
688 sur le 7
689 2 : en fait en avait raison tout à l'heure
690 1 : je pense que c'est de ta faute
691 2 : qu'est-tu dis c'est de ma faute ? attends du coup on doit recommencer
692 1 : // relance l'initialisation
693 2 : c'est en train de réinitialiser
694 1 : oui, mais faut refaire
695 2 : c'est le 3^e essai
696 2 : centre, appuie sur centre, tu vas oublier, 3
697 1 : j'avais fait 4 moi la dernière fois
698 2 : non, la ici // montre sur la feuille
699 1 : attend tu m'as fait tout perdre
700 2 : attend la feuille // met la feuille sur le plateau
701 1 : je crois que j'avais fait 134,8 la dernière fois et puis c'était bon
702 2 : 134,8
703 2 : // test la feuille plusieurs fois pendant que 1 augmente la valeur
704 1 : oui ça y est
705 2 : je pense que c'est bon, tu veux que je l'enlève ? // la feuille n'est pas bloquée
706 1 : attend, cliquer, puis enlever la feuille, enlève la feuille
707 2 // enlève la feuille qui n'est toujours pas bloquée
708 1 : ensuite faut faire imprimer

709 2 : t'as vérifié 135,4 c'est ça, tout à l'heure c'est qu'on a mis, ah non c'était 134
710 2 : on va voir si ça marche
711 1 : c'est quoi nozzle
712 Ens : ça veut dire buse en anglais, ils n'ont pas tout traduit sur le logiciel de l'ordinateur
713 Ens : c'est la documentation telle qu'elle est à l'origine, qu'on a quand on achète
714 l'imprimante, si tu l'achètes tu auras ça
715 Ens : là vous avez combien ?
716 1 et 2 : 135,4
717 Ens : vous pensez qu'il sera mieux que tout à l'heure 25 mn
718 1 : oui je pense
719 1 : t'as vu, ça marche
720 2 : oui ça marche // l'impression se fait correctement 30 mn
721
722

723

Binôme NAF3

724

725 Ens : // explique la manipulation 0 mn

726 1 : // commence à manipuler l'ordinateur

727 2 : allume l'ordi d'abord

728 1 : // saisie la souris

729 2 : ha il faut allumer l'imprimante

730 Ens : la première chose à faire, c'est de mettre les fiches dans l'ordre (2X)

731 2 : la B c'est la 1

732 1 : //commence à remplir la feuille de réponses

733 2 : attends, attends, mettre en route l'ordinateur //classe les fiches

734 1 : // saisie la souris

735 2 : // lui passe une fiche à classer 5 mn

736 2 : ça puis ça, il est ou le 3

737 1 : ça doit être lui

738 2 : là il y en route l'ordinateur, en route l'imprimante et après le 3 c'est lui // lit les

739 fiches

740 1 : ensuite c'est le 4

741 2 : // numérote les fiches de 1 à 7

742 1 : t'es sur ?

743 2 : non, ça c'est quoi

744 1 : c'est relier l'imprimante à l'ordi

745 2 : 3 ensuite ...// modifie le classement

746 1 : D, A, C, E et G // fin du classement 6mn40

747 Ens : ça y est c'est dans l'ordre ?

748 2 : oui

749 Ens : maintenant vous pouvez le faire

750 2 : // lit les fiches

751 2 : alors tu lances l'ordinateur //ça c'est fait

752 2 : il faut relier l'imprimante ? // question à l'enseignant

753 Ens : c'est déjà fait

754 1 : // lit la suite des fiches, arrive à l'initialisation de l'imprimante

755 1 : ça y est pas

756 2 : clique sur fichier, clique sur impression 3D, clique sur édition

757 1 : ça y est pas

758 2 : normal, c'est sur impression 3D

759 1 : ah oui //lit la suite de la fiche

760 1 : ok, ça veut dire qu'elle est prête // lit la fiche

761 1 : alors faut aller dans open //lit la fiche

762 2 : ouvre le fichier bille

763 1 : bille ?

764 1 : voilà

765 2 : voile il est là // 1 a ouvert le fichier

766 1 : //continue les opérations en lisant « mettre un morceau de papier »

767 2 : entre quoi ? // prend le morceau de papier

768 1 : entre le plateau et la buse, ça doit être ça

769 2 : // hésite à poser la feuille sur le plateau

770 1 : le plateau c'est ça, la buse je sais pas ce que c'est // montre le plateau :

771 2 : // tiens le morceau de papier au-dessus du plateau en hésitant

772 1 : buse, c'est la buse

773 2 : faut la mettre la quoi //finit par poser la feuille sur le plateau

774 1 : oui c'est ça la buse // montre la buse à son camarade

775 1 : // lit la suite de la fiche et effectue les opérations

776 1 : saisir la valeur de 133 10 mn

777 2 : 233 ou 133 ?

778 1 : 133 // 2 saisie la valeur au clavier

779 1 : 133 point 00

780 2 : faut marquer monsieur point 00 ou on laisse 133 ?

781 Ens : // ne répond pas

782 1 : aller, pourquoi il y a un point d'interrogation ? Ah oui // visualise le menu sur

783 l'ordinateur, lit la suite de la fiche

784 1 : ça y est c'est fini //observe la montée du plateau, continue la lecture, continue la

785 manipulation

786 2 : baisse un peu pour voir

787 1 : remarque c'est vrai que ça y est

788 2 : c'est pas compliqué

789 1 et 2 //continuent l'itération, mais n'ont pas tester si la feuille est bloquée

790 2 : 133 tu m'as dit ? //manipule la souris

791 1 : oui //

792 1 : elle est bloquée

793 2 : oui elle est bloquée quand même // ils regardent la feuille

794 1 : //lit la suite de la fiche pour valider le réglage

795 2 : // exécute la procédure et lit la suite, enlever la feuille

796 1 : // hésite

797 2 : avec les doigts ? // demande à l'enseignant

798 Ens : oui

799 2 : // retire délicatement la feuille qui n'est pas bloquée

800 1 : lancer l'impression //termine la lecture et la procédure

801 1 : pourquoi il y a marqué XXXX ? // certaines indications sont barrées sur la fiche

802 Ens : c'est juste rayé, pour cacher ce qu'il y a écrit et qui n'est pas intéressant

803 1 : faut que j'appuie sur OK la ?

804 2 : oui

805 1 : ouf, c'est un petit pas pour l'homme, un grand pas pour l'humanité

806 2 : la température doit atteindre 260 °C

807 Ens : vous avez les valeurs des températures ici // indique l'écran

808 2 : c'est chaud

809 Ens : le plateau est à 100°C

810 1 : c'est pas très chaud // touche très légèrement le plateau 15 mn

811 2 : c'est comme un pistolet à colle

812 2 : c'est quoi ça ? // regarde le début de l'impression

813 Ens : c'est votre bille

814 2 : la bille ? ça ressemble à rien //l'impression est ratée

815 Ens : qu'est-ce que vous en pensez ?

816 2 : c'est un échec

817 Ens : vous pouvez arrêter ce n'est pas la peine d'aller plus loin

818 2 : et comment on fait pour en avoir une ?

819 Ens : voilà c'est la question, qu'est que vous devez faire ?

820 2 : c'est peut-être la hauteur qui va pas

821 Ens : et alors ?

822 2 : y'avait les images aussi dans le logiciel

823 Ens : il faut recommencer en changeant quelque chose

824 1 : peut-être la diminuer ou l'augmenter

825 2 : ou alors on a mal mis la feuille de papier, je sais pas

826 1 : la hauteur était à 133

827 Ens : vous vouliez aller plus haut ?

828 1 : oui puisqu'il y avait écrit 133,2

829 Ens : essayer de refaire en arrangeant ça

830 2 : on n'a pas besoin de mettre du papier ? // demande à l'enseignant

831 Ens : vous refaites la manipulation, c'est vous qui voyez

832 2 : //remet la feuille en place sur le plateau

833 2 : c'est ou le test déjà ?

834 1 : la vas-y // les élèves oublient de remettre la buse au centre du plateau

835 1 et 2 : // ajuste le plateau et regarde la feuille 20 mn

836 2 : peut-être on n'a pas assez serré

837 2 : en fait elle y pas encore

838 1 : ou la

839 2 : 134 // regarde très attentivement la feuille

840 2 : elle y est pratiquement

841 2 : on peut retenter monsieur ?

842 Ens : oui, vous avez changé quelque chose ?

843 1 : on a changé la hauteur

844 Ens : combien ?

845 2 : 134,4

846 2 : on fait RAZ, ensuite

847 1 : c'est l'autre fiche

848 2 : enlever la feuille // enlève la feuille (qui n'est pas bloquée)

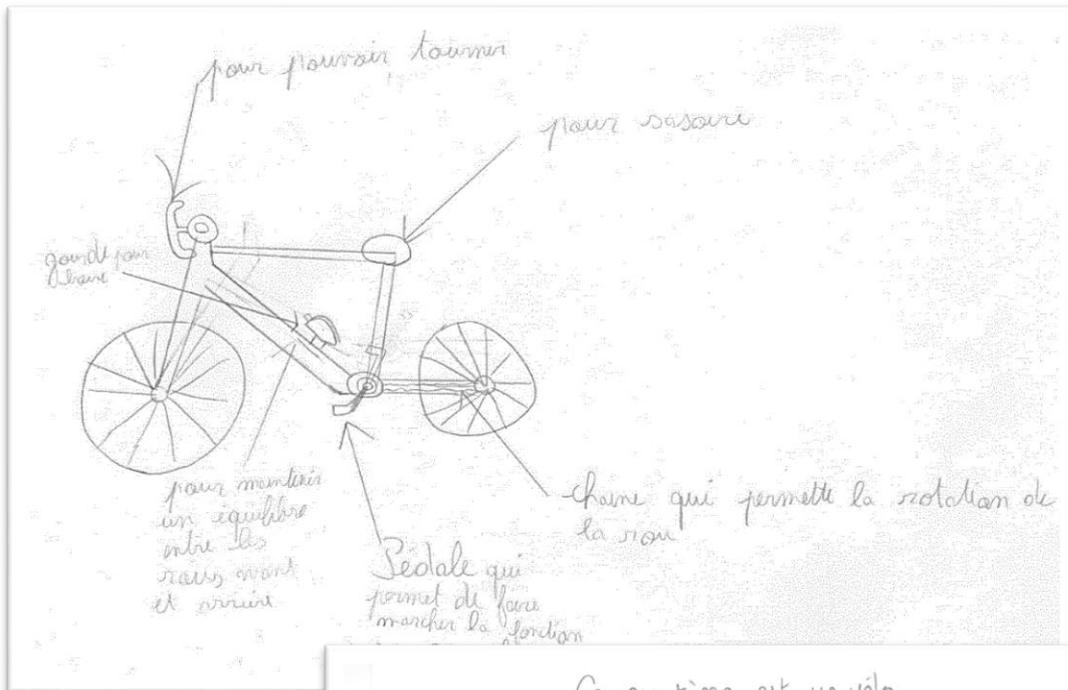
849 1 : //effectue la procédure pour lancer l'impression

850 Ens : ça va être bon cette fois ?

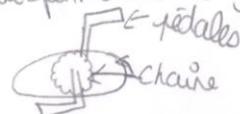
851 2 : je sais pas
852 1 : j'espère
853 1 et 2 // surveillent l'impression
854 2 : c'est pas mieux
855 Ens : c'est pas mieux ?
856 1 et 2 : non pareil //l'impression n'est pas correcte
857 Ens : qu'est-ce qui s'est passé ?
858 1 : on a mis trop
859 Ens : trop quoi ?
860 1 : sur la distance
861 Ens : il y avait le support c'était un petit peu mieux, à un moment le support c'est décollé
862 du plateau, pourquoi ?
863 1 : la bille elle a pris trop de hauteur
864 2 : le bout était trop bas
865 Ens : qu'est ce qu'il aurait fallu faire ? // les élèves n'ont pas le temps de faire un
866 troisième essai.
867 2 : diminuer un peu
868 Ens : la première fois vous aviez 133, puis la 134 vous auriez mis quoi en recommençant
869 2 : 133,5
870 Ens : en fait il aurait fallu monter un peu plus le plateau pour coincer la feuille
871

Annexe 8 : exemples de productions d'élèves

Test d'entrée (description d'un vélo)



Ce système est un vélo,
Sa fonction est de se déplacer en roulant à l'aide des deux roues. Il y a un système de pédales qui permet d'enclencher les chaînes, qui permettent de faire avancer les roues.



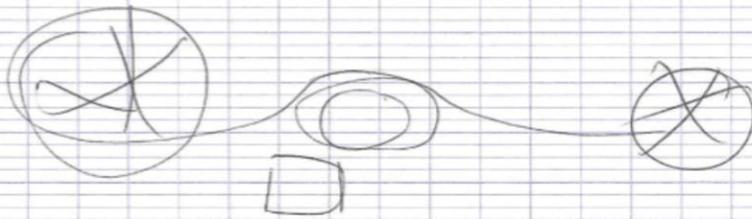
Pour choisir sa direction, on utilise un guidon qui tient la structure en place. À l'aide de la selle, on s'assoit dessus et on appuie sur les pédales.



Pour s'arrêter, on utilise les freins qui sont sur le guidon.

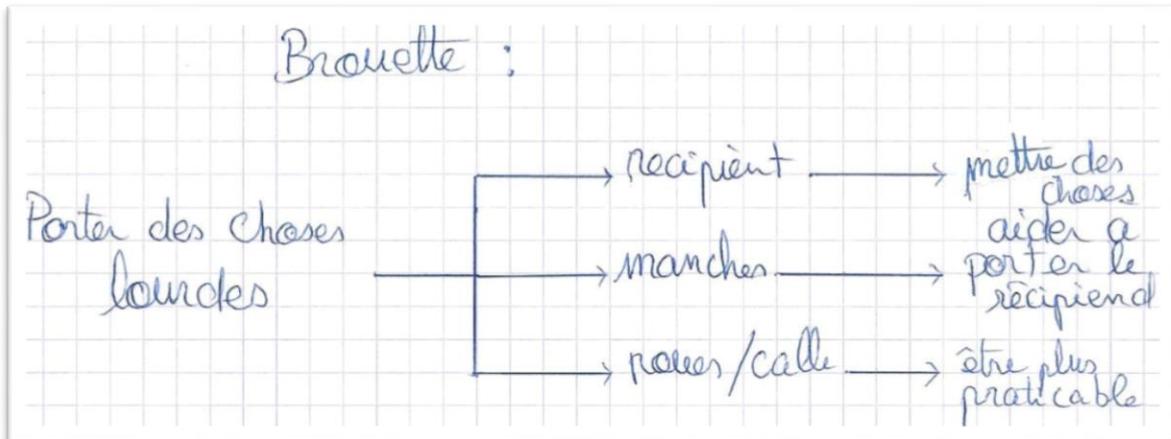
Sur certains vélos, il y a des vitesses.

grâce aux pédales, et la poussée
des pieds, la chaîne accrochée
aux pédales, la chaîne tourne
et les roues aussi. puis le
tenue du guidon on peut diriger
le vélo.

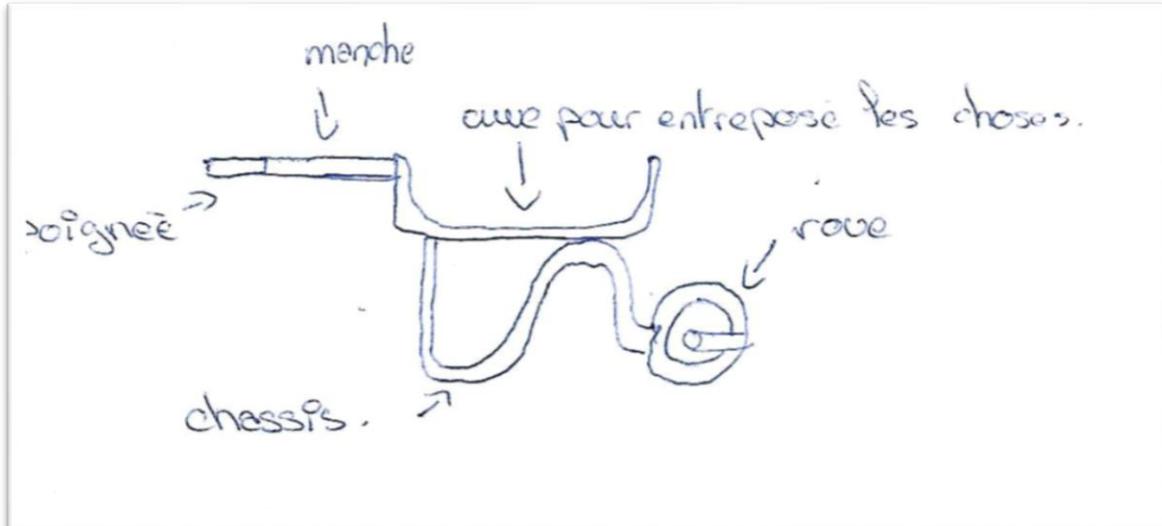


Un vélo, c'est un moyen de locomotion,
il n'a pas de moteur. Il faut monter sur
la selle et il faut mettre les pieds sur des
pédales pour pouvoir avancer. Cette engin
a un guidon ce qui permet de tourner.
Ce vélo a plusieurs plateaux avec des chaînes
pour pouvoir changer de vitesse (pour les
montées ou les descentes). Le vélo
a bien sûr des freins (pour la roue
avant et la roue arrière). Pour le
pratiquer il faut tenir en équilibre.

Étape 3 (exercice d'application sur la brouette)



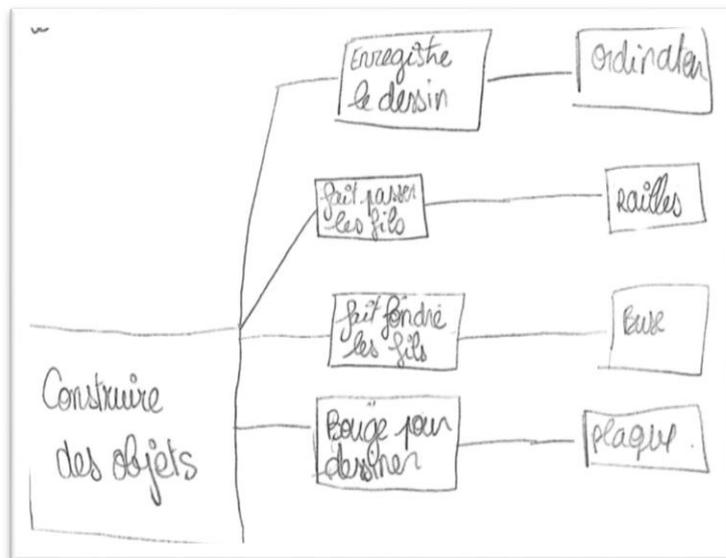
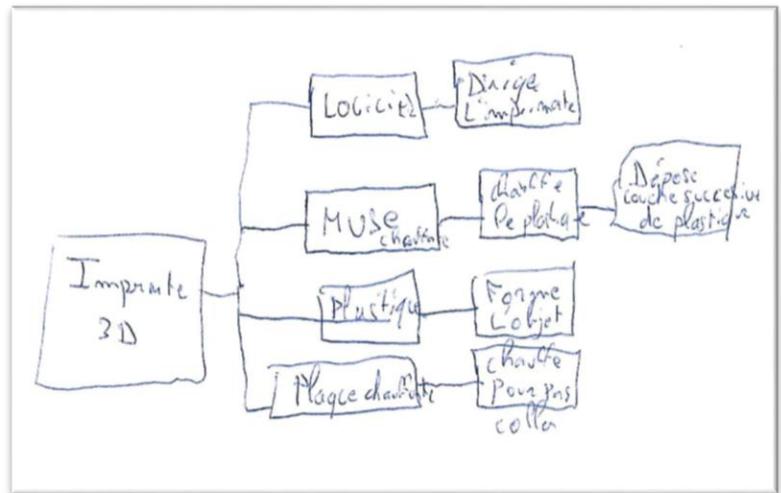
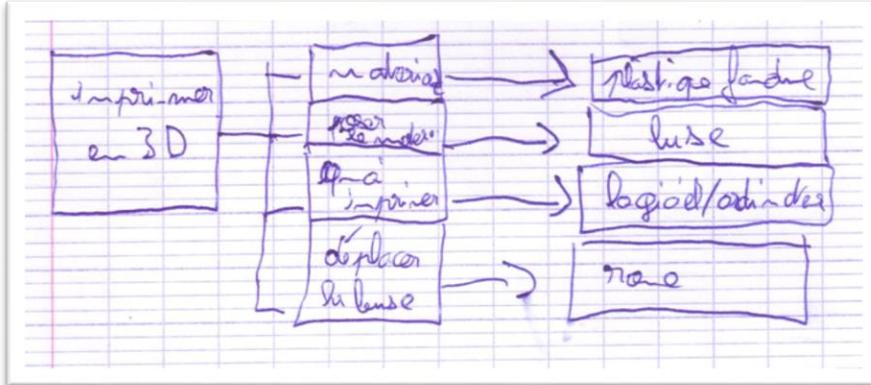
Avec initiation à l'analyse fonctionnelle



Sans initiation à l'analyse fonctionnelle

Étape 5 (description de l'imprimante 3D)

Avec réinvestissement de l'outil FAST



Sans réinvestissement de l'outil FAST

A l'aide d'un logiciel pour faire des objets en 3D sur l'ordinateur on branche l'ordinateur par un câble USB à l'imprimante 3D puis l'imprimante fait en couche... Successive de plastique qui sèche et qui forme l'objet demandé

