Thèse de Doctorat de l'Université du Maine

spécialité

informatique

présentée le 21 janvier 2000 par

Stéphanie JEAN

pour l'obtention du titre de

Docteur de l'Université du Maine

BIBLIOTHEQUE UNIVERSITE DU MAINE LE MANS

PÉPITE : un système d'assistance au diagnostic de compétences

Composition du Jury

Président	M. Pierre TCHOUNIKINE
Rapporteurs	Mme Monique GRANDBASTIEN Mme Anne NICOLLE
Examinateurs	Mme Michèle ARTIGUE Mme Élisabeth DELOZANNE M. Jean-Pierre PEYRIN
Thèse dirigée par	M. Martial VIVET

Je voudrais remercier ici toutes les personnes qui ont contribué à ce travail, aussi bien scientifiquement qu'humainement.

Mes pensées vont plus particulièrement à Martial Vivet sans qui ce travail n'aurait pas vu le jour.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES 1

TABLE DES ILLUSTRATIONS 5

INTRODUCTION 9

L'OBJECTIF DE LA THÈSE 11

LE CADRE DU TRAVAIL : LE PROJET PÉPITE 11

LA NAISSANCE DU PROJET PÉPITE 11

POURQUOI PÉPITE ? 11

LE DOMAINE DE RECHERCHE 12

LE DOMAINE D'APPLICATION 12

L'APPROCHE ADOPTÉE 12

LE SYSTÈME CONÇU 13

PLAN DE LA THÈSE 13

CHAPITRE 1 - PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE 15

1.1. INTRODUCTION 19

1.2. LE TRAVAIL DIDACTIQUE À L'ORIGINE DU PROJET 20

1.2.1. CE QUE L'ON CHERCHE À IDENTIFIER 20

1.2.2. LE MODÈLE DE LA COMPÉTENCE ALGÉBRIQUE 21

1.2.3. L'OUTIL DE DIAGNOSTIC 23

1.2.4. L'UTILISATION DES PROFILS 27

1.2.5. L'ÉVOLUTION DE L'OUTIL DE DIAGNOSTIC 27

1.2.6. LA VALIDATION DE CE TRAVAIL 28

1.3. L'AUTOMATISATION DU DIAGNOSTIC 29

1.3.1. POURQUOI AUTOMATISER CE DIAGNOSTIC ? 29

1.3.2. ARCHITECTURE 30

1.3.3. RÉALISATION INFORMATIQUE 32

1.4. PROBLÉMATIQUE 32

1.4.1. LE RECUEIL DES OBSERVABLES 33

1.4.2. LE DIAGNOSTIC DE COMPÉTENCES 38

1.4.3. UN OUTIL POUR L'ENSEIGNANT 39

1.5. MÉTHODOLOGIE 40

1.5.1. LA RÉUTILISATION D'EXPERTISE 41

1.5.2. DE LA PLURIDISCIPLINARITÉ À L'INTERDISCIPLINARITÉ 41

1.5.3. LES MÉTHODES DE CONCEPTION UTILISÉES 44

1.5.4. L'ÉVALUATION 49

1.6. BILAN 52

CHAPITRE 2 - LE RECUEIL D'OBSERVABLES 53
2.1. INTRODUCTION 57
2.2. PROBLÉMATIQUE 57
2.2.1. LES EIAO D'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EN ALGÈBRE 58
2.2.2. CONCLUSION 61
2.3. DÉMARCHE DE CONCEPTION 62
2.3.1. LES ÉTAPES DE LA CONCEPTION DU LOGICIEL ÉLÈVE 62
2.3.2. DÉTERMINATION DES SPÉCIFICATIONS 64
2.4. DESCRIPTION DE PÉPITEST 66
2.4.1. LES PREMIERS ÉCRANS 66
2.4.2. LE LOGICIEL DE TEST 68
2.4.3. LA STRUCTURATION DE L'ÉCRAN 70
2.4.4. L'ORDRE DES EXERCICES 71
2.4.5. LA NAVIGATION 71
2.5. LE TRANSFERT DU TEST 72
2.5.1. LE TRANSFERT DE L'ENVIRONNEMENT 72
2.5.2. LE TRANSFERT DES TÂCHES 73
2.5.3. LA MANIPULATION DES EXPRESSIONS ALGÉBRIQUES 78
2.5.4. EFFETS PRODUCTEURS ET RÉDUCTEURS DU TRANSFERT 86
2.6. ÉVALUATION DE PÉPITEST 90
2.6.1. LES CRITÈRES D'ÉVALUATION 91
2.6.2. L'ÉVALUATION DE L'INTERFACE 92
2.6.3. LES EXPÉRIMENTATIONS EN CLASSE 99
2.6.4. RÉSULTATS CONCERNANT PÉPITEST 108
2.7. BILAN 108

CHAPITRE 3 - LE DIAGNOSTIC 109
3.1. INTRODUCTION 113
3.2. LE DIAGNOSTIC EN EIAO 113
3.2.1. DIAGNOSTIC COMPORTEMENTAL / DIAGNOSTIC COGNITIF 113
3.2.2. TECHNIQUES DE DIAGNOSTIC 114
3.2.3. LE DIAGNOSTIC DANS PÉPITE 116
3.3. DESCRIPTION DE PÉPIDIAG 116
3.3.1. LE DIAGNOSTIC 116
3.3.2. LA MATRICE DE DIAGNOSTIC 117
3.4. LES DIFFÉRENTS TYPES D'ANALYSE 118
3.4.1. LES RÉPONSES AUX QUESTIONS FERMÉES 119
3.4.2. LES RÉPONSES AUX QUESTIONS OUVERTES 120
3.4.3. BILAN SUR LE FONCTIONNEMENT DE PÉPIDIAG 136
3.5. ÉVALUATION DE PÉPIDIAG 137
3.5.1. LE CRITÈRE DE VALIDATION 137
3.5.2. L'ÉVALUATION EFFECTUÉE 138
3.5.3. LES RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION 138
3.6. BILAN 139

CHAPITRE 4 - LE CALCUL ET LA PRÉSENTATION DES PROFILS 141
4.1. INTRODUCTION 145
4.2. LES OUTILS POUR LES ENSEIGNANTS 146
4.3. LES PROFILS COGNITIFS DE PÉPITE 146
4.4. LE CALCUL DES PROFILS 147
4.4.1. LES TAUX DE RÉUSSITE 147
4.4.2. LES TRAITEMENTS 148
4.4.3. LES MODES DE FONCTIONNEMENT 149
4.4.4. LE DIAGRAMME D'ARTICULATION ENTRE LES CADRES 150
4.4.5. L'APPLICATION DE SEUILS 151
4.5. LA PRÉSENTATION DES PROFILS 152
4.5.1. PRÉSENTATION GLOBALE DU PROFIL 153
4.5.2. PRÉSENTATION DÉTAILLÉE DU PROFIL 159
4.5.3. DES PROFILS PARAMÉTRABLES 160
4.5.4. DIFFÉRENTS NIVEAUX D'IMPLICATION DE L'ENSEIGNANT 161
4.5.5. QUESTIONNEMENT SUR L'UTILISATION DE PÉPIPROFIL 163
4.6. LES UTILISATIONS POSSIBLES DE PÉPITE ET DE SES PROFILS 163
4.6.1. UTILISATION DES PROFILS EN CLASSE 164
4.6.2. UTILISATION DES PROFILS EN CLASSE, AVEC L'AIDE DE PÉPICLASSE 164
4.6.3. UTILISATION DES PROFILS DANS UN EIAO 166
4.6.4. INTÉGRATION DES PROFILS À L'ÉVALUATION NATIONALE EN SECONDE 166
4.6.5. UTILISATION DES PROFILS PAR LES ÉLÈVES 167
4.6.6. UTILISATION DES PROFILS COMME BILAN 167
4.6.7. UTILISATION DE PÉPITE EN FORMATION DES MAÎTRES 169
4.6.8. AMÉLIORATION DU DIAGNOSTIC 169
4.6.9. AMÉLIORATION DE L'ANALYSE DIDACTIQUE A PRIORI 169
4.7. ÉVALUATION DE PÉPIPROFIL 170
4.7.1. CRITÈRE DE VALIDATION DE PÉPIPROFIL 170
4.7.2. ÉVALUATION DE L'INTERFACE 171
4.7.3. RÉSULTATS 173
4.8. BILAN 173

CONCLUSION ET PERSPECTIVES 175
RÉSULTATS 179
LIMITES 180
PERSPECTIVES 180
CONCEPTION D'UN SYSTÈME AUTEUR 181
UTILISATION DE SYSTÈMES DE DIAGNOSTIC EXISTANTS 181
INTÉGRATION DES TRACES AU DIAGNOSTIC 182
UTILISATION DES PROFILS DE PÉPITE PAR D'AUTRES SYSTÈMES 183
LES APPORTS DE NOTRE TRAVAIL 183
MÉTHODE DE CONCEPTION 183
APPROCHE ADOPTÉE POUR LE DIAGNOSTIC 184
CONCLUSION 185

RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE 187

ANNEXES 207

ANNEXES - PREMIÈRE PARTIE : L'INTERFACE DE TEST 211

ANNEXE 1 LE TEST PAPIER – CRAYON ET LA GRILLE D'ANALYSE 213

ANNEXE 2 LES EXERCICES DE PÉPITEST – L'EXEMPLE D'ANNE LAURE C. 225

ANNEXE 3 LES OUTILS DE PÉPITEST 243

ANNEXE 4 PÉPITEST EN ANGLAIS 245

ANNEXE 5 UN EXEMPLE D'ÉVOLUTION DU TEST PAPIER – CRAYON 247

ANNEXE 6 LE TRANSFERT DE L'ENVIRONNEMENT ET DES TÂCHES 249

ANNEXE 7 UN EXEMPLE DE FICHIER DE PRODUCTIONS D'ÉLÈVE 257

ANNEXE 8 UN EXEMPLE DE FICHIER DE TRACE DE PÉPITEST 261

ANNEXE 9 UN EXEMPLE DE TRACE ANALYSÉE 263

ANNEXE 10 LA FICHE D'OBSERVATION POUR LES EXPÉRIMENTATIONS 265

ANNEXE 11 LE QUESTIONNAIRE REMPLI PAR LES ÉLÈVES 267

ANNEXE 12 RÉSULTATS DU QUESTIONNAIRE POUR LES EXPÉRIMENTATIONSDE JUIN 1999 269

ANNEXES - DEUXIÈME PARTIE : LE DIAGNOSTIC 275

ANNEXE 13 UN EXEMPLE DE COMPARAISON DE MATRICES DE DIAGNOSTIC 277

ANNEXES – TROISIÈME PARTIE : L'INTERFACE ENSEIGNANT 279

ANNEXE 14 LES ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION DU PROFIL 281

ANNEXE 15 PÉPIPROFIL – LE PROFIL DE JEAN-LUC T. 285

ANNEXE 16 PÉPIPROFIL – L'IMPRESSION DU PROFIL DE JEAN-LUC T. 291

ANNEXE 17 PÉPIPROFIL EN ANGLAIS 293

ANNEXE 18 L'ÉVALUATION NATIONALE EN SECONDE : TEST ET RÉSULTATS 295

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURES

Figure 1-1 : L'exercice du prestidigitateur : l'énoncé et la réponse de Karine. 20
Figure 1-2 : Le modèle de la compétence algébrique, adapté de [GRUGEON, 1995] 22
Figure 1-3 : L'outil de diagnostic papier - crayon. 23
Figure 1-4 : Un exemple de tâche papier – crayon et de réponse d'élève issue d'un corpus. 25
Figure 1-5 : Représentation de la structure d'analyse pour l'exemple de la Figure 1-4 25
Figure 1-6 : Extrait d'un profil en termes de réussite / échec et cohérences : le cas de Mérième 26
Figure 1-7 : Diagramme d'articulation entre le cadre algébrique et les autres cadres : le cas de Mérième. 27
Figure 1-8 : L'architecture de PÉPITE. 30
Figure 1-9 : Détail du fonctionnement de PÉPITE. 32
Figure 1-10 : La transposition didactique. 34
Figure 1-11 : Transposition didactique et transposition informatique 35
Figure 1-12 : Comparaison coopération / collaboration d'après [LEROUX, 1995]. 41
Figure 1-13 : Comparaison pluridisciplinarité / interdisciplinarité. 42
Figure 1-14 : Différents types de travaux placés sur une échelle pluridisciplinarité / interdisciplinarité. 44
Figure 1-15 : Conception incrémentale. 46
Figure 1-16 : Différentes méthodes de conception selon le degré de participation des membres de l'équipe de conception. 48
Figure 1-17 : Univers externe, interface et univers interne [BALACHEFF, 1994a]. 50
Figure 1-18 : PÉPITE et le modèle de l'élève de BALACHEFF. 51
Figure 2-1 : Un exemple d'évaluation des connaissances s'appuyant sur des questions à réponses par vrai / faux. 59
Figure 2-2 : Un exemple de système d'évaluation des connaissances s'appuyant sur des QCM. 59
Figure 2-3 : Exemples de questions proposant une réponse ouverte dans VEDA. 59
Figure 2-4 : Exemple d'écran de APLUSIX. 60
Figure 2-5 : Saisie d'une expression algébrique et affichage avec DÉRIVE 60
Figure 2-6 : Écriture d'une expression algébrique avec GEOPLANW. 61
Figure 2-7 : Écriture d'une expression algébrique avec l'éditeur de Microsoft. 61
Figure 2-8: Les cycles de la conception du test. 63
Figure 2-9 : L'écran de présentation de PÉPITEST. 67
Figure 2-10 : L'écran d'identification de l'élève dans PÉPITEST. 67
Figure 2-11 : Un exemple d'exercice de PÉPITEST. 68
Figure 2-12 : Le transfert de l'environnement. 73
Figure 2-13 : Le transfert des tâches 74
Figure 2-14 : Quelques transferts particuliers. 75
Figure 2-15 : L'exercice sur les programmes de calcul : énoncé de la première partie. 75
Figure 2-16 : L'exercice sur les programmes de calcul : énoncé de la seconde partie et réponse d'élève...

..... 75
Figure 2-17 : L'exercice utilisant la palette de termes. 76
Figure 2-18 : Modification de l'interface simplifiant l'analyse des réponses. 77
Figure 2-19 : La palette de PÉPITEST permettant l'écriture d'expressions algébriques. 79
Figure 2-20 : Correspondance entre les symboles et leur représentation dans PÉPITEST. 79
Figure 2-21 : L'éditeur d'expressions algébriques de PÉPITEST. 81
Figure 2-22 : Correspondance entre les symboles et leur représentation dans l'éditeur spécifique 81
Figure 2-23 : Étapes de la formation d'une racine carrée en environnement papier - crayon. 83
Figure 2-24 : Étapes de la formation d'une racine carrée avec l'éditeur spécifique de PÉPITEST. 83
Figure 2-25 : Étapes de la formation d'une fraction en environnement papier - crayon (méthode 1). 84
Figure 2-26 : Étapes de la formation d'une fraction en environnement papier - crayon (méthode 2) 84
Figure 2-27 : Étapes de la formation d'une fraction avec l'éditeur spécifique de PÉPITEST. 84
Figure 2-28 : Deux exemples de manipulation d'une expression. 87
Figure 2-29 : Un exemple d'utilisation du copier - coller. 87
Figure 2-30 : La figure à hachurer et une réponse atypique d'élève. 88
Figure 2-31 : L'exercice de hachurage dans PÉPITEST. 88
Figure 2-32 : Transformations appliquées à une expression algébrique dans une zone de saisie 89
Figure 2-33 : Exemple de transformations appliquées à une expression dans une zone de saisie trop petite. 89
Figure 2-34 : Une expression sous forme spatiale et deux exemples de représentation linéaire 89
Figure 2-35 : Critères de validation de PÉPITEST. 91
Figure 2-36 : Le premier exercice de PÉPITEST dans la version expérimentée en octobre 1996. 102
Figure 2-37 : Taux de réponse par exercice. 106
Figure 2-38 : Temps passé par exercice. 107
Figure 3-1 : Le modèle de l'expertise partielle et le modèle différentiel 114
Figure 3-2 : La matrice de diagnostic. 118
Figure 3-3 : Un exemple de QCM, la deuxième question de l'exercice 1. 119
Figure 3-4 : L'analyse a priori pour un QCM, un exemple : la deuxième question de l'exercice 1. 119
Figure 3-5 : L'expression $a^3a^2 = a^6$ *est-elle vraie ? : exemples de justifications d'élèves.* 120
Figure 3-6 : Exercice donnant lieu à des réponses en langage naturel, la réponse d'Amandine. 122
Figure 3-7 : L'analyse a priori pour une réponse en langage naturel, un exemple, l'étape 2 de l'exercice 11. 122
Figure 3-8 : Exercice donnant lieu à des réponses sous forme d'expressions algébriques, la réponse de Céline. 123
Figure 3-9 : L'analyse a priori pour une réponse sous forme d'expressions algébriques, un exemple, l'exercice 12. 124
Figure 3-10 : Les étapes de l'analyse d'une réponse (fictive) sous forme d'expression algébrique 124
Figure 3-11 : Les étapes de la représentation d'une expression algébrique sous forme d'arbre. 126
Figure 3-12 : Les règles de normalisation des arbres d'expression : la commutativité de l'addition, de la multiplication et de l'égalité. 127
Figure 3-13 : Tri d'un arbre équilibré. 127
Figure 3-14 : Les règles de normalisation des arbres d'expression. 128

Figure 3-15 : L'expression $a^2 = 2a$ est-elle vraie ? : exemples de justifications d'élèves en langage « informathurel » 129
Figure 3-16: Un exemple de réponse en langage « informathurel », la réponse de Jean-Luc à l'exercice 18. 129
Figure 3-17 : L'analyse a priori pour une réponse en langage « informathurel », l'exemple de l'exercice 18. 130
Figure 3-18 : Les étapes de l'analyse d'une réponse en langage « informathurel », la 1ère ligne des calculs de Jean-Luc pour l'exercice 18 (cf. Figure 3-16). 131
Figure 3-19 : Énoncé de l'exercice du prestidigitateur. 132
Figure 3-20 : L'exercice du prestidigitateur, trois exemples de réponses d'élèves. 133
Figure 3-21 : L'exercice du prestidigitateur, analyse a priori pour le statut du signe égal. 133
Figure 3-22 : Un exemple d'exercice demandant des justifications, la réponse de Cédric. 134
Figure 3-23 : L'analyse a priori de la première partie de l'exercice 2. 135
Figure 3-24 : Les techniques d'analyse mises en œuvre dans PÉPIDIAG, par types de réponses. 136
Figure 3-25 : Tableau récapitulatif des types de réponses analysés par PÉPIDIAG et de leur importance relative dans PÉPITEST. 136
Figure 3-26 : Critère de validation de PÉPIDIAG, l'épistémomorphisme procédural. 138
Figure 4-1 : Calcul des différents éléments du profil à partir du fichier des caractéristiques des exercices et de la matrice de diagnostic. 147
Figure 4-2 : Représentation des connaissances pour la construction du diagramme 151
Figure 4-3 : PÉPIPROFIL, première partie du profil : taux de réussite et traitements maîtrisés 154
Figure 4-4 : PÉPIPROFIL, deuxième partie du profil : les modes de fonctionnement. 155
Figure 4-5 : Explication de la représentation des modes de fonctionnement pour une composante. .. 156
Figure 4-6 : Le diagramme d'articulation entre les différents cadres. 157
Figure 4-7 : Le résumé du profil, l'exemple de Jean-Luc T. 159
Figure 4-8 : PÉPIPROFIL, le détail du diagnostic. 160
Figure 4-9 : Choix du fichier à l'origine du calcul et de l'affichage des profils. 162
Figure 4-10 : Les différentes utilisations de PÉPIPROFIL selon le degré d'implication de l'enseignant. 162
Figure 4-11 : Construction du profil de la classe à partir des profils d'élèves. 165
Figure 4-12 : Critère de validation de PÉPIPROFIL : l'épistémomorphisme conceptuel. 170

ÉQUATIONS

Équation 4-1 : Méthode de calcul du taux de réussite global. 152
Équation 4-2 : Méthode de calcul des taux de réussite par types d'exercices. 152
Équation 4-3 : Somme des éléments de la matrice pour chaque type de traitement. 152
Équation 4-4 : Méthode de calcul de la répartition des réponses. 153
Équation 4-5 : Méthode de calcul du taux de réussite pour les traitements maîtrisés. 153
Équation 4-6 : Méthode de calcul du nombre de mises en œuvre de chaque mode de fonctionnement 153
Équation 4-7 : Méthode de calcul du nombre total de mises en œuvre de l'ensemble des modes de fonctionnement pour une composante. 153
Équation 4-8 : Méthode de répartition des modes de fonctionnement dans une composante. 154
Équation 4-9 : Méthode de calcul du taux de maîtrise des articulations et des cadres. 154

INTRODUCTION

L'OBJECTIF DE LA THÈSE

Dans le cadre de cette thèse, nous étudions comment concevoir un environnement capable d'aider les enseignants dans l'évaluation des compétences des élèves en algèbre élémentaire.

LE CADRE DU TRAVAIL : LE PROJET PÉPITE

Cette thèse se situe dans le cadre du projet pluridisciplinaire PÉPITE, en informatique et en didactique des mathématiques.

LA NAISSANCE DU PROJET PÉPITE

Le projet PÉPITE est né de la rencontre des problématiques complémentaires du LIUM (Laboratoire d'Informatique de l'Université du Maine) et du DIDIREM, laboratoire de didactique des mathématiques de Paris 7. Ces laboratoires ont mis en place depuis 10 ans une politique d'étroite collaboration, qui a débouché sur une importante production scientifique : plusieurs projets communs ont vu le jour : ÉLISE, REPÈRES, PÉPITE, GéoWeb, CNCRE. Ces projets ont donné lieu à des publications communes ainsi qu'à des thèses et stages de DEA, aussi bien en didactique des mathématiques qu'en informatique. Ces deux laboratoires s'investissent également dans la diffusion des résultats de leurs recherches dans le système éducatif français.
Cette habitude de collaboration a pour nous un double intérêt. D'une part, la modélisation de l'apprenant et l'usage des EIAO (environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur) dans l'enseignement sont des thématiques importantes de l'équipe EIAO du LIUM, d'autre part, au laboratoire DIDIREM, Brigitte GRUGEON a conçu un outil papier – crayon permettant d'aider les enseignants du secondaire dans l'évaluation des compétences de leurs élèves en algèbre élémentaire. Cet outil comporte trois éléments : un ensemble d'exercices, une grille d'analyse multidimensionnelle de la compétence algébrique et les profils d'élèves. La diffusion de cet outil papier - crayon est toutefois limitée par la complexité de sa mise en œuvre. C'est pourquoi le projet PÉPITE a pour objectif de construire un système informatique capable d'élaborer automatiquement des profils d'élèves en algèbre élémentaire, à partir de cet outil issu de recherches en didactique des mathématiques.

POURQUOI PÉPITE ?

Le projet PÉPITE s'appuie sur les hypothèses suivantes :
D'une part, l'apprentissage de connaissances complexes peut être décrit comme une *re*construction de la connaissance par l'apprenant, « résultat d'un processus d'adaptation de l'organisme cognitif (le sujet épistémique de PIAGET) aux contraintes des situations dans lesquelles il opère. Les conceptions construites par les élèves dans de telles situations [situations problèmes] (...) parce qu'elles résultent d'une adaptation peuvent avoir un caractère local, porter la marque originale du contexte de leur élaboration et, finalement, être erronées relativement à une connaissance de référence » [BALACHEFF, 1992]. Dans cette

hypothèse, nous nous intéressons aux productions des élèves, car elles sont le reflet de leurs connaissances. Ces connaissances, qui peuvent être erronées, ont par ailleurs un domaine de validité ; les connaissances mises en œuvre par l'élève de façon adaptée dans une situation particulière, pourront se révéler inadaptées dans un autre contexte. « Dans ce sens une conception même fausse est une véritable connaissance » [BALACHEFF, 1992].
D'autre part, dans certaines conditions, l'enseignant peut s'appuyer sur certaines de ces conceptions pour les faire évoluer vers la « connaissance de référence ».
Il s'agit donc pour l'enseignant de repérer dans le fonctionnement de l'élève, les granules de connaissances (les *pépites*) sur lesquels il pourra s'appuyer pour construire des connaissances nouvelles (les *lingots*).

LE DOMAINE DE RECHERCHE

Cette recherche s'inscrit dans le cadre des travaux sur les environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur (EIAO) et s'intéresse plus particulièrement au diagnostic des compétences de l'apprenant. « L'objectif général en EIAO est de concevoir des systèmes dont l'utilisation favorise des apprentissages chez leur utilisateur » [BALACHEFF et al., 1997].
Une façon de favoriser les apprentissages est de prendre en compte les spécificités de chaque apprenant. Il est possible de généraliser en indiquant que la modélisation de l'apprenant a pour objectif de personnaliser l'enseignement grâce à l'adaptation des interventions de l'agent qui dispense l'apprentissage, que cet agent soit humain ou logiciel. L'identification de ces spécificités passe par l'obtention d'informations sur les connaissances ou compétences de l'apprenant, ce qui est l'objet des courants de recherche qui s'intéressent à la modélisation de l'apprenant. Celle-ci se fait par identification et interprétation des comportements de l'apprenant à l'interface du dispositif informatique.

LE DOMAINE D'APPLICATION

Les connaissances et compétences des élèves en algèbre sont multiples, elles concernent plusieurs dimensions. Par exemple quel statut a l'algèbre pour les élèves, comment établissent-ils une preuve, quelles règles incorrectes utilisent-ils ? Répondre à ces questions nécessite une analyse approfondie de productions d'élèves diverses (comportant en particulier des calculs et des preuves).

L'APPROCHE ADOPTÉE

Deux points se dégagent de la problématique de notre travail de recherche : la modélisation de l'apprenant et l'intégration à l'enseignement.
Du point de vue de l'intégration de notre système à l'enseignement, nous adoptons une démarche, issue des recherches en interaction homme - machine, qui intègre des didacticiens, des enseignants et des élèves au processus de conception pour prendre en compte leurs besoins et leurs habitudes de travail. Ensuite, nous souhaitons faciliter l'intégration du système aux pratiques des enseignants en proposant non pas un logiciel d'évaluation des

élèves, mais un logiciel assistant l'enseignant dans sa tâche d'évaluation. Enfin, dans notre travail, nous nous appuyons sur une étude et un outil didactiques validés.
Ce dernier point concerne également le point de vue de la modélisation de l'apprenant. L'utilisation d'un outil didactique nous permet en effet, non seulement de correspondre aux attentes des enseignants, mais également de disposer d'une base solide pour construire des profils d'élèves. L'analyse proposée par cet outil est complexe et nécessite un diagnostic cognitif qui prenne en compte les multiples aspects de l'algèbre.
Afin de pouvoir évaluer notre système en le comparant à l'outil papier – crayon, nous choisissons de calquer notre démarche sur les trois étapes que nécessite cet outil : recueil des observables, diagnostic et production des profils.
Par ailleurs, en raison de la difficulté et de la diversité de l'analyse à établir, nous adoptons une démarche en partie ad hoc pour le diagnostic.

LE SYSTÈME CONÇU

Le système conçu, appelé PÉPITE, comporte trois modules : PÉPITEST, le logiciel élève, PÉPIDIAG, le module de diagnostic et PÉPIPROFIL, le logiciel enseignant. Ce système a été testé sur une centaine d'élèves et est déjà utilisé en formation des maîtres, ainsi que par plusieurs enseignants.

PLAN DE LA THÈSE

Le premier chapitre de la thèse commence par une présentation du travail didactique sur lequel nous nous appuyons. Nous exposons ensuite la problématique générale de notre travail, ainsi que les problématiques secondaires qui se dégagent. Nous présentons enfin la méthodologie adoptée pour l'ensemble du travail et les démarches de conception utilisées pour chacun des trois modules de notre système, en précisant l'importance que nous accordons à la validation de notre travail.
Dans la suite, la structure du mémoire correspond aux trois modules du système de diagnostic conçu : l'interface élève qui permet le recueil des observables, le module de diagnostic qui analyse les observables et produit une description très fine du comportement des élèves, enfin, l'interface enseignant qui construit les profils des élèves par analyse transversale de cette description et présente les profils aux enseignants.
Le deuxième chapitre est consacré à l'interface élève. Nous y décrivons PÉPITEST, puis nous mettons en évidence les problèmes posés par le transfert d'un test papier – crayon sur ordinateur et nous précisons comment nous avons pris ces problèmes en compte pour la conception de notre interface. Nous décrivons également la validation de notre système, en présentant plus particulièrement les expérimentations que nous avons conduites.
Le troisième chapitre concerne le module de diagnostic, PÉPIDIAG. Nous y montrons les différents types d'analyse que nous avons mis en œuvre. Nous présentons et discutons ensuite les résultats que nous obtenons.
Le quatrième chapitre présente l'interface enseignant de PÉPITE. Nous y exposons les méthodes utilisées pour calculer les profils à partir des informations fournies par PÉPIDIAG.

Nous présentons ensuite plus précisément l'interface conçue, en mettant en évidence le travail réalisé en vue de l'appropriation des profils par l'enseignant. Nous dévoilons enfin les différentes utilisations des profils que nous envisageons.
Pour conclure, nous proposons un bilan de notre travail en mettant en évidence ses résultats, ses limites, ainsi que les perspectives que nous pouvons dès maintenant proposer. Nous terminons par une discussion sur les apports de notre travail.

CHAPITRE 1

~

PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE

PLAN DU CHAPITRE

1.1. INTRODUCTION 19

1.2. LE TRAVAIL DIDACTIQUE À L'ORIGINE DU PROJET 20

1.2.1. CE QUE L'ON CHERCHE À IDENTIFIER 20

1.2.2. LE MODÈLE DE LA COMPÉTENCE ALGÉBRIQUE 21

1.2.3. L'OUTIL DE DIAGNOSTIC 23

a) Les tâches papier - crayon 23

b) La grille d'analyse multidimensionnelle 24

c) Les profils d'élèves 25

1.2.4. L'UTILISATION DES PROFILS 27

1.2.5. L'ÉVOLUTION DE L'OUTIL DE DIAGNOSTIC 27

1.2.6. LA VALIDATION DE CE TRAVAIL 28

a) Expérimentations 28

b) Étude de la possibilité d'utiliser l'outil de diagnostic à plus grande échelle 28

1.3. L'AUTOMATISATION DU DIAGNOSTIC 29

1.3.1. POURQUOI AUTOMATISER CE DIAGNOSTIC ? 29

a) D'un point de vue didactique 29

b) D'un point de vue informatique 29

1.3.2. ARCHITECTURE 30

1.3.3. RÉALISATION INFORMATIQUE 32

1.4. PROBLÉMATIQUE 32

1.4.1. LE RECUEIL DES OBSERVABLES 33

a) La correspondance sémantique directe 33

b) La transposition informatique 34

c) Les représentations sémiotiques 35

d) Les instruments sémiotiques 36

e) Instrumentation / instrumentalisation 37

f) Bilan 38

1.4.2. LE DIAGNOSTIC DE COMPÉTENCES 38

1.4.3. UN OUTIL POUR L'ENSEIGNANT 39

1.5. MÉTHODOLOGIE 40

1.5.1. LA RÉUTILISATION D'EXPERTISE 41

1.5.2. DE LA PLURIDISCIPLINARITÉ À L'INTERDISCIPLINARITÉ 41

a) Pluridisciplinarité et interdisciplinarité 41

b) Le travail d'équipe dans PÉPITE 42

c) Le projet PÉPITE, une collaboration interdisciplinaire ? 44

1.5.3. LES MÉTHODES DE CONCEPTION UTILISÉES 44

a) Conception itérative 45

b) Conception incrémentale 46

c) Conception centrée utilisateur 46

d) Conception participative 47

e) Conception informative 47

f) Bilan : la méthode de conception différenciée 48

1.5.4. L'ÉVALUATION 49

a) L'évaluation des interfaces 49

b) Les critères de validation 49

1.6. BILAN 52

1.1. INTRODUCTION

La problématique principale de notre travail de recherche concerne la modélisation des compétences. Nous y intégrons une problématique d'usage des systèmes issus de la recherche, qui est une préoccupation majeure au LIUM depuis de nombreuses années [VIVET, 1990]. Cette problématique nous amène à traiter une situation spécifique : le diagnostic de compétences en algèbre élémentaire à la fin du collège.
Dans ce contexte, notre questionnement initial peut s'exprimer ainsi : comment concevoir un système informatique qui soit réellement intégré au système éducatif et utilisé par les élèves et les enseignants, qui permette aux enseignants d'identifier les connaissances et compétences de leurs élèves pour gérer plus efficacement leurs classes ?
Du point de vue de la modélisation de l'apprenant, cette problématique d'usage des systèmes en contexte réel nous impose de traiter la compétence algébrique dans sa complexité. Nous ne pouvons pas nous contenter d'adopter une approche fondée sur des aspects partiels des connaissances de l'apprenant : ni en proposant une description quantitative en termes de notes ou de taux de réussite, ni en listant les erreurs de l'élève, ni même en donnant l'ensemble des règles incorrectes qu'il utilise. Un modèle comportemental ne suffit donc pas, une analyse profonde des connaissances et compétences des élèves nécessite une modélisation cognitive qui prenne en compte les multiples aspects des connaissances.
Du point de vue de l'intégration des EIAO à l'enseignement, plusieurs solutions s'offrent à nous. Tout d'abord, faire appel à des travaux pédagogiques ou didactiques existants. Ensuite, intégrer des didacticiens, enseignants et élèves au processus de conception pour prendre en compte leurs besoins et leurs habitudes de travail. Enfin, faciliter l'intégration du système aux pratiques des enseignants en proposant non pas un logiciel d'évaluation des élèves, mais un logiciel qui assiste l'enseignant dans sa tâche d'évaluation.
Ces deux points de vue, correspondant aux deux éléments qui constituent notre questionnement initial, nous amènent, dans le projet PÉPITE, d'une part, à utiliser une expertise didactique validée comme base de la modélisation de l'apprenant et d'autre part, à intégrer les différents utilisateurs du système à la conception. La méthodologie que nous retenons s'adapte ainsi à notre problématique.

Dans ce chapitre nous commençons par présenter le travail didactique à l'origine du projet PÉPITE, et plus particulièrement l'outil de diagnostic papier - crayon que nous avons automatisé. Nous abordons l'automatisation de cet outil en expliquant les raisons de l'automatisation et en exposant l'architecture générale de notre système. Nous présentons ensuite la problématique globale de notre travail et nous introduisons les problématiques correspondant aux différentes parties qu'il a comportées. Nous terminons par une présentation de la méthodologie que nous avons adoptée.

1.2. LE TRAVAIL DIDACTIQUE À L'ORIGINE DU PROJET

Dans le projet PÉPITE, pour assurer la validité cognitive et la pertinence de notre diagnostic, nous nous appuyons sur une étude didactique et cognitive rigoureuse, récente et validée sur le plan académique, sur le plan institutionnel et sur le plan expérimental [GRUGEON, 1995]. Cette étude concerne l'évaluation des compétences des élèves en algèbre élémentaire par rapport aux objectifs d'apprentissage lors de la transition entre deux cycles d'enseignement. L'objectif est d'identifier les compétences des élèves, pour pouvoir ensuite s'appuyer dessus pour construire des connaissances nouvelles.
Dans cette partie, nous présentons ce travail didactique : le modèle de la compétence algébrique proposé ainsi que l'outil de diagnostic papier - crayon mis au point.

1.2.1. CE QUE L'ON CHERCHE À IDENTIFIER

Commençons par observer ce que les enseignants cherchent à identifier dans le fonctionnement des élèves.
Prenons un exemple, l'exercice du prestidigitateur dont l'énoncé et un exemple de réponse d'élève sont présentés dans la Figure 1-1.

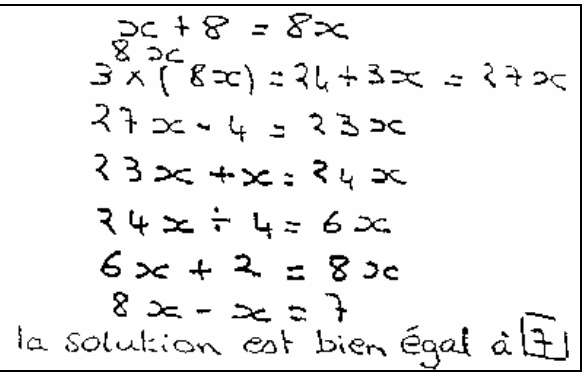
Un prestidigitateur est sûr de lui en réalisant le tour suivant. Il dit à un joueur : *« Tu penses un nombre, tu ajoutes 8, tu multiplies par 3, tu retranches 4, tu ajoutes ton nombre, tu divises par 4, tu ajoutes 2, tu soustrais ton nombre : tu as trouvé 7 ».*	

Figure 1-1 : L'exercice du prestidigitateur : l'énoncé et la réponse de Karine.

Dans le cas de Karine, les enseignants peuvent identifier les points suivants :
Tout d'abord, cette élève réduit les expressions pour obtenir un résultat sans opérateur à chaque membre droit d'une égalité (du type ax). Pour cela, elle utilise des règles de transformation incorrectes : elle transforme en particulier x+8 en 8x. Ainsi le rôle des opérateurs + et × reste mal maîtrisé par Karine.
Ensuite, Karine traduit chaque étape de l'énoncé par une expression symbolique. Ce comportement est interprété par les enseignants comme un début d'utilisation de l'algèbre, restant cependant très proche de l'arithmétique.
Enfin, on peut penser que la connaissance du résultat attendu (7) a pu inciter Karine à utiliser des règles incorrectes pour obtenir ce résultat (pour Karine, dans la dernière étape du calcul, 8x-x est égal à 7 et non à 7x comme peut le laisser supposer les étapes précédentes de ses calculs, où 23x+x est égal à 24x).
Globalement, on peut dire que Karine s'est construit des règles incorrectes, qui sont cohérentes avec sa conception de l'algèbre comme outil formel pour faire des calculs. Pour faire évoluer ses connaissances, lui expliquer les règles correctes ne suffit pas, il faut lui

proposer, d'une part, des situations où l'algèbre est un outil pour prouver et d'autre part, des situations mettant en évidence la signification d'équivalence du signe égal.
Cet exemple montre bien l'importance d'une analyse approfondie des réponses d'élève pour comprendre leur fonctionnement. Brigitte GRUGEON, à travers le modèle de la compétence algébrique et l'outil de diagnostic qu'elle propose, fournit une solution pour mettre en œuvre cette analyse.

1.2.2. LE MODÈLE DE LA COMPÉTENCE ALGÉBRIQUE

Brigitte GRUGEON propose un modèle de la compétence algébrique par rapport à des objectifs d'apprentissage donnés à un niveau donné, fondé sur une synthèse de plusieurs travaux en didactique de l'algèbre, en tenant compte des différentes approches adoptées. Dans son travail, elle prend en compte deux contraintes : d'une part, la structure d'analyse est multidimensionnelle pour tenir compte de la complexité de la compétence algébrique ; d'autre part, la structure d'analyse permet la mise en évidence des cohérences de fonctionnement des élèves.

Selon ces critères, Brigitte GRUGEON détermine six composantes dans le modèle de la compétence algébrique :
– Le **traitement algébrique** permet de déterminer en termes de réussite / échec la compétence algébrique de l'élève par rapport à des types de traitements attendus. Par exemple, l'élève sait-il effectuer des calculs numériques, interpréter des expressions numériques ?
– Le **rapport arithmétique / algèbre** permet de préciser le sens accordé par l'élève à la démarche algébrique et de situer l'élève par rapport à la démarche arithmétique. Par exemple, l'élève utilise-t-il une démarche de résolution arithmétique ou algébrique ?
– La **gestion dans le registre des écritures algébriques** vise à étudier la façon dont l'élève gère les expressions algébriques, s'il utilise des traitements incorrects (de type $8+x=8x$).
– L'**articulation entre les différents registres** permet d'identifier des formes privilégiées de gestion et d'articulation entre les différents registres sémiotiques. Par exemple, l'élève sait-il construire une expression algébrique pour transcrire un énoncé en langage naturel ?
– La **fonction de l'algèbre** a pour rôle de décrire les rapports de l'élève à l'algèbre, l'élève est-il « entré » dans l'algèbre où reste-t-il encore au stade numérique ?
– La **rationalité algébrique** permet d'identifier l'utilisation de l'algèbre par l'élève comme outil de généralisation et de preuve. L'élève utilise-t-il l'algèbre pour prouver ou fait-il au contraire appel à des exemples numériques ?

À chacune de ces composantes d'analyse sont associés des critères et à chaque critère correspondent des valeurs possibles. La Figure 1-2, récapitule pour chacune des six composantes, les critères et les valeurs qui lui sont associés. Ces valeurs générales peuvent être précisées, dans certains exercices, par des valeurs locales, ce que nous verrons plus loin dans un exemple (cf. 1.2.3.b) Figure 1-5).

Composantes	Critères	Valeurs
Traitement algébrique	Types de traitement algébrique : – Reproduction de tâches d'ordre numériques – Reproduction de tâches algébriques de niveau 1 – Reproduction de tâches algébriques de niveau 2 – Interprétation d'une expression – Traduction / branchement sur formule – Traduction / production guidée – Traduction / production – Utilisation de l'algèbre pour prouver	Correct Incorrect Non traité
Rapport arithmétique / algèbre	Démarche de résolution	Arithmétique Algébrique
	Statut du signe d'égalité	Annonce de résultat Relation d'équivalence
	Statut des lettres	Inconnue Nombre généralisé
	Statut des objets	Expression algébrique Équation Structural Procédural
Gestion dans le registre algébrique	Type de formation	Correct Sans parenthèse Désassemblage
	Type de traitement	Correct Calcul avec mémoire Assemblage final Regroupement de termes Erreur de recopie Règle de transposition multiplicative
Fonction de l'algèbre	Fonction apparente de l'algèbre	Aucune Conforme à la fonction attendue Non conforme à la fonction attendue
Rationalité algébrique	Type de preuve	Appel à l'argumentation Appel à l'exemple
	Type de justification	Appel au contexte Appel à la calculatrice Appel au numérique Appel à des règles Appel au légal Appel à la réécriture Appel au calcul algébrique
Articulation entre le registre algébrique et d'autres registres sémiotiques	Type de conversion entre le registre algébrique et les registres du langage naturel	Écriture pas à pas enchaînée en succession d'opérations Écriture pas à pas séparée en succession d'opérations Écriture linéaire globale non parenthésée Écriture linéaire globale parenthésée

Figure 1-2 : Le modèle de la compétence algébrique, adapté de [GRUGEON, 1995].

Cette définition de la compétence algébrique est opérationnalisée dans un outil de diagnostic des compétences algébriques qui est présenté dans la section suivante.

1.2.3. L'OUTIL DE DIAGNOSTIC

L'outil de diagnostic conçu par Brigitte GRUGEON pour analyser les rapports des élèves à l'algèbre est fondé sur le modèle de la compétence algébrique présenté dans la section précédente. L'outil comporte trois éléments : un ensemble de tâches papier – crayon, une grille d'analyse multidimensionnelle permettant d'analyser les tâches et d'interpréter les productions des élèves en fonction du modèle de compétence adopté, et les profils cognitifs des élèves, qui sont des descriptions de plus haut niveau, rendant compte des connaissances des élèves.

La construction des profils se fait en trois temps. Les élèves passent tout d'abord le test. L'enseignant analyse ensuite leurs productions en utilisant la grille d'analyse de la tâche et la grille d'analyse des productions des élèves, grilles que Brigitte GRUGEON a associées à chaque exercice. L'enseignant procède enfin à une analyse transversale pour construire les profils. La Figure 1-3 résume ces différentes étapes.

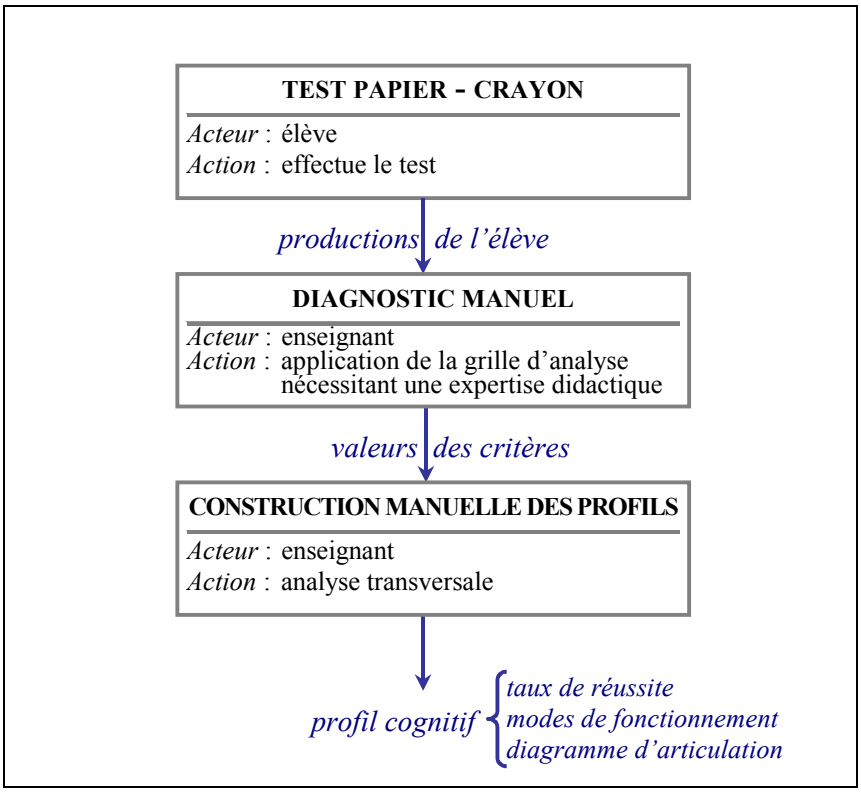


Figure 1-3 : L'outil de diagnostic papier - crayon.

Les sections suivantes présentent de façon plus détaillée les différents éléments constituant l'outil de diagnostic.

a) Les tâches papier - crayon

Ce que notre expert appelle les tâches papier - crayon correspond aux exercices proposés aux élèves lors du test. Ces tâches sont structurées en trois types, allant graduellement de la

dimension objet à la dimension outil de l'algèbre. À chaque type de tâches sont associés des types de traitement algébrique.
– **Les tâches techniques** ont pour but de déterminer les procédures de calcul numérique et de manipulation formelle mises en œuvre par l'élève (un exercice technique peut par exemple demander à l'élève de développer ou de factoriser une expression algébrique). Ces tâches sont associées aux types de traitement algébrique « effectuer des calculs numériques » et « manipuler des expressions ».
– **Les tâches de mathématisation** ont pour objectif d'identifier si l'élève utilise le type de traitement algébrique attendu, comment il traduit des problèmes dans le cadre algébrique et met en œuvre les outils adaptés à la résolution (un exercice de mathématisation peut par exemple demander à l'élève de traduire algébriquement un énoncé en langage naturel). Les types de traitement « traduire algébriquement des situations » et « utiliser l'outil algébrique pour prouver » correspondent à ce type de tâches.
– **Les tâches de reconnaissance** visent à établir comment l'élève identifie et interprète les expressions algébriques dans le registre des écritures algébriques ou en liaison avec d'autres registres sémiotiques (un exercice de reconnaissance peut par exemple nécessiter d'associer équation de droite et tracé de droite). Trois types de traitement correspondent à ce type de tâches : « interpréter des expressions numériques», « interpréter des expressions algébriques » et « interpréter des expressions algébriques en articulation avec d'autres registres d'écritures ».
L'annexe 1 donne l'ensemble des tâches de diagnostic proposées dans le test papier – crayon. Quant au deuxième tableau de l'annexe 14, il donne les types de tâches correspondant à chaque exercice.

Les réponses des élèves aux exercices sont, dans ce travail didactique, analysées manuellement par les enseignants à l'aide de la grille d'analyse multidimensionnelle.

b) La grille d'analyse multidimensionnelle

La grille d'analyse est conçue d'après le modèle de la compétence algébrique. Elle comporte donc les six composantes définies précédemment (cf. § 1.2.2).
À chacune de ces composantes d'analyse sont associés des critères. Lors de la correction des tests, les enseignants attribuent à chaque réponse de l'élève des valeurs globales aux différents critères des composantes d'analyse de la grille. Certaines valeurs globales sont précisées par des valeurs locales liées à l'exercice. Étudions cela plus précisément sur un exemple.
L'exercice donné en Figure 1-4 concerne en particulier le critère *type de conversion*, pour la composante *articulation entre les différents registres*. Ce critère a pour valeurs globales possibles *correct*, *identifiable* et *non identifiable*. La valeur globale *identifiable* est précisée par des valeurs locales à l'exercice : *confusion inverse / opposé, confusion double / carré* et *inversion des opérations*, ce qui permet de préciser le type de conversion utilisé par l'élève dans le contexte de l'exercice. Pour ce critère, dans l'exemple de la réponse donnée dans la Figure

1-4, l'enseignant attribuerait à l'élève la valeur globale *identifiable* et la valeur locale *confusion inverse / opposé* (cf. Figure 1-5).

Complète le tableau en écrivant une phrase traduisant chaque étape du programme de calcul en face de l'expression algébrique correspondante.

Etape 1	*Soit un nombre de départ désigné par x*	x
Etape 2	*Ajouter 3 à l'inverse du nombre de départ*	$-x+3$
Etape 3	*Mettre le tout au carré*	$(-x+3)^2$
Etape 4	*Ajouter 4 et diviser 1 par le nouveau nombre*	$\frac{1}{(-x+3)^2+4}$

Légende :
Énoncé — *Réponse de l'élève*

Figure 1-4 : Un exemple de tâche papier – crayon et de réponse d'élève issue d'un corpus.

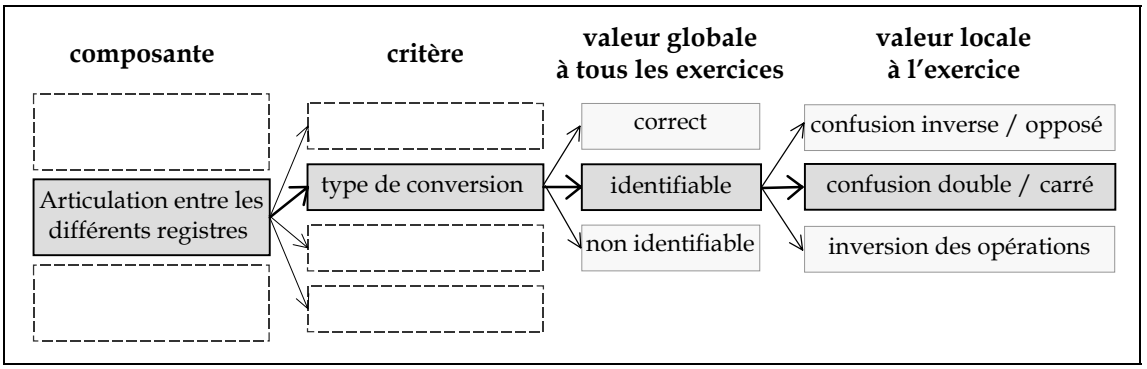


Figure 1-5 : Représentation de la structure d'analyse pour l'exemple de la Figure 1-4.

c) Les profils d'élèves

L'enseignant évaluateur, en appliquant la grille d'analyse aux productions d'un élève sur les tâches papier – crayon, identifie un ensemble de valeurs de critères pour chaque tâche. Cette description très fine du comportement est trop détaillée pour être utilisée sous cette forme par l'enseignant (ou par un système). Une analyse transversale est nécessaire pour établir une description de plus haut niveau, utilisable pour comprendre et faire évoluer le fonctionnement de l'élève. C'est cette description de plus haut niveau qui est appelée *profil cognitif* de l'élève.

L'analyse transversale est faite composante par composante, en recoupant les valeurs d'un même critère. Elle permet d'identifier des cohérences dans le fonctionnement de l'élève et fait ressortir les principaux traits de son fonctionnement cognitif. Notons que la technique à

utiliser pour effectuer cette analyse transversale n'est pas explicite dans l'outil de Brigitte GRUGEON.

Les profils comportent trois niveaux de description :
– Une **description quantitative des compétences algébriques** en terme de *taux de réussite* (cf. première ligne de traitement algébrique dans la Figure 1-6, dans l'exemple donné, l'élève a un taux de réussite de 40% pour les exercices techniques et de 42% pour les exercices de mathématisation).
– Une **description qualitative des cohérences de fonctionnement**, composante par composante, en terme de *modalités de fonctionnement* obtenues par recoupement des valeurs de certains critères sur l'ensemble des exercices (cf. Figure 1-6, l'élève dont le profil est présenté dans cette figure, sait par exemple, pour les traitements algébriques concernant les exercices techniques, reproduire des tâches formelles non finalisées).
– Une **description de la flexibilité entre les cadres** (entre le cadre algébrique et les autres cadres étudiés dans le test : cadre graphique, cadre numérique, cadre géométrique et autres contextes), représentée par un *diagramme* (cf. Figure 1-7).

	Exercices techniques	*Exercices de mathématisation*	*Exercices de reconnaissance*
Traitement algébrique	40% Reproduction de tâches formelles non finalisées de niveau 1	42% Traduire algébriquement une relation dans un contexte fermé Utilisation de l'outil algébrique pour étudier d'autres notions	
Rapport arithmétique / algèbre		Selon le contexte : du côté arithmétique ou du côté scientifique	Du côté scolaire / du côté scientifique
Gestion dans le registre algébrique	Écriture algébrique correcte parfois sans parenthèse	Manipulation formelle opératoire de niveau 0	
Fonction de l'algèbre		Produire une équation de droite Traduire algébriquement une relation	
Rationalité algébrique		Rationalité pré-scientifique Preuves pragmatiques Appel au numérique	Rationalité scolaire ou scientifique - règles au niveau opératoire - raisonnement par élimination - utilisation de l'outil algébrique

Figure 1-6 : Extrait d'un profil en termes de réussite / échec et cohérences : le cas de Mérième.

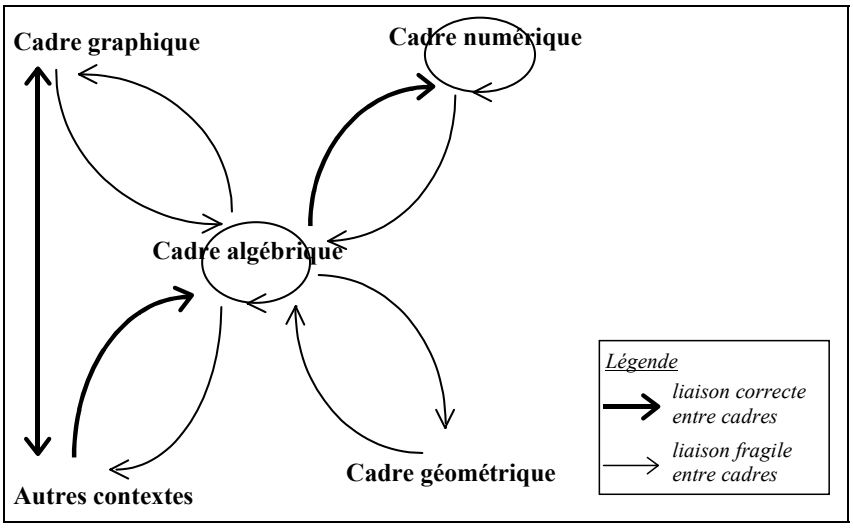


Figure 1-7 : Diagramme d'articulation entre le cadre algébrique et les autres cadres : le cas de Mérième.

1.2.4. L'UTILISATION DES PROFILS

Brigitte GRUGEON et les enseignants de son équipe utilisent déjà les profils papier - crayon ainsi établis de deux manières.

L'enseignant de la classe peut, grâce aux profils, connaître les compétences de ses élèves pour adapter son enseignement et les activités qu'il propose.

L'équipe enseignante peut utiliser les profils pour former des groupes d'élèves différenciés, fondé non plus seulement sur les performances des élèves en termes de notes, mais également, grâce à l'outil, sur leurs connaissances.

1.2.5. L'ÉVOLUTION DE L'OUTIL DE DIAGNOSTIC

L'outil de diagnostic que nous avons présenté dans les sections précédentes correspond à la première version conçue par Brigitte GRUGEON dans le cadre de sa thèse. Cet outil a été conçu pour étudier les rapports des élèves à l'algèbre dans la transition entre le BEP tertiaire et la première G d'adaptation (qui correspond actuellement à la 1ère STT). Par la suite, cet outil a été adapté pour étudier les rapports des élèves à l'algèbre dans la transition entre la troisième et la seconde.

Parallèlement, Brigitte GRUGEON a remanié la grille d'analyse, pour opérationnaliser ce travail de recherche, le transformer en un instrument utilisable par les enseignants et le tester à grande échelle. Cette restructuration s'est accompagnée, d'une part, d'une simplification de la grille d'analyse (en particulier en proposant des formulations plus accessibles aux non-spécialistes) et d'autre part, d'une explicitation du processus d'analyse. Notons que nous verrons dans le chapitre 2 que cette évolution est également liée au travail pluridisciplinaire que nous avons mené en vue de l'automatisation de l'outil de diagnostic.

C'est à cette seconde grille d'analyse que nous nous référons pour l'automatisation de l'outil de diagnostic. C'est pourquoi nous présentons ici brièvement la structure de la nouvelle grille.

Cette nouvelle grille comporte six composantes : traitements, utilisation des lettres, calcul algébrique, conversion, type de justification et connaissances numériques. Les modes de fonctionnement (35 au total), précisent pour chaque composante, les différents fonctionnements observés chez les élèves (pour la composante utilisation des lettres, les modes de fonctionnement possibles sont par exemple : utilisation correcte des lettres, utilisation des lettres pour leur substituer des valeurs numériques, utilisation des lettres pour faire du calcul algébrique avec des règles fausses, utilisation des lettres comme étiquettes ou abréviations, aucune utilisation des lettres). Ces modes de fonctionnement correspondent aux critères et aux valeurs dans la description de l'ancienne grille d'analyse.
À ces composantes s'ajoutent les sept types de traitement algébrique décrits précédemment (cf. § 1.2.3.a)), ainsi que les articulations entre les différents cadres mis en jeu (cadre algébrique naturellement, puisque que c'est l'objet du test, mais également cadre numérique, cadre graphique, cadre géométrique et langage naturel).

1.2.6. LA VALIDATION DE CE TRAVAIL

Ce travail de recherche a été validé par de nombreuses expérimentations en classe. Il a donné lieu à plusieurs publications (en particulier la thèse de Brigitte GRUGEON [GRUGEON, 1995] et un article dans la Revue de Didactique des Mathématiques [GRUGEON, 1997]). L'outil papier – crayon est utilisé par des enseignants et par des formateurs d'IUFM. Nous ne présentons ici que les points de validation qui concernent notre travail d'automatisation du test : les expérimentations à grande échelle et l'étude de la possibilité d'une utilisation de l'outil par des enseignants.

a) Expérimentations

L'outil de diagnostic papier - crayon a fait l'objet de plusieurs expérimentations ; sa version adaptée pour être utilisable par des enseignants a en particulier été testée en juin 1996 sur 600 élèves de collège (dans toutes les classes de troisième des collèges du district de VILLENEUVE-LE-ROI). Les copies des élèves provenant de cette expérimentation ont servi de corpus pour la conception de l'interface élève dans le cadre de l'automatisation de l'outil de diagnostic.

b) Étude de la possibilité d'utiliser l'outil de diagnostic à plus grande échelle

Deux points font de l'outil de diagnostic papier – crayon un outil difficile à utiliser par les enseignants actuellement : le temps demandé par son utilisation et l'apprentissage qu'il nécessite.
Le premier point concerne la quantité de travail considérable demandée par la correction des tests. Ce travail est beaucoup plus lourd que celui demandé par la correction de devoirs classiques, car l'enseignant doit non seulement chercher à corriger la réponse de l'élève, mais il doit aussi identifier tous les modes de fonctionnement mis en œuvre par l'élève pour chaque question, en se référant à la grille d'analyse. Outre l'investissement en temps, l'utilisation de l'outil de diagnostic demande une compréhension du modèle de la compétence algébrique qui le sous-tend.

Ce deuxième point a été traité par Agnès LENFANT dans un travail de didactique, où elle a étudié la possibilité d'utiliser l'outil de diagnostic conçu par Brigitte GRUGEON à plus grande échelle [LENFANT, 1997]. Il s'agit ici de la version de l'outil simplifiée et adaptée à la transition 3ème / 2de. Les travaux d'Agnès LENFANT montrent que l'outil peut être utilisé par des enseignants, toutefois l'apprentissage de son utilisation est très coûteux en temps et demande une très forte implication de la part des enseignants.
Ces contraintes rendent difficile l'utilisation courante de l'outil de diagnostic papier – crayon par des enseignants en dehors d'un cadre de recherche et d'expérimentation.

1.3. L'AUTOMATISATION DU DIAGNOSTIC

Notre travail de thèse vise à étudier comment concevoir un système d'évaluation des connaissances des élèves réellement utilisable par les enseignants dans le cadre de leur pratique professionnelle courante. Nous avons choisi d'automatiser un outil papier – crayon existant. Dans cette section, nous présentons à la fois les raisons de ce choix et les avantages qu'il procure.

1.3.1. POURQUOI AUTOMATISER CE DIAGNOSTIC ?

Au niveau didactique, l'automatisation du diagnostic répond à un besoin. Au niveau informatique, l'automatisation (c'est-à-dire la réutilisation d'un outil papier – crayon) est un moyen de construire un modèle de l'élève très riche, à partir d'informations fiables.

a) D'un point de vue didactique

La diffusion de l'outil de diagnostic à plus grande échelle est limitée par les difficultés de mise en œuvre par des enseignants. Par ailleurs, les enseignants qui ont connaissance de cet outil souhaitent vivement pouvoir en utiliser les résultats sans pour autant accepter le lourd travail que sa mise en œuvre nécessite ; d'autres ressentent le besoin d'un tel outil d'évaluation sans connaître de travaux pouvant y répondre. Le projet PÉPITE répond ainsi à un besoin d'opérationnalisation d'un travail de recherche exprimé par les didacticiens, mais aussi par de nombreux enseignants.

b) D'un point de vue informatique

De notre point de vue d'informaticienne, automatiser un outil de diagnostic papier – crayon existant nous permet, d'une part, de disposer de corpus importants dès la phase de conception (nous détaillons ce point dans la section consacrée à la méthodologie, cf. § 1.5.1), et, d'autre part, de nous appuyer sur une expertise didactique validée. Concernant ce dernier point, la réutilisation d'expertise fait de PÉPITE un projet original du point de vue de la modélisation de l'apprenant. En effet, la modélisation de l'apprenant se fait habituellement pendant qu'un élève utilise un EIAO, en cherchant à identifier dans les interactions de l'apprenant à l'interface, des éléments qui permettent d'inférer sur l'état de ses connaissances. Dans le cas de PÉPITE, le système est conçu uniquement pour obtenir des informations sur le fonctionnement cognitif de l'élève.

C'est également le caractère multidimensionnel des profils construits qui fait de PÉPITE un outil original par rapport aux travaux de modélisation de l'apprenant en EIAO. Nous partons de tâches spécialement prévues pour construire le profil des élèves. L'analyse des réponses des élèves pour ces exercices est, elle aussi, donnée par l'analyse didactique a priori. Ainsi, que ce soit pour l'interface élève ou pour le diagnostic, l'expertise que nous utilisons nous permet d'obtenir des informations très riches sur le fonctionnement cognitif de l'élève, en simplifiant le problème de la modélisation de l'apprenant en précisant les tâches de diagnostic et l'analyse à effectuer. Toutefois, cette facilitation s'accompagne d'une complexification : les multiples dimensions de la grille d'analyse et la variété des réponses à analyser compliquent en effet fortement le diagnostic.

1.3.2. ARCHITECTURE

L'architecture de PÉPITE comporte trois modules (cf. Figure 1-8) qui correspondent aux trois étapes de la construction manuelle des profils : passation du test par les élèves, analyse automatique des réponses, puis analyse transversale et présentation des profils à l'enseignant.

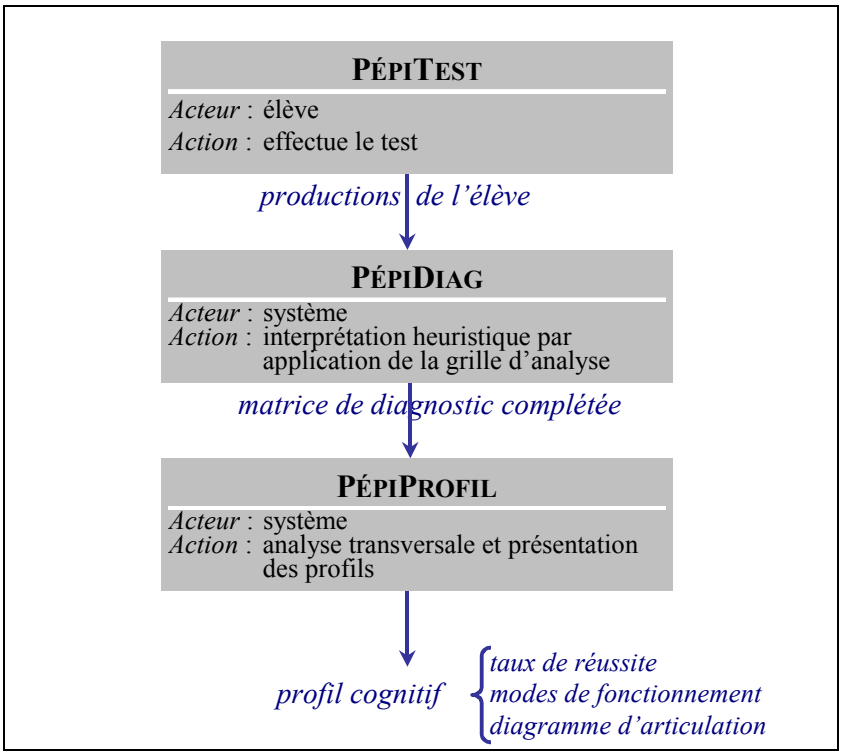


Figure 1-8 : L'architecture de PÉPITE.

Détaillons le rôle de chaque module :

– **PÉPITEST**, le logiciel élève, propose aux élèves les exercices qui sont une adaptation des tâches papier - crayon au support informatique, et recueille leurs réponses. Pour ce module, les élèves sont des utilisateurs et les enseignants, des clients et des prescripteurs (au sens, utilisé en économie, de personne ayant une influence sur le choix des produits).

– **PÉPIDIAG** analyse les productions des élèves, à partir des observables fournis par PÉPITEST, selon la grille d'analyse multidimensionnelle, en complétant une matrice correspondant aux

différents modes de fonctionnement (nous l'appellerons désormais *matrice de diagnostic)*, pour les composantes mises en jeu dans l'exercice.
– **PÉPIPROFIL** établit les profils des élèves par analyse transversale de la matrice de diagnostic complétée par PÉPIDIAG et les présente aux utilisateurs (enseignants ou chercheurs).

Plusieurs raisons nous ont conduit à adopter cette architecture. D'une part, les différents modules n'ont pas les mêmes utilisateurs finals (les élèves pour PÉPITEST, l'enseignant pour PÉPIDIAG et PÉPIPROFIL). D'autre part, ils ne sont destinés à être utilisés, ni en même temps, ni au même endroit (en classe pour PÉPITEST, plus tard, en salle des professeurs ou au domicile de l'enseignant pour PÉPIDIAG et PÉPIPROFIL), le diagnostic n'a donc pas besoin d'être fait en temps réel. Par ailleurs, la séparation de PÉPITEST et PÉPIDIAG se justifie par le fait que le choix d'une représentation des connaissances influence les possibilités d'actions des utilisateurs, pouvant même empêcher certains élèves de proposer une solution, comme le montre Nicolas BALACHEFF dans [BALACHEFF, 1994c]. C'est pourquoi nous avons décidé de rendre les productions des élèves indépendantes de toute représentation interne liée au diagnostic dans PÉPITEST. Ceci permet aux élèves de faire toutes les manipulations d'expressions qu'ils souhaitent, sans contrainte liée à l'analyse (les contraintes liées à l'interface correspondent à un autre problème qui sera traité dans le chapitre 2). Ce n'est que dans PÉPIDIAG qu'une représentation des connaissances est utilisée pour analyser les productions d'élèves.
Quant à l'indépendance de PÉPIDIAG et de PÉPIPROFIL, elle permet de rendre compte des deux étapes de formation du profil : interprétation heuristique qui conduit à une description très fine du comportement des élèves, puis analyse transversale de cette description qui conduit aux profils.
Les différents modules communiquent par des fichiers textes : les productions de l'élève pour le lien entre PÉPITEST et PÉPIDIAG, la matrice de diagnostic complétée pour le lien entre PÉPIDIAG et PÉPIPROFIL. La Figure 1-9 présente les détails des liens entre modules par les fichiers texte.
Le travail à partir de fichiers favorise l'indépendance des différents modules de PÉPITE, et, de façon plus anecdotique, facilite le changement de langue pour les interfaces.
Notons qu'un module d'analyse des traces de PÉPITEST, PÉPITRACE, a été développé pour permettre aux concepteurs d'avoir des informations sur le comportement des élèves à l'interface. Ce module permet en particulier d'étudier l'utilisation faite par les élèves des différents outils du logiciel élève. Les informations fournies par ce module pourraient être intégrées à PÉPIDIAG et à PÉPIPROFIL, comme nous le précisons dans le dernier chapitre.

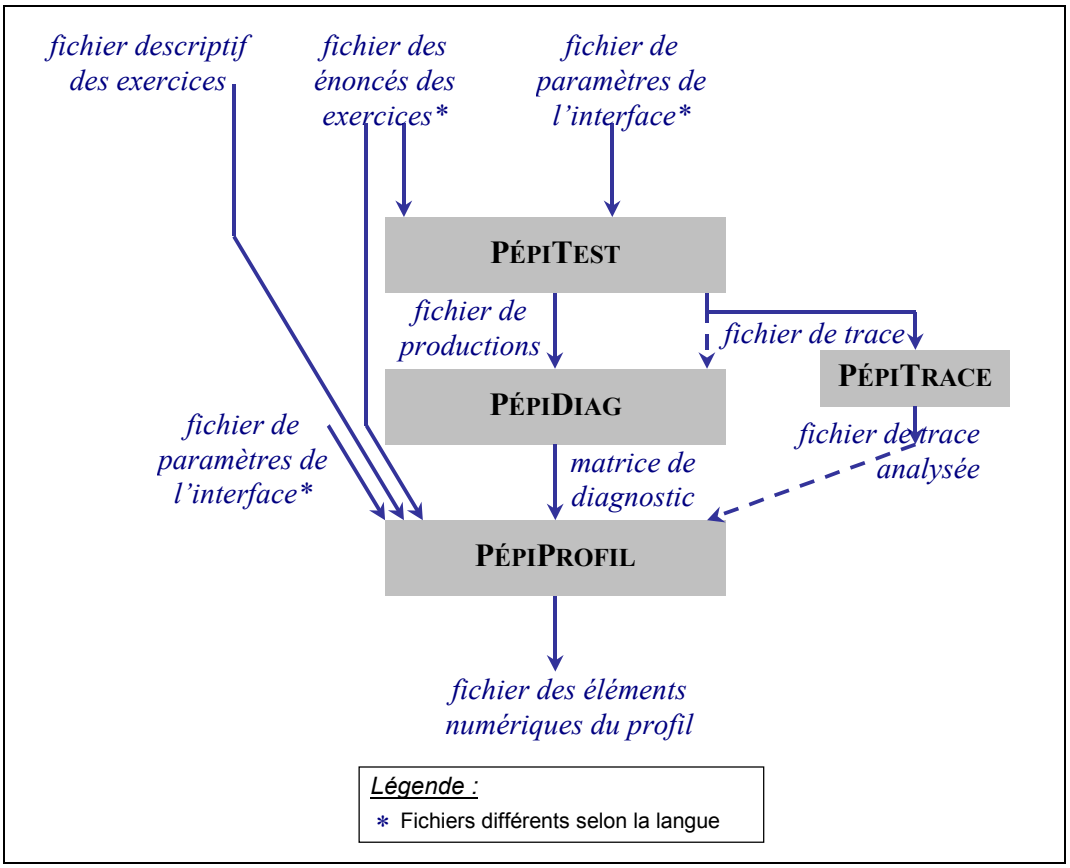


Figure 1-9 : Détail du fonctionnement de PÉPITE.

1.3.3. RÉALISATION INFORMATIQUE

D'un point de vue technique, le système est développé en Delphi. Il comporte au total 14 000 lignes de code.

PÉPITEST comporte 43 écrans auxquels s'ajoutent 7 écrans pour le module de présentation. PÉPIPROFIL comporte 21 écrans.

Ces deux interfaces ont été conçues pour être multilingues. Ainsi, tous les textes de l'interface sont chargés à partir de fichiers texte, ce qui permet de modifier les énoncés des exercices ou les formulations du profil sans avoir à recompiler les programmes. PÉPITEST et PÉPIPROFIL sont actuellement disponibles en français et en anglais.

1.4. PROBLÉMATIQUE

La modélisation des compétences des élèves s'accompagne, dans notre travail, d'une forte préoccupation d'intégration du système conçu à l'enseignement. Cette préoccupation d'usage se retrouve aux différentes étapes de notre recherche. Elle se retrouve tout d'abord à travers la recherche d'une fiabilité maximale des observables, sans laquelle le diagnostic ne peut être fiable, ce qui passe par un travail important autour de la conception de l'interface de test et de son adaptation aux habitudes des élèves. Ensuite, le diagnostic doit être multidimensionnel pour prendre en compte à la fois l'analyse de différents aspects de l'algèbre et l'analyse de différents types de réponses, en particulier des réponses à des

questions ouvertes. Cette recherche de fiabilité passe enfin par la conception de l'interface enseignant, qui doit permettre à ces derniers de s'approprier les profils construits automatiquement et ainsi d'intégrer l'utilisation du système à leurs pratiques.
Dans la suite de cette section nous développons la problématique et les questions posées par ces trois points.

1.4.1. LE RECUEIL DES OBSERVABLES

Pour la conception de PÉPITEST, la fiabilité des observables est primordiale. Les observables doivent correspondre aux compétences des élèves, il nous faut donc évaluer les élèves dans un environnement leur permettant d'exprimer leurs compétences. Ce besoin de compatibilité entre l'environnement habituel papier – crayon et l'environnement d'évaluation informatisé a des conséquences sur la conception de PÉPITEST. La « médiatisation » d'un outil papier – crayon est un domaine qui pose des questions à la fois en informatique et en didactique. Nous présentons dans cette section les travaux auxquels nous nous référons dans ce domaine. Le croisement des approches didactique et informatique permet, par rapport à une approche uniquement informatique, d'éclairer la question de la médiatisation d'un jour nouveau, c'est pourquoi nous faisons une grande place aux travaux de didactique, moins connus des informaticiens.

a) La correspondance sémantique directe

Des concepts issus des recherches en Interaction Homme – Machine (IHM) peuvent apporter un éclairage intéressant sur le problème de la médiatisation d'un test papier – crayon. La notion de *correspondance sémantique directe,* introduite par Jocelyne NANARD, est particulièrement pertinente dans un contexte de changement d'environnement de l'utilisateur (qui, dans notre situation, est un élève).
Jocelyne NANARD définit la propriété de *correspondance sémantique directe* comme la correspondance entre les concepts connus par l'utilisateur et ceux représentés à l'interface [NANARD, 1990]. Si les concepts représentés à l'interface sont différents des concepts habituels, l'interface oblige l'utilisateur à faire un effort d'adaptation de ses concepts à ceux qui lui sont présentés. Cette adaptation peut être source de difficultés pour l'utilisateur, voire de rejet du système.
Dans notre situation d'évaluation, le respect de la correspondance sémantique directe entre l'environnement papier - crayon et PÉPITEST correspond à la possibilité pour l'élève de mettre en œuvre ses compétences dans le nouvel environnement : par exemple, les racines carrées que l'élève utilise habituellement seront-elles représentées de la même façon avec PÉPITEST que sur son livre de mathématiques ou sur son cahier ?
Notons que la non-correspondance sémantique directe peut être l'occasion d'apprentissages : ce peut même être un objectif didactique [BERNAT & MORINET-LAMBERT, 1995]. Toutefois ce n'est pas le cas pour le projet PÉPITE qui ne vise pas l'apprentissage, mais l'évaluation.

b) La transposition informatique

Le deuxième concept auquel nous faisons référence, la *transposition informatique*, est issu des recherches en EIAO.

Avant de définir la transposition informatique, rappelons le principe de la transposition didactique. Selon Gilbert ARSAC, « le terme de transposition didactique désigne l'ensemble des transformations que subit un savoir aux fins d'être enseigné » [ARSAC, 1989]. Yves CHEVALLARD définit plus précisément la *transposition didactique* comme le processus par lequel un élément du savoir savant devient une connaissance à enseigner puis un objet d'enseignement [CHEVALLARD, 1985]. La Figure 1-10 présente les deux transformations successives subies par le savoir lors de la transposition didactique.

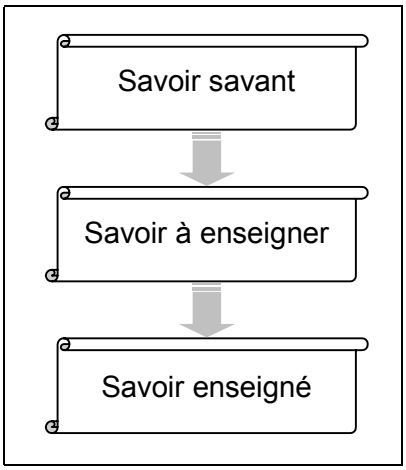


Figure 1-10 : La transposition didactique.

La notion de transposition informatique, introduite par Nicolas BALACHEFF [BALACHEFF, 1994a], reprend cette idée de transformation subie par les savoirs avant d'être enseignés, en ajoutant un élément supplémentaire : l'ordinateur. Le savoir qui est enseigné dans une situation classique d'enseignement n'est en effet pas le même que celui qui est enseigné avec un ordinateur (cf. Figure 1-11).

« Le développement des technologies informatiques, leur introduction dans les écoles et les lieux de formation, s'accompagne de phénomènes nouveaux du même ordre que ceux de la transposition didactique. […] Aux contraintes de la transposition didactique s'ajoutent, ou plutôt se combinent, celles de modélisation et d'implémentation informatiques […] Ce que l'on place habituellement sous le terme d'informatisation ne constitue pas une simple translittération, les environnements informatiques d'apprentissage résultent d'une construction qui est le lieu de transformations nouvelles des objets d'enseignement. » [BALACHEFF, 1994c].

Nicolas BALACHEFF définit la *transposition informatique* comme le passage d'une représentation à une autre. C'est le processus de transformation d'un système de représentation externe (à l'ordinateur), à un système de représentation interne. Dans les systèmes informatiques, la représentation des connaissances se situe en effet à plusieurs niveaux : dans l'univers interne (c'est-à-dire dans le dispositif informatique), à l'interface et

dans l'univers externe (c'est-à-dire dans l'environnement dans lequel se situe l'élève) [BALACHEFF, 1994a].

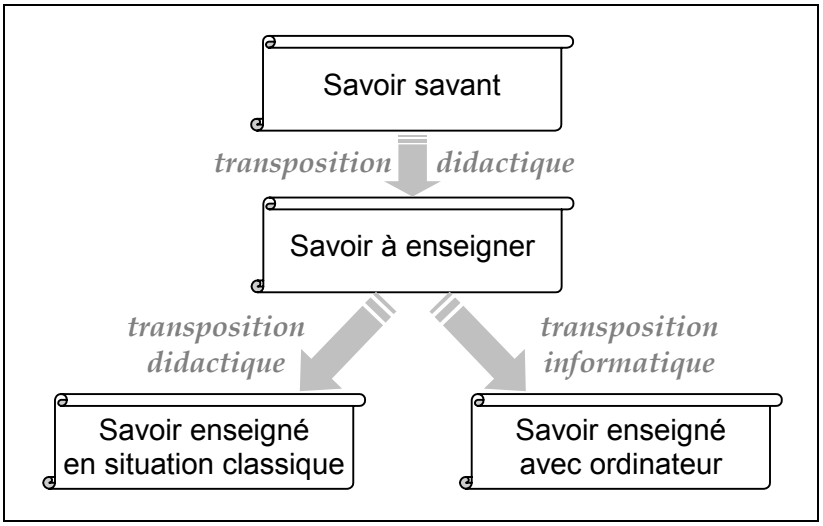


Figure 1-11 : Transposition didactique et transposition informatique.

Dans les cas où le système comporte une expertise scientifique, le transfert d'expertise donne lieu, lui aussi, à une transposition : du savoir de l'expert humain vers le savoir implanté dans la machine [BRUILLARD, 1991].

Du point de vue de l'élève, pour Michèle ARTIGUE, la transposition informatique pose le problème de la *double référence* [ARTIGUE, 1995]. En effet, dans le cadre d'une activité informatisée, l'élève a besoin de savoir manipuler deux environnements : les mathématiques dans l'environnement papier - crayon et les mathématiques avec le logiciel. Cette notion de double référence s'apparente à celle de correspondance sémantique directe présentée dans la section 1.4.1.a). À ce problème de double référence s'ajoute celui de la *pseudo transparence* qui qualifie le décalage qui existe entre le fonctionnement mathématique dans l'environnement papier – crayon et le fonctionnement mathématique dans l'environnement informatisé, même si tout semble au premier abord identique à l'interface [ARTIGUE, 1995]. L'élève doit donc s'adapter aux EIAO qu'il utilise dans le cadre de ses activités mathématiques.

Le problème de la double référence est capital dans PÉPITEST : pour pouvoir évaluer les compétences des élèves, il faut en effet que les élèves puissent exprimer leurs compétences. Le décalage entre le fonctionnement mathématique habituel et le fonctionnement mathématique avec PÉPITEST perturbe-t-il les élèves au point que leurs productions ne correspondent pas à leurs compétences ? Le changement d'environnement a-t-il des effets perturbateurs, mais aussi réducteurs ou même producteurs sur les productions des élèves ? Nous tentons de répondre à ces questions dans le chapitre suivant, consacré au recueil des observables, en identifiant les perturbations rencontrées.

c) Les représentations sémiotiques

La notion de représentations sémiotiques définie par Raymond DUVAL [DUVAL, 1992] est intéressante, dans notre contexte, pour comprendre comment les élèves manipulent les objets mathématiques.

Les objets mathématiques (par exemple avec une droite, un cercle, un nombre, une fonction) ne sont pas des objets réels ou physiques. Pour les manipuler, l'élève doit passer par leurs représentations, mentales et sémiotiques. Les représentations mentales d'un objet mathématique sont des constructions mentales faites dans un contexte particulier et à des fins spécifiques. Elles correspondent aux conceptions d'un individu sur un objet, une situation et ce qui leur est associé. Les *représentations sémiotiques* sont définies par DUVAL comme « des productions constituées par l'emploi de signes appartenant à un système de représentation qui a ses contraintes propres de signifiance et de fonctionnement » [DUVAL, 1992]. Un objet mathématique possède plusieurs représentations sémiotiques (par exemple, l'objet mathématique « droite » possède plusieurs représentations sémiotiques : une représentation graphique et une équation). DUVAL indique que « la possibilité d'effectuer des traitements sur les objets mathématiques dépend directement du système de représentation sémiotique utilisé ».

DUVAL souligne par ailleurs que pour comprendre les objets mathématiques eux-mêmes et pas seulement leur représentation, les élèves doivent maîtriser plusieurs registres de représentation sémiotique. Un système obligeant l'élève à passer d'une représentation sémiotique à une autre peut ainsi être l'occasion d'apprentissages (comme dans le système REPÈRES, utilisant l'articulation entre le registre graphique et le registre algébrique [DUBOURG, 1995]). Ceci peut être rapproché de l'intérêt pédagogique attribué à la non-correspondance sémantique directe cité précédemment.

En ce qui concerne la médiatisation d'un test papier – crayon portant sur l'algèbre, nous devons nous intéresser aux représentations sémiotiques des objets mathématiques qui seront représentés et / ou manipulés à l'interface. Le choix d'une représentation sémiotique n'est pas anodin : par exemple, la manière dont les fractions sont représentées à l'interface, de façon spatiale ou linéaire, a des conséquences sur le comportement et donc sur les productions des élèves, qui doivent s'adapter à cette représentation.

Ces travaux, comme ceux que nous présentons dans la section suivante, permettent de préciser pour l'algèbre, les notions de double référence et de correspondance sémantique directe abordées précédemment.

d) Les instruments sémiotiques

La notion d'instruments sémiotiques, complémentaire de celle de représentations sémiotiques, est définie par Yves CHEVALLARD [CHEVALLARD, 1996].

Les objets ostensifs du travail mathématique sont ceux que l'on peut manipuler, comme les notations et les graphes, en opposition aux objets non ostensifs que l'on peut seulement évoquer à l'aide d'objets ostensifs, comme la fonction logarithme. CHEVALLARD qualifie les objets ostensifs du travail mathématique d'instruments sémiotiques, en distinguant leur valence sémiotique, ce qui permet de voir ce qui a été fait, de leur valence instrumentale, ce qui permet de faire.

« Pris dans une certaine pratique, les objets ostensifs manipulés apparaissent clivés, dans leur matérialité, en ce que je nomme une *valence instrumentale* et une *valence sémiotique*. Je les nomme pour cela *instruments sémiotiques*. La valence instrumentale de l'instrument

sémiotique me permet de *faire* ; sa valence sémiotique permet de *voir ce qui est fait*, à moi et à ceux qui m'observent. Il y a plus... Lorsque […] les objets ostensifs manipulés figurent dans le registre de la scription ou de la trace, on peut voir, non seulement ce qui est *en train* de se faire, mais aussi *ce qui a été fait*. » [CHEVALLARD, 1996].
Prenons un exemple : la valence instrumentale d'une expression algébrique est le geste qui permet le tracé de l'expression, sa valence sémiotique est le « dessin » de l'expression.
Dans la médiatisation du test papier – crayon, nous souhaitons permettre aux élèves de travailler dans des conditions les plus proches possibles de leur environnement habituel, il est donc pour nous fondamental d'étudier, notamment pour les expressions algébriques, la valence instrumentale et la valence sémiotique des instruments sémiotiques manipulés par les élèves durant le test, ce que nous faisons dans le chapitre 2 (cf. § 2.5.3).

e) Instrumentation / instrumentalisation

Les notions d'instrumentation et d'instrumentalisation sont intéressantes pour le projet PÉPITE, aussi bien pour la manipulation des objets mathématiques par l'élève dans PÉPITEST, que pour l'appropriation des profils par les enseignants dans PÉPIPROFIL.
Pierre RABARDEL distingue dans la notion d'instrument, d'une part, l'*artefact*, et d'autre part, les *schèmes d'utilisation* qui lui sont associés. L'artefact possède des fonctions, appelées constituantes, qui correspondent à l'usage prévu par le concepteur. L'instrument n'est pas figé, mais évolue selon les usages, qui dépendent des sujets.
Selon RABARDEL, l'utilisateur s'approprie les instruments, leur conférant des fonctions qui vont au-delà de leurs fonctions constituantes, à travers des activités de genèse instrumentale, qui procède de deux processus : l'*instrumentation* et l'*instrumentalisation*.
L'*instrumentalisation* concerne « l'émergence et l'évolution des composantes artefact de l'instrument » [RABARDEL, 1995]. L'utilisateur, par son activité, attribue des fonctions à l'artefact, ces fonctions pouvant ensuite s'intégrer à l'artefact.
L'*instrumentation* concerne l'adaptation du sujet aux contraintes que constituent l'artefact et ses fonctions constituantes.
La combinaison de ces deux processus conduit à la réorganisation d'une partie des schèmes d'utilisation et donc à la modification de l'instrument. Cette approche réhabilite la notion de détournement d'un instrument, en la présentant comme une activité normale de la part d'un utilisateur d'instrument.
Prenons l'exemple de l'écriture d'expressions algébriques avec PÉPITEST : l'interface est pour l'élève un instrument qu'il doit s'approprier pour mener à bien sa tâche. Cette appropriation donne lieu à une genèse instrumentale. L'instrumentation correspond à l'influence de l'instrument sur le comportement de l'élève essayant de produire une expression. L'instrumentalisation correspond à l'influence de l'interprétation que fait l'élève du fonctionnement du logiciel sur sa compréhension de l'instrument et sur son utilisation.
Concernant PÉPITEST, la genèse instrumentale est limitée dans le temps pour l'élève puisque le test est fait une seule fois et dure « seulement » deux heures. L'instrumentation va ainsi dominer, car l'élève commence par s'adapter aux contraintes de l'outil qui lui est proposé.

L'instrumentalisation n'est cependant pas absente, car l'élève se forge une conception et une utilisation de l'outil tout au long du test.
Concernant l'enseignant, la genèse instrumentale liée à l'utilisation de PÉPIPROFIL est plus intéressante, puisque l'enseignant utilise le logiciel à plusieurs reprises et que les usages restent à inventer. Nous traitons ce point dans la section consacrée à l'interface enseignant (cf. § 1.4.3).

f) Bilan

Tous ces travaux, qu'ils correspondent à des problématiques d'ordre didactique, informatique ou résolument orientées EIAO, mènent à des conclusions communes : le passage d'un environnement papier – crayon à un environnement informatisé n'est pas anodin, il pose des problèmes plus complexes que ceux attachés généralement à la notion de médiatisation. Cette articulation entre les deux types d'environnements fait en effet intervenir non seulement un processus de médiatisation, mais également un processus de transposition informatique et de genèse instrumentale. C'est pourquoi nous préférons utiliser par la suite le terme de transfert pour désigner cette articulation, que nous étudions dans le chapitre 2.

1.4.2. LE DIAGNOSTIC DE COMPÉTENCES

Le diagnostic de compétences est l'objectif principal de notre système. Notre travail a donc de nombreux points communs avec les recherches sur la modélisation de l'apprenant en EIAO. L'objectif de la modélisation de l'apprenant en EIAO est d'obtenir des informations sur les connaissances de l'élève en étudiant son comportement. Le diagnostic est la méthode employée pour analyser les observables et en déduire des éléments sur les connaissances de l'élève [WENGER, 1987] [PY, 1998]. Si l'objectif est bien pour nous de disposer d'un ensemble d'informations sur l'état des connaissances de l'élève à partir d'une session avec un système interactif, dans notre cas, l'objectif n'est pas l'apprentissage mais uniquement l'évaluation. Le diagnostic n'est pas seulement l'un des modules d'un EIAO, c'est le cœur du système. Cette différence ne fait pas de notre recherche un domaine nouveau en EIAO, mais elle nécessite d'en préciser les spécificités.
Du fait de cette différence, le diagnostic a tout d'abord une importance beaucoup plus importante dans notre système qu'il en aurait dans un EIAO destiné à l'apprentissage (nous parlerons d'EIAO classique), le diagnostic ne peut pas être ignoré, il doit être particulièrement fiable.
La différence la plus importante concerne sans doute les moyens dont on dispose pour évaluer l'apprenant. Dans un EIAO classique, le diagnostic est fait à partir des interactions de l'apprenant avec le système en situation d'apprentissage. Il n'est pas toujours facile dans ce cas d'obtenir des informations pertinentes pour établir le diagnostic. Dans le projet PÉPITE, les situations ainsi que l'interface élève ont été élaborées pour permettre le diagnostic. Le système dispose donc de toutes les informations qui lui sont nécessaires. L'idée est la même que celle proposée par Helen PAIN, Susan BULL et Paul BRNA : définir le

diagnostic comme seul objectif du système (« a student model "for its one sake" »[1]) [PAIN et al., 1996].

Dans notre cas, les observables sont les réponses des élèves à l'ensemble des exercices du test. La difficulté du travail d'analyse réside à la fois dans la diversité des questions (portant sur plusieurs registres sémiotiques : non seulement le registre algébrique, mais aussi les registres numérique, géométrique, graphique et le langage naturel), dans la diversité des réponses que peuvent proposer les élèves (comportant par exemple à la fois du langage naturel et des expressions mathématiques) et dans la complexité du modèle de la compétence algébrique sur lequel nous nous appuyons. D'où notre questionnement : est-il possible d'analyser automatiquement les productions des élèves en identifiant tous les éléments spécifiés par l'analyse didactique a priori ? Notre objectif pour cette partie de notre travail est de montrer la faisabilité de l'automatisation du diagnostic.

Notre travail se fonde sur l'automatisation d'un outil papier – crayon, l'expertise de diagnostic a été en partie explicitée par Brigitte GRUGEON. Cette expertise est cependant particulièrement complexe, son automatisation est loin d'être triviale. Dans cette thèse, notre but n'est pas de modéliser l'expertise didactique, mais plus raisonnablement d'opérationnaliser le diagnostic. Le moyen le plus efficace d'utiliser une expertise n'est en effet pas forcément d'« imiter » l'expert, il peut être préférable d'exploiter l'expertise différemment. Monique BARON suggère, pour faciliter la résolution des problèmes posés par la modélisation de l'apprenant, que « des approches possibles reposent probablement sur la détermination d'objectifs de modélisation raisonnables, selon les situations d'apprentissage visées et l'utilisation effective des informations du modèle de l'apprenant» [BARON, 1998]. Nous avons adopté ce point de vue. Dans ce travail, nous avons privilégié l'aspect multidimensionnel du modèle cognitif et la pertinence des profils obtenus, par rapport à la performance technique. L'idée est de commencer par montrer la faisabilité du diagnostic avant de choisir des techniques de diagnostic adaptées.

L'adoption de ce point de vue nous permet de construire des profils d'élèves cognitifs et multidimensionnels très riches en informations sur les connaissances des élèves.

En raison de la complexité du modèle d'analyse et de la diversité des réponses que les élèves proposent, nous adoptons une démarche incrémentale et principalement ad hoc pour le diagnostic. Le diagnostic est construit localement en fonction des questions et des éléments à identifier, il est ensuite testé par les didacticiens et les enseignants, puis, en fonction des résultats des tests, le diagnostic est affiné et éventuellement généralisé. Cette démarche incrémentale nous permet d'obtenir des résultats testables avec des enseignants sans attendre que le diagnostic soit complet.

1.4.3. UN OUTIL POUR L'ENSEIGNANT

Une des originalités de PÉPITE est de proposer, avec PÉPIPROFIL un outil destiné directement aux enseignants. Les EIAO s'adressent en effet quasi exclusivement aux élèves, même si l'enseignant, en le choisissant, en le paramétrant, en assistant les élèves pendant

[1] Un modèle de l'élève pour lui-même.

son utilisation, est lui aussi souvent utilisateur du système, comme c'est le cas par exemple pour ROBOTEACH [LEROUX, 1995]. La prise en compte de l'enseignant est une préoccupation importante au LIUM depuis plusieurs années [VIVET, 1990]. De plus en plus de recherches en EAIO s'inscrivent dans ce courant, par exemple [VAN LABEKE, 1999].
La problématique de notre travail sur l'interface enseignant concerne l'intégration de PÉPIPROFIL aux usages des enseignants. Notons que le travail sur PÉPIPROFIL est fondamental pour permettre l'intégration de l'ensemble du système aux pratiques des enseignants.
Contrairement à PÉPITEST qui n'est utilisé qu'une seule fois par les élèves, PÉPIPROFIL est destiné à être utilisé à plusieurs reprises par les enseignants (au moins à chaque rentrée scolaire pour les enseignants de classes de seconde ou à chaque fin d'année pour les enseignants de classes de troisième). Une genèse instrumentale ([RABARDEL, 1995], cf. § 1.4.1.e)) va s'instaurer : les enseignants vont, au fil des utilisations, s'approprier l'instrument qu'est pour eux PÉPIPROFIL, en s'adaptant à son fonctionnement et en lui conférant des usages, qui iront certainement au-delà de ceux que nous envisageons actuellement.
Cette appropriation de PÉPIPROFIL et cette intégration aux pratiques, passent par l'acceptation et l'appropriation du profil d'élève par l'enseignant. Non seulement la présentation du profil doit être claire et efficace, mais le système ne peut pas se contenter de présenter le profil qu'il a construit. PÉPIPROFIL doit pouvoir justifier le diagnostic qu'il a établi, permettre à l'enseignant de s'approprier le profil en s'impliquant, par exemple en complétant le diagnostic proposé ou en allant jusqu'à le modifier. PÉPITE est bien un assistant au service de l'enseignant dans sa tâche de diagnostic de compétence, ce n'est en aucun cas un système imposant un modèle figé des connaissances de l'élève. Cette nuance entre système de diagnostic automatique et assistant au diagnostic est cruciale pour l'acceptation du système par les enseignants, étant donné leur réserve légitime à l'égard de l'évaluation automatique.

1.5. MÉTHODOLOGIE

La méthode de conception que nous proposons pour PÉPITE, est adaptée à notre problématique dans le sens où, pour faciliter l'intégration du système à l'enseignement, des didacticiens, des enseignants et des élèves sont impliqués dans la conception. Notre démarche allie conception itérative, conception centrée utilisateur avec les élèves, conception participative et pluridisciplinaire avec des enseignants et des didacticiens des mathématiques. La validation du système et des choix de conception est une préoccupation majeure depuis le début et à toutes les étapes du projet. Cette démarche s'apparente à la collaboration persistante proposée par CONLON et PAIN [CONLON & PAIN, 1996]. CONLON et PAIN parlent de collaboration persistante pour désigner un travail collaboratif avec les enseignants et les élèves qui ne s'arrête pas aux premières étapes de la conception, mais dure au contraire jusqu'après la réalisation [CONLON & PAIN, 1996]. Cette démarche allie recherche - action et conception centrée utilisateur. Nous y ajoutons le travail avec des didacticiens.

Dans cette section, nous commençons par présenter ce que nous apporte la réutilisation d'une expertise papier – crayon. Nous caractérisons ensuite la méthodes de conception que nous proposons pour l'ensemble de notre projet, en présentant tout d'abord les différentes méthodes de conception auxquelles elle fait appel. Nous terminons par une présentation des critères de validation que nous avons définis pour chaque étape de notre travail.

1.5.1. LA RÉUTILISATION D'EXPERTISE

Utiliser un outil papier – crayon existant nous permet, nous l'avons dit, de disposer d'une expertise rigoureuse et validée. Mais d'un point de vue méthodologique, cela nous permet également de disposer d'un corpus de taille importante dès le début de notre travail. L'expérimentation du test papier – crayon à grande échelle a en effet produit un corpus papier – crayon de plus de 600 copies d'élèves.
Ce corpus nous permet de connaître les réponses proposées par les élèves, l'intérêt pour nous est double :
– L'étude de ce corpus nous a permis de concevoir l'interface élève en ayant identifié précisément les réponses que les élèves proposent. L'étude de ce corpus est donc la phase initiale de la conception de l'interface élève.
– Pour le module de diagnostic, l'existence de ce corpus permet de connaître, dès le début du projet, les types de productions d'élèves qui devront être analysées par le système. Cet avantage a été mis en évidence par François-Marie BLONDEL [BLONDEL, 1996]. Cette approche évite la constitution d'un corpus par la technique du magicien d'Oz. Ce corpus papier - crayon a été complété par un corpus machine une fois PÉPITEST conçu.
Par ailleurs, la réutilisation d'un outil papier – crayon validé nous permet de définir précisément nos critères de validation, qui sont fondés sur la comparaison de cet outil à sa version informatisée.

1.5.2. DE LA PLURIDISCIPLINARITÉ À L'INTERDISCIPLINARITÉ

Pour tenter de déterminer si la conception de PÉPITE est pluridisciplinaire ou peut prétendre à l'interdisciplinarité, définissons tout d'abord les termes de pluridisciplinarité et d'interdisciplinarité.

a) Pluridisciplinarité et interdisciplinarité

Avant de caractériser la pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité, commençons par caractériser la coopération et la collaboration. Pour spécifier ces notions, nous nous référons à la définition proposée par Pascal LEROUX dans sa thèse [LEROUX, 1995]. La Figure 1-12 reprend en partie la synthèse qu'il propose.

	But	Tâche(s)
COOPÉRATION	Commun	Différente(s)
COLLABORATION	Commun	Commune(s)

Figure 1-12 : Comparaison coopération / collaboration d'après [LEROUX, 1995].

La principale différence entre coopération et collaboration réside dans la tâche à réaliser, elle est différente dans la coopération, chacun faisant une partie du travail, et commune dans la collaboration, où les participants travaillent ensemble sur les mêmes tâches.

Si on s'arrête à une définition superficielle, pluridisciplinarité et interdisciplinarité sont quasi synonymes : ces termes caractérisent des travaux qui concernent plusieurs disciplines. Néanmoins dès lors que l'on approfondit un peu la recherche, on retrouve pour les termes pluridisciplinarité et interdisciplinarité des différences similaires à celles identifiées pour les termes coopération et collaboration. La pluridisciplinarité peut être considérée comme une association de disciplines qui participent à une réalisation commune, mais sans que les concepts et méthodes utilisés par chacune des disciplines ne soient modifiés. Quant à l'interdisciplinarité, son but, plus ambitieux, est d'élaborer des concepts, des méthodes, des problématiques communs aux différentes disciplines, sans pour autant aller jusqu'à la création d'une nouvelle discipline [ENCYCLOPÆDIA UNIVERSALIS, 1995].

	But	Concepts, méthodes et problématiques
PLURIDISCIPLINARITÉ	Commun	Différents
INTERDISCIPLINARITÉ	Commun	Communs

Figure 1-13 : Comparaison pluridisciplinarité / interdisciplinarité.

On peut alors reprendre le tableau comparatif proposé par Pascal LEROUX pour distinguer coopération et collaboration (cf. Figure 1-12) et l'adapter à la distinction entre pluridisciplinarité et interdisciplinarité (cf. Figure 1-13). Si le but est commun dans les deux cas, les concepts, méthodes et problématiques sont différents dans les travaux pluridisciplinaires et communs dans les travaux interdisciplinaires.
L'EIAO est un domaine de recherche qui se situe entre la pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité. Selon les travaux, certaines des disciplines interviennent seulement pour apporter des concepts ou méthodes, d'autres travaillent réellement en commun (l'intelligence artificielle et la didactique des disciplines par exemple), allant jusqu'à déterminer une problématique commune (l'apprentissage avec ordinateur), des concepts communs (comme la notion de transposition informatique) et des publications communes (le livre *Didactique et intelligence artificielle* en est le meilleur exemple [BALACHEFF & VIVET, 1994]).

b) Le travail d'équipe dans PÉPITE

Le projet PÉPITE s'inscrit dans les habitudes de collaboration, depuis 1989, entre l'équipe EIAO du LIUM, en informatique et le DIDIREM de Paris 7, en didactique des disciplines. Cette collaboration s'est déjà concrétisée avant notre travail par les thèses d'Élisabeth DELOZANNE sur le projet ÉLISE [DELOZANNE, 1992] et de Xavier DUBOURG sur REPÈRES [DUBOURG, 1995].
La pluridisciplinarité est un point primordial dans le projet PÉPITE. Informaticiens, didacticiens et enseignants coopèrent. En plus des informaticiens du LIUM, Stéphanie JEAN,

Élisabeth DELOZANNE, Pierre JACOBONI et Martial VIVET, l'équipe de conception de PÉPITE comprend deux chercheuses en didactique des mathématiques du DIDIREM, Michèle ARTIGUE et Brigitte GRUGEON, ainsi que, plus ponctuellement, deux stagiaires de DEA de didactique des disciplines (également enseignants du secondaire), Saïd IAMARENE et Brigitte BERNOU-HASQUENOPH. À ces personnes s'ajoutent, pour la conception de PÉPIPROFIL, deux enseignantes du secondaire, Nicole PERNIAS et Marie-Thérèse GIACOMO.

Dans notre projet, le travail avec des didacticiens ne pouvait se satisfaire de simples emprunts aux concepts, méthodes et problématiques de cette discipline, pour qu'une vraie collaboration soit possible, il nous a fallu nous les approprier, comme le préconise Nicolas BALACHEFF.

Dans PÉPITE, le travail peut être vu comme une coopération entre informaticiens et didacticiens, où les didacticiens fournissent un outil et où les informaticiens doivent l'automatiser. Cependant, le travail n'est pas aussi séquentiel et segmenté qu'il y paraît. Si l'outil papier - crayon a bien été conçu à l'origine uniquement par les didacticiens, l'automatisation est, elle, collaborative, même si à certains moments, certaines tâches doivent être faites de façon coopérative (par exemple : aux didacticiens de préciser certains termes à employer, aux informaticiens de réaliser l'interface). La pluridisciplinarité au sein du projet PÉPITE ne s'arrête en effet pas à une coopération entre termes d'expertise : l'informatique n'y est pas seulement au service de la didactique pour opérationnaliser un outil de recherche, comme la didactique ne fournit pas uniquement une expertise aux informaticiens.

Le travail des informaticiens a eu des conséquences sur celui des didacticiens lors du remaniement de l'outil papier - crayon. En effet, la première maquette proposée a fortement influencé la conception, par les didacticiens, d'une deuxième version du test papier – crayon.

En ce qui concerne la conception de la version automatisée de ce test, il s'agit réellement d'un travail collaboratif entre informaticiens et didacticiens, qui a consisté en séances de travail pluridisciplinaires régulières. Concernant l'interface élève, mais plus encore concernant l'interface enseignant (puisque pour ce module, didacticiens et enseignants ne sont pas seulement clients, ils sont aussi utilisateurs du système), les décisions de conception ont été faites lors de telles réunions. Les réunions pluridisciplinaires s'organisaient autour de copies d'écran des prototypes réalisés et consistaient en une analyse critique de ces prototypes, en des discussions sur les modifications à leur apporter et en des propositions de nouvelles implantations. Comme le souligne Nicolas VAN LABEKE au sujet d'une conception impliquant des enseignants, « l'évolution du comportement apparent du logiciel [est le] seul critère d'avancement valable aux yeux des enseignants auteurs » [VAN LABEKE, 1999]. Pour cette raison, les réunions avaient lieu lorsque l'interface avait suffisamment évolué pour permettre des échanges intéressants entre informaticiens et didacticiens.

Le travail collaboratif entre informaticiens et didacticiens s'est également concrétisé lors des expérimentations des logiciels conçus et lors de l'analyse des corpus recueillis.

Nous pouvons prendre à notre compte pour notre travail les conclusions de JACQUET, NICOLLE et ANDRÈS : la pluridisciplinarité dans notre projet est une « interaction constructive entre les disciplines sans que les uns prennent la place des autres et sans que les uns soient au service des autres » [JACQUET et al., 1996].

Nous pouvons également parler de collaboration persistante au sens de CONLON et PAIN concernant le projet PÉPITE, puisque la collaboration entre informaticiens, didacticiens et enseignants a eu lieu tout au long de la conception des différents modules, mais aussi parce qu'elle existe encore au moment de l'intégration du système à l'enseignement.

c) Le projet PÉPITE, une collaboration interdisciplinaire ?

Les définitions que nous avons présentées ainsi que les caractérisations de l'interdisciplinarité intelligence artificielle / psychologie décrite dans [JACQUET et al., 1996] nous amènent à proposer dans la Figure 1-14 une échelle pluridisciplinarité / interdisciplinarité allant de simples échanges entre disciplines à la définition de recherches communes.

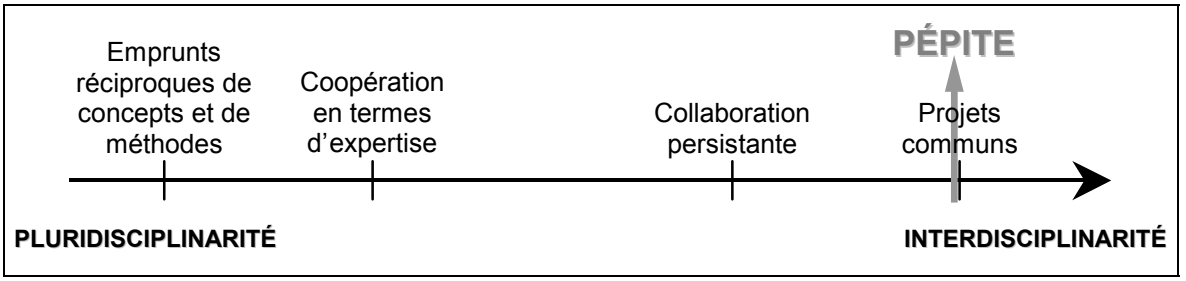


Figure 1-14 : Différents types de travaux placés sur une échelle pluridisciplinarité / interdisciplinarité.

Pour conclure, situons le projet PÉPITE sur cette échelle pluridisciplinarité / interdisciplinarité (cf. Figure 1-14). Nous pouvons dire que le projet PÉPITE est interdisciplinaire. Il s'agit en effet, nous l'avons vu dans la section précédente, d'une collaboration persistante entre didacticiens et informaticiens, avec appropriation des concepts, méthodes et problématiques de la discipline associée. Mais ce projet se situe également dans une problématique commune à l'informatique et à la didactique des disciplines (la modélisation des connaissances des élèves et l'intégration à l'enseignement) et utilise des concepts communs aux deux disciplines.

1.5.3. LES MÉTHODES DE CONCEPTION UTILISÉES

La méthode de conception que nous avons adoptée fait appel à différentes méthodes de conception, issues du génie logiciel, de recherches en IHM ou en EIAO. Elles vont toutes dans le sens d'une meilleure intégration du système à l'enseignement, par la prise en compte, dans le processus de conception, des utilisateurs, de leurs besoins, de leurs habitudes de travail. Elles sont donc guidées par notre problématique d'usage. Selon les modules de PÉPITE, les méthodes diffèrent. Nous présentons ici chaque méthode : conception itérative, incrémentale, conception centrée utilisateur, conception informative et conception participative. Nous indiquons ensuite à quelle(s) méthode(s) la conception des différents modules de PÉPITE s'apparente.

a) Conception itérative

La conception itérative est une méthode dans laquelle la conception se fait par succession de phases : en affinant progressivement les spécifications, en évaluant les solutions retenues, puis en réalisant et intégrant les modifications jusqu'à obtention d'un produit satisfaisant [VAN EYLEN & HIRACLIDÈS, 1996]. Cette démarche de conception s'appuie sur la réalisation de maquettes et de prototypes qui sont évalués puis éventuellement modifiés. Le prototypage permet d'atteindre les objectifs de la conception centrée - utilisateur, à savoir créer un système facile à apprendre et à utiliser [PREECE et al., 1994]. Un des bénéfices supplémentaires du prototypage est de favoriser la communication autour du projet avec les clients et au sein de l'équipe pluridisciplinaire de conception [KRIEF, 1992], [VAN EYLEN & HIRACLIDÈS, 1996]. Cette technique, couramment utilisée en communication homme – machine, l'est aussi de plus en plus en EIAO, en particulier au sein de notre équipe [DELOZANNE, 1992] [DUBOURG, 1995].

Nous parlons de conception itérative pour PÉPITE, tout d'abord, module par module parce que le travail collaboratif avec des didacticiens et des enseignants nous amène à concevoir les différents modules étape par étape et à travailler avec des maquettes et prototypes. Ces prototypes nous permettent, d'une part de travailler avec les différentes personnes impliquées dans la conception, la validation ou l'utilisation de PÉPITE : didacticiens, enseignant et élèves, d'autre part, cette méthode nous permet d'obtenir des résultats sans que l'ensemble des modules soient entièrement réalisés. Ainsi, un dispositif incluant l'interface élève entièrement développée, un module de diagnostic partiel et une interface enseignant permettant le calcul des profils, mais élémentaire du point de vue de leur présentation, a permis de tester la faisabilité de l'ensemble du système, même avec un diagnostic partiel. Nous parlons ensuite de conception itérative, pour l'ensemble du projet, puisque la conception d'un module peut en partie remettre en cause un autre module. Par exemple, certaines difficultés rencontrées dans le diagnostic ont été résolues par des modifications dans l'interface élève, de même que la demande par les enseignants de nouveaux éléments à faire figurer dans le profil peut avoir des répercussions sur le module de diagnostic.

b) Conception incrémentale

La conception incrémentale permet l'adaptation progressive d'un système aux situations rencontrées en commençant par développer une partie du système, puis en ajoutant petit à petit des fonctions supplémentaires (cf. Figure 1-15).

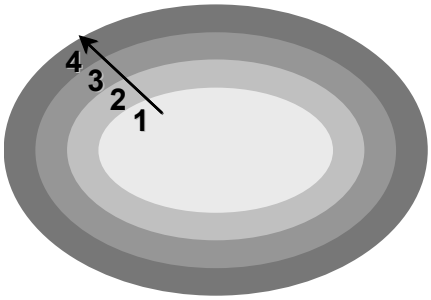


Figure 1-15 : Conception incrémentale.

Nous adoptons une démarche incrémentale pour la conception du module de diagnostic, PÉPIDIAG : les résultats de l'évaluation des différents prototypes de PÉPIDIAG permettent de spécifier le diagnostic au fur et à mesure en le complétant , en l'affinant et éventuellement en le généralisant. Les résultats de l'évaluation d'une première version du module de diagnostic permettent d'identifier les limites et les problèmes posés par le diagnostic, puis d'améliorer le module de diagnostic pour prendre en compte et tenter de résoudre ces problèmes. C'est pourquoi les méthodes de diagnostic employées pour la version de PÉPIDIAG présentée dans ce chapitre sont en partie ad hoc, dépendant des questions et des éléments à identifier (précisés dans l'analyse didactique a priori). Nous partons d'un diagnostic ad hoc, déterminé en fonction de l'analyse didactique, que nous souhaitons généraliser pour passer de l'analyse de questions particulières à l'analyse de catégories de questions.

c) Conception centrée utilisateur

Le principe de la conception centrée utilisateur est de prendre en compte l'utilisateur dans la conception d'un système informatique [NORMAN & DRAPER, 1986]. Cette approche place l'utilisateur et la tâche qu'il doit effectuer (dans la mesure où la tâche est clairement définie, ce qui est le cas pour PÉPITEST) au centre de la démarche de conception.
Cette méthode de conception est cependant unidirectionnelle : l'utilisateur est observé dans ses comportements de résolution, interrogé sur ses attentes quant au système à concevoir et questionné sur le logiciel conçu.
Pour PÉPITEST, nous pouvons parler de conception centrée utilisateur avec les élèves, qui sont les utilisateurs finals. Nous avons en effet fait appel à des élèves à plusieurs reprises pour tester l'utilisabilité de notre système. En ce qui concerne l'analyse de la tâche, elle nous était en partie donnée par l'analyse a priori, nous l'avons complétée par une étude des corpus papier – crayon dont nous disposions pour chaque exercice. Étudier les exercices et les réponses d'élèves nous a permis de connaître leurs besoins : ils annotent par exemple

leurs schémas, un outil doit donc permettre aux utilisateurs d'annoter les schémas dans l'interface élèves.

d) Conception participative

Lorsque la tâche de l'utilisateur n'est pas totalement définie, la conception centrée utilisateur ne suffit plus. Pour définir précisément la tâche, il est nécessaire de faire appel aux utilisateurs, non plus seulement pour les tests, mais en tant que concepteurs. C'est cette démarche qu'offre la conception participative [SCHULER & NAMIOKA, 1993] [MACKAY & FAYARD, 1997].

La démarche de conception participative propose d'associer les utilisateurs au processus de conception en partant du principe qu'ils savent ce dont ils ont besoin, mais qu'ils peuvent aussi avoir des idées novatrices [GREENBAUM & KYNG, 1991]. POCHON et GROSSEN abondent dans ce sens, ils indiquent que « les utilisateurs ne sont pas des individus passifs soumis au "bon vouloir" de la machine, mais [qu'ils] cherchent activement à donner un sens à cet objet en cherchant aussi à lui imposer leur perspective. […] De cette imposition réciproque de perspectives, émerge alors un espace interactif [qui réunit] indirectement une série d'acteurs sociaux (les concepteurs, les programmeurs, les formateurs ou enseignants, les apprenants, etc.), […] tentant, dans une certaine mesure, d'orienter la machine vers la réalisation de [leur] projet. » [POCHON & GROSSEN, 1997b].

L'approche est ici bidirectionnelle (en opposition à l'approche unidirectionnelle de la conception centrée utilisateur) : l'utilisateur est non seulement observé et interrogé, mais aussi intégré dans le processus de conception [MACKAY & FAYARD, 1997].

Notre démarche s'apparente à une conception participative avec les didacticiens, à la fois pour PÉPITEST et pour PÉPIPROFIL. Les didacticiens étaient pour nous, d'une part, clients du système conçu et d'autre part, représentants des utilisateurs, élèves et enseignants. Dans le cadre de notre conception pluridisciplinaire, nous avons intégré les didacticiens à notre équipe de conception. La communication entre informaticiens et didacticiens s'est faite principalement par le biais de copies d'écran de prototypes. Les échanges sont en effet plus riches, les critiques et les idées de modifications plus nombreuses autour d'un document que l'on peut annoter ; les didacticiens s'approprient plus facilement ces documents papier que le logiciel directement sur écran, le logiciel étant perçu comme un élément fini difficilement remis en question.

e) Conception informative

SCAIFE et ROGERS proposent une alternative aux deux approches précédentes avec la notion de conception informative [SCAIFE & ROGERS, 1999]. Cette approche a été introduite pour qualifier la démarche de conception du projet ECOi intégrant des enfants à l'équipe de conception. Il est en effet, selon les auteurs, difficile de parler de conception participative dans ce cas, car les enfants, s'ils peuvent apporter des idées à la conception, ne peuvent pas vraiment être considérés comme des pairs par les concepteurs. La conception informative peut donc être définie comme une démarche faisant appel aux utilisateurs en tant qu'informateurs dans la conception, sans les cantonner à un rôle passif, mais sans pour

autant les considérer comme des partenaires à part entière : ils peuvent par exemple travailler avec les concepteurs sur des maquettes et / ou prototypes, mais ce ne sont pas eux qui prennent les décisions finales.
Cette méthode de conception, conçue pour le travail avec des enfants, est applicable à d'autres publics, en particulier à des enseignants [SCAIFE & ROGERS, 1999].
Notre démarche s'apparente à une conception informative avec les enseignants pour PÉPIPROFIL. Nos échanges avec les enseignants, pour la conception de PÉPIPROFIL, ont consisté à travailler autour de prototypes. Les enseignants ont donné leur avis sur le logiciel, posé des questions sur son fonctionnement, mettant ainsi en évidence des points à clarifier, et proposé de nouvelles fonctionnalités correspondant à leurs habitudes de travail.

f) Bilan : la méthode de conception différenciée

Les trois dernières méthodes de conception que nous venons de présenter peuvent être placées sur une échelle indiquant le degré de participation de l'utilisateur au processus de conception (cf. Figure 1-16). Parmi ces méthodes, la conception centrée utilisateur est celle qui fait le moins participer les utilisateurs à la conception et la conception participative, celle qui fait leur laisse la plus grande place, la conception informative est intermédiaire du point de vue de la place qu'elle accorde à la participation des utilisateurs.

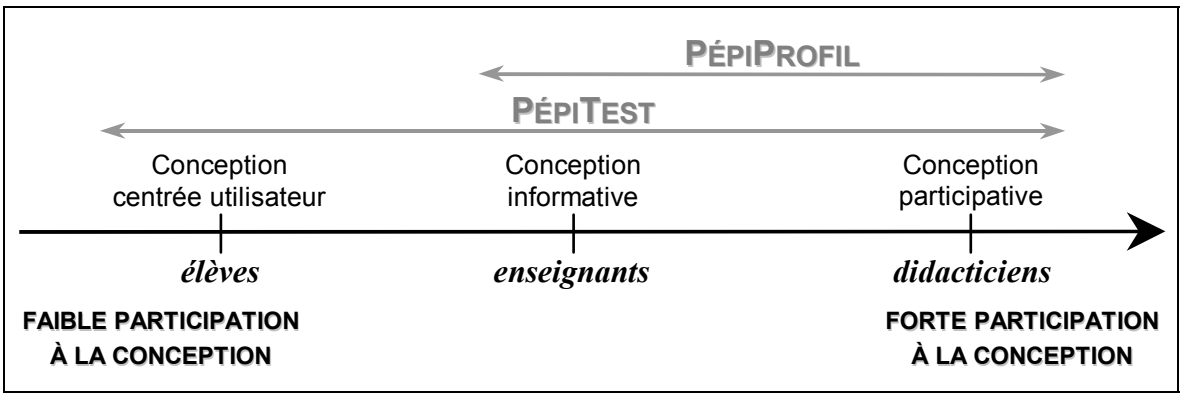


Figure 1-16 : Différentes méthodes de conception selon le degré de participation des membres de l'équipe de conception.

Nous situons la démarche que nous avons adoptée pour la conception de PÉPITEST entre la conception centrée utilisateur et la conception informative : conception centrée utilisateur avec les élèves et conception informative avec les enseignants. Quant à la démarche adoptée pour la conception de PÉPIPROFIL, nous la situons entre la conception informative et la conception participative : les rapports entre informaticiens et didacticiens s'apparentent à une conception participative, en revanche, les relations avec les enseignants correspondent clairement à une conception informative : les enseignants ont été intégrés à l'équipe de conception, mais seulement ponctuellement et pour donner leur avis sur les prototypes, pour exprimer leurs attentes et leurs idées en tant qu'utilisateurs et non en tant que concepteurs.

1.5.4. L'ÉVALUATION

Des ouvrages traitant de l'ergonomie des interfaces recommandent de considérer l'évaluation comme un état d'esprit qui doit se manifester tout au long de la conception d'un système [KOLSKI, 1997]. Cette préoccupation de valider les choix de conception et de détecter de façon précoce les éventuels problèmes d'utilisation se traduit dans notre projet par une grande importance accordée à l'évaluation des interfaces conçues et par la définition de critères de validation dès le début de notre travail. L'évaluation fait ainsi partie intégrante de notre méthodologie, elle est intégrée à tous les niveaux de la conception. Nous présentons ici successivement, même si les différents points sont liés, l'évaluation des interfaces et les critères de validation définis.

a) L'évaluation des interfaces

L'évaluation des interfaces (qui concerne l'interface élève PÉPITEST et l'interface enseignant PÉPIPROFIL) s'appuie essentiellement sur des expérimentations d'ampleur croissante au fur et à mesure du développement du système : jugements d'experts, tests informels et expérimentations en situation réelle, en classe pour PÉPITEST, avec des enseignants impliqués, puis non impliqués dans le projet pour PÉPIPROFIL.

b) Les critères de validation

Dans cette section, nous présentons les critères de validation des différents modules de notre système. Cette validation est fondée sur une comparaison de l'outil de diagnostic papier – crayon et du système de diagnostic automatique : si ce dernier fournit autant d'informations (en quantité et en qualité) que l'outil papier – crayon, la validité du système sera prouvée, la validité de l'outil papier – crayon ayant déjà été démontrée, comme nous l'avons vu dans la section 1.2.6). Nous spécifions cette comparaison en nous référant au modèle de l'élève proposé par Nicolas BALACHEFF. Nous commençons donc par une présentation de ce modèle, nous établissons ensuite la relation entre ce modèle et notre système, nous définissons enfin les critères de validation correspondant aux trois modules de PÉPITE.

♦ **La modélisation de l'élève selon BALACHEFF**

Nicolas BALACHEFF expose, dans l'article « Didactique et intelligence artificielle » de 1994 publié dans l'ouvrage du même titre, les spécificités de la modélisation de l'élève dans un environnement informatique [BALACHEFF, 1994a].

La modélisation de l'élève se fonde sur des *observables*, ensemble ordonné d'éléments représentatifs du comportement de l'élève. D'un point de vue informatique, ces éléments peuvent correspondre aux événements - système (clic souris, déplacement, appui de touche, etc.) ou à une description un peu moins fine mais plus informative, les événements – logiciel (ce qui a été tapé au clavier, les items de menu sélectionnés, etc.) [DUBOURG, 1996]. Pour construire le modèle de l'élève, il faut donc commencer par déterminer quels éléments sont pertinents dans l'identification du comportement de l'élève.

Le *modèle comportemental* correspond à cet ensemble d'observables. Il doit permettre de reproduire à l'interface le comportement de l'élève, en rassemblant toutes les informations nécessaires.
Le *modèle épistémique*, modèle de plus haut niveau, permet de donner une signification à ces observables. BALACHEFF reprend la distinction d'Étienne WENGER [WENGER, 1987] qui identifie deux types de modèle épistémique : le modèle procédural et le modèle conceptuel.
Le *modèle épistémique procédural* se caractérise par une interprétation par le système des comportements de l'élève afin d'identifier ses buts ou ses stratégies.
Le *modèle épistémique conceptuel* doit permettre de rendre compte des connaissances de l'élève et expliquer ainsi les choix des procédures utilisées.

Nicolas BALACHEFF envisage la définition de ce cadre de travail pour permettre d'organiser l'évaluation des EIAO. Pour cela, il précise que « si on ne peut examiner directement la relation entre le modèle épistémique et les connaissances de l'élève, en revanche, on peut examiner celle qu'entretient ce modèle avec le modèle (conception) élaboré par le didacticien. »

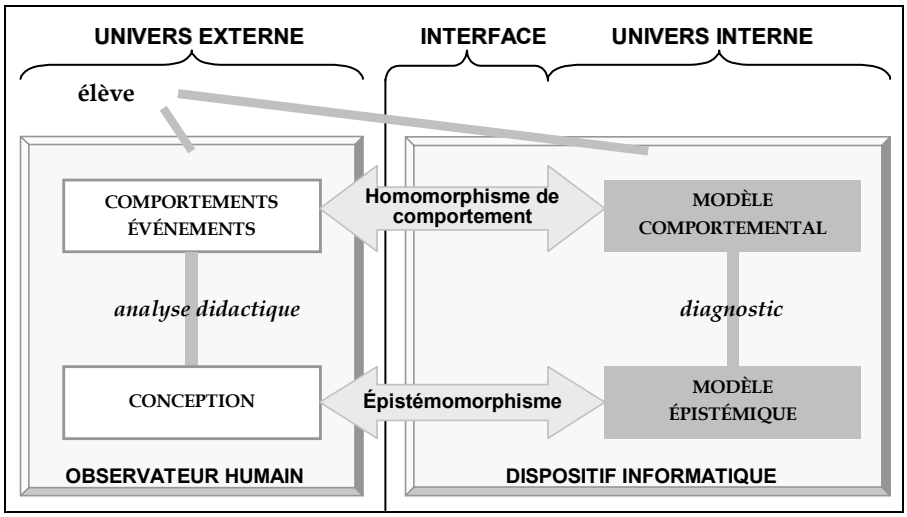


Figure 1-17 : Univers externe, interface et univers interne [BALACHEFF, 1994a].

En effet, la comparaison de l'univers interne (l'ordinateur) et de l'univers externe (l'environnement habituel) permet une évaluation du modèle élaboré dans l'univers interne (cf. Figure 1-17). Ainsi d'une part, « on dira qu'il y a *homomorphisme de comportement* si, pour l'observateur dans l'univers externe, le modèle interne permet de "rejouer" la session de l'apprenant de façon fidèle au regard du modèle externe ». Cette comparaison permet d'identifier un éventuel écart entre le comportement réel de l'élève (observé par un humain) et sa transcription par le système. D'autre part, on parlera d'*épistémomorphisme* si « […] le modèle épistémique construit par la machine rend compte des propriétés structurelles et conceptuelles décrites par la conception attribuée par ailleurs à l'élève au terme de l'analyse didactique ». Cette seconde comparaison permet d'identifier un éventuel écart entre l'analyse faite par le système et celle que ferait un humain.

- **PÉPITE et le modèle de l'élève de BALACHEFF**

Les étapes de la construction du profil par PÉPITE correspondent aux trois modèles définis par BALACHEFF. Tout d'abord, PÉPITEST fournit dans le fichier mémorisant les productions de l'élève, un ensemble d'observables qui forme un *modèle comportemental* (cf. ① Figure 1-18). En effet, ce fichier de productions ne contient pas l'ensemble des événements - système, ni même l'ensemble des événements - logiciel [DUBOURG, 1995], mais uniquement les données que nous souhaitons étudier en vue du diagnostic, données caractéristiques du comportement de l'élève. L'ensemble de ces données nous suffit pour rendre compte du travail de l'élève à l'interface. Il n'est en effet nécessaire de mémoriser que les éléments que l'on va ensuite analyser [SELF, 1988].
La phase de diagnostic correspond à une interprétation de ces observables, en ce sens, le résultat de l'analyse des productions (par un didacticien ou par PÉPIDIAG) constitue un type de *modèle épistémique*. Nous pouvons considérer qu'il s'agit d'un *modèle épistémique procédural*, puisque nous interprétons les productions des élèves (le modèle comportemental) en leur associant un type de fonctionnement qui rend compte des procédures utilisées (cf. ② Figure 1-18). Quant aux profils (établis par le didacticien ou calculés par PÉPIPROFIL), ils constituent le second type de modèle épistémique, le *modèle épistémique conceptuel*. En effet, une analyse transversale des résultats de l'application de la grille d'analyse permet d'établir le profil des élèves, reflet de leurs conceptions (cf. ③ Figure 1-18).
Précisons que les profils correspondent en fait, à la conception qu'a le système, des conceptions des élèves.

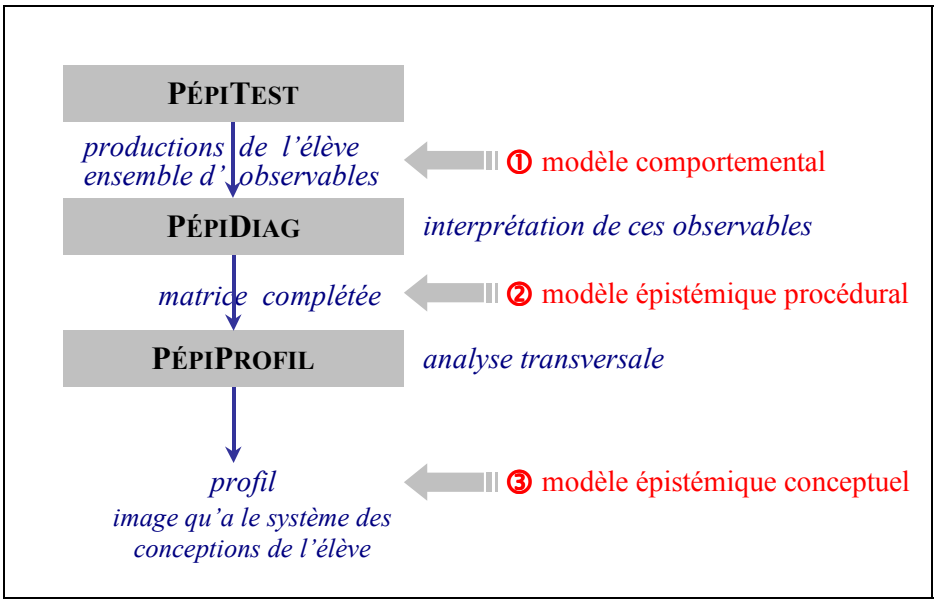


Figure 1-18 : PÉPITE et le modèle de l'élève de BALACHEFF.

PÉPITE étant le résultat du transfert d'un outil de diagnostic papier - crayon entièrement validé, nous pouvons fonder les critères de validation de PÉPITE sur une comparaison du diagnostic papier - crayon (l'univers externe) et du diagnostic informatisé (l'univers interne). Par ailleurs, les étapes de la construction du profil correspondent aux trois modèles définis par BALACHEFF. Entrant ainsi dans leur champ d'application, nous pouvons donc appliquer à PÉPITE les critères de validation proposés par Nicolas BALACHEFF.

♦ **Critères de validation de PÉPITEST**

La validation de PÉPITEST, outre la validation de l'interface, comporte deux parties. Le premier critère de validation consiste à vérifier que les observables obtenus à partir du logiciel sont représentatifs du comportement de l'élève. Le second critère de validation de PÉPITEST consiste à vérifier que ces observables permettent de construire des profils équivalents aux profils papier - crayon.

♦ **Critère de validation de PÉPIDIAG**

Pour valider PÉPIDIAG, nous allons chercher à montrer l'équivalence du diagnostic papier - crayon et du diagnostic de PÉPIDIAG en montrant que les matrices complétées automatiquement par PÉPIDIAG à partir des productions de PÉPITEST sont équivalentes à celles complétées manuellement par un expert humain à partir des mêmes productions de PÉPITEST.

♦ **Critère de validation de PÉPIPROFIL**

Pour la validation de PÉPIPROFIL, nous allons chercher à montrer que les profils construits automatiquement par PÉPIPROFIL à partir de la matrice de diagnostic complétée par PÉPIDIAG sont équivalents aux profils construits manuellement à partir de la même matrice de PÉPIDIAG, c'est-à-dire que nous cherchons à montrer l'équivalence de la construction manuelle des profils et de la construction des profils par PÉPIPROFIL.

1.6. BILAN

L'objectif de notre recherche est la conception d'un environnement qui permette l'évaluation des compétences des élèves en algèbre élémentaire. Notre problématique se situe autour de l'intégration d'un EIAO aux pratiques des enseignants. Le travail interdisciplinaire avec des didacticiens et des enseignants, ainsi que la réutilisation d'une expertise didactique et cognitive sont des facteurs importants de cette intégration. C'est pourquoi dans le projet PÉPITE, non seulement nous travaillons avec des utilisateurs, mais nous partons aussi d'un outil de diagnostic papier – crayon issu de la recherche en didactique des mathématiques, outil que nous automatisons. La méthodologie que nous avons adoptée est en conséquence fortement marquée par l'interdisciplinarité, l'évaluation y est également très présente. L'utilisation d'un outil existant nous permet de nous appuyer sur une base cognitive solide et rigoureuse, aussi bien pour la conception de notre système, que pour sa validation. Le fait d'automatiser un outil existant pose cependant un certain nombre de questions que nous allons étudier dans les chapitres suivants.

CHAPITRE 2
~
LE RECUEIL D'OBSERVABLES

PLAN DU CHAPITRE

2.1. INTRODUCTION 57

2.2. PROBLÉMATIQUE 57

2.2.1. LES EIAO D'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EN ALGÈBRE 58
a) Différents types de questions 58
b) L'écriture des expressions algébriques 60

2.2.2. CONCLUSION 61

2.3. DÉMARCHE DE CONCEPTION 62

2.3.1. LES ÉTAPES DE LA CONCEPTION DU LOGICIEL ÉLÈVE 62

2.3.2. DÉTERMINATION DES SPÉCIFICATIONS 64
a) Spécifications du point de vue du client - enseignant 65
b) Spécifications du point de vue de l'utilisateur – élève 65
c) Spécifications du point de vue des conditions d'utilisation 65

2.4. DESCRIPTION DE PÉPITEST 66

2.4.1. LES PREMIERS ÉCRANS 66
a) Écran de présentation du test 66
b) Écran d'identification de l'élève 67

2.4.2. LE LOGICIEL DE TEST 68
a) Les outils proposés 69
b) Les exercices 70

2.4.3. LA STRUCTURATION DE L'ÉCRAN 70

2.4.4. L'ORDRE DES EXERCICES 71

2.4.5. LA NAVIGATION 71
a) Accès indexé 71
b) Accès séquentiel 71

2.5. LE TRANSFERT DU TEST 72

2.5.1. LE TRANSFERT DE L'ENVIRONNEMENT 72

2.5.2. LE TRANSFERT DES TÂCHES 73
a) Un exemple de transfert de tâche 75
b) Transfert de tâches et conception itérative 77
c) Les « règles » appliquées pour le transfert des tâches 77

2.5.3. LA MANIPULATION DES EXPRESSIONS ALGÉBRIQUES 78
a) Écriture linéaire parenthésée 79
b) Écriture sous forme linéaire parenthésée avec affichage sous forme spatiale 80
c) Écriture sous forme spatiale 80
d) Bilan sur la manipulation d'expressions algébriques 85

2.5.4. EFFETS PRODUCTEURS ET RÉDUCTEURS DU TRANSFERT 86
a) La palette de termes 86
b) Le copier - coller 86
c) Les schémas cliquables 87
d) Taille des zones de saisie et écriture des expressions algébriques 88
e) Conclusion : PÉPITEST, microscope cognitif 90

2.6. ÉVALUATION DE PÉPITEST 90
2.6.1. LES CRITÈRES D'ÉVALUATION 91
a) L'équivalence entre les données 91
b) L'équivalence entre les résultats 92
2.6.2. L'ÉVALUATION DE L'INTERFACE 92
a) Particularités de PÉPITEST en tant qu'interface graphique 92
b) Prise en compte des recommandations ergonomiques 94
c) Tests informels 98
2.6.3. LES EXPÉRIMENTATIONS EN CLASSE 99
a) L'expérimentation du 12 octobre 1996 99
b) Les expérimentations de juin 1997 103
c) Les expérimentations de juin 1999 105
2.6.4. RÉSULTATS CONCERNANT PÉPITEST 108
2.7. BILAN 108

2.1. INTRODUCTION

PÉPITEST propose les exercices aux élèves et recueille leurs productions qui seront analysées dans le module de diagnostic, c'est le logiciel élève de PÉPITE.
Ce chapitre aborde avant tout un problème de communication homme – machine. Pour la conception de l'interface élève, nous nous appuyons sur une analyse de tâches dans un environnement non informatisé (analyse donnée par l'analyse didactique) pour informatiser ces tâches. Cette informatisation pose un problème de modification de l'activité et des compétences mises en jeu par les élèves. La difficulté la plus importante est celle posée par la saisie des expressions algébriques. Il s'agit d'une activité centrale en algèbre qui est entièrement modifiée sur ordinateur . Ce problème a été souvent abordé, mais jamais totalement résolu.
Pour les enseignants, qui sont les utilisateurs de l'outil de diagnostic, il est essentiel que l'interface de test permette aux élèves d'exprimer leurs compétences. En particulier, le test doit comporter des questions obligeant les élèves à produire eux-mêmes des expressions algébriques et des justifications, afin qu'ils utilisent leurs propres termes et expressions et non des expressions préformées. Cette exigence des utilisateurs de PÉPITE a donné une importance très grande à la conception et à la réalisation du logiciel élève. De la qualité des observables dépend en effet en grande partie la qualité du diagnostic et des profils construits. Ce rôle fondamental de l'interface nous a amenée à apporter un grand soin à sa conception, en particulier en prenant en compte les recherches en interaction homme - machine et en les adaptant à notre situation.
La conception de l'interface doit satisfaire à trois contraintes : le logiciel doit être simple d'utilisation et ne nécessiter qu'une période de prise en main limitée, il doit permettre l'expression des élèves par des réponses ouvertes et par l'écriture d'expressions algébriques, enfin, l'interface doit, par les observables qu'elle fournit, rendre possible le diagnostic.

Dans ce chapitre, nous présentons le logiciel de test en commençant par la problématique liée à sa conception. Puis nous présentons notre démarche de conception. Nous décrivons ensuite PÉPITEST, le logiciel élève conçu et nous détaillons le transfert du test papier – crayon sur machine. Enfin, nous revenons sur la validation effectuée et les résultats que nous obtenons.

2.2. PROBLÉMATIQUE

Il est maintenant couramment admis que le passage d'un environnement papier – crayon à un environnement informatique provoque des changements à la fois dans les objets d'enseignement et dans le comportement des élèves [ARTIGUE, 1995]. BALACHEFF précise que « l'expression computationnelle des objets d'enseignement pour leur inscription dans un dispositif informatique dédié à l'apprentissage n'est pas le résultat d'un simple processus de traduction d'un système de représentation vers un autre, mais celui d'un véritable processus de modélisation et donc de théorisation des objets d'enseignement et de leurs conditions

d'existence. » [BALACHEFF, 1994a]. Nous avons présenté dans le chapitre 1 les différents travaux, en didactique, en informatique et en EIAO, sur lesquels nous nous appuyons pour caractériser ce que nous appelons le transfert d'un environnement papier – crayon à un environnement informatisé. Nous utilisons ce terme de transfert pour prendre en compte, non seulement la transposition informatique que subissent les concepts avant d'être présentés à l'interface, mais aussi la genèse instrumentale qui s'établit lorsque les élèves s'approprient le nouvel instrument.

Plus précisément, notre questionnement peut s'exprimer en ces termes : peut-on, avec PÉPITEST, recueillir des observables qui permettent de construire un profil ? Dans quelle mesure le changement d'environnement modifie-t-il l'expression de la compétence algébrique des élèves ? En particulier, y a-t-il réduction du spectre des réponses, c'est-à-dire retrouve-t-on tous les types de réponses proposées habituellement par les élèves avec le test papier – crayon, types de réponses répertoriés dans la grille d'analyse ? Quelles sont les différences entre les productions papier - crayon et les productions sur machine ?

Dans la suite de cette section nous présentons, du point de vue de l'interface, des EIAO existants à la fois en algèbre et pour l'évaluation des connaissances, en essayant de voir les problèmes qu'ils soulèvent.

2.2.1. LES EIAO D'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EN ALGÈBRE

Les EIAO consacrés à l'algèbre sont nombreux. Dans cette section nous présentons brièvement certains de ces systèmes en les caractérisant selon des critères discriminants par rapport à nos objectifs dans PÉPITEST : nous commençons par les types de réponses produites par les élèves dans les systèmes qui cherchent à évaluer leurs connaissances, puis nous étudions comment est abordé le problème de l'écriture des expressions algébriques dans les EIAO consacrés à l'algèbre.

a) Différents types de questions

On peut caractériser les EIAO d'évaluation des compétences en algèbre selon le type de questions qu'ils proposent : questions fermées (réponses par vrai / faux, questionnaires à choix multiples), questions semi-ouvertes (réponses ouvertes mais dirigées) ou questions ouvertes. Dans cette section, nous présentons brièvement un exemple de système existant pour chaque type de questions.

- **Questions fermées avec réponses par vrai / faux**

L'Université de Lyon I présente sur son site web un exemple d'évaluation des connaissances en ligne en algèbre. Des questionnaires d'auto - évaluation ont été mis en place pour les étudiants de première année de DEUG scientifiques. Ces évaluations de connaissances, regroupées sous le nom de MÉDIAQUEST, sont conçues par le personnel du centre de ressources NTE (Nouvelles Technologies Éducatives) et des enseignants de l'Université Lyon-1. Elles sont fondées sur des questions fermées pour lesquelles l'élève répond par vrai ou faux (cf. Figure 2-1) et des questionnaires à choix multiples.

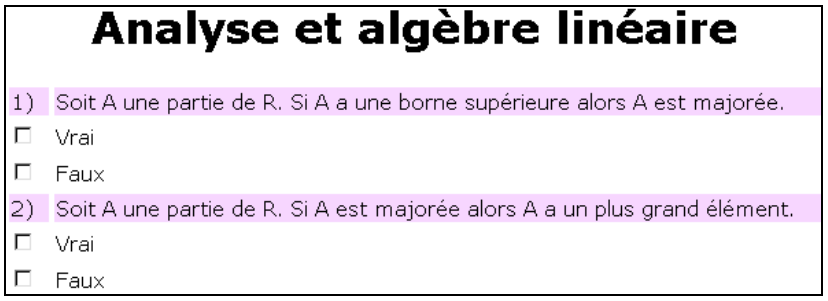


Figure 2-1 : Un exemple d'évaluation des connaissances s'appuyant sur des questions à réponses par vrai / faux.

♦ **Questionnaires à choix multiples**

LILIMATH, développé par des enseignants de l'IUFM de Lille, est un ensemble de logiciels destinés à l'enseignement des mathématiques. Ces logiciels proposent en particulier des exercices notés. La Figure 2-2 donne un exemple d'évaluation des connaissances fondée sur des questionnaires à choix multiples.

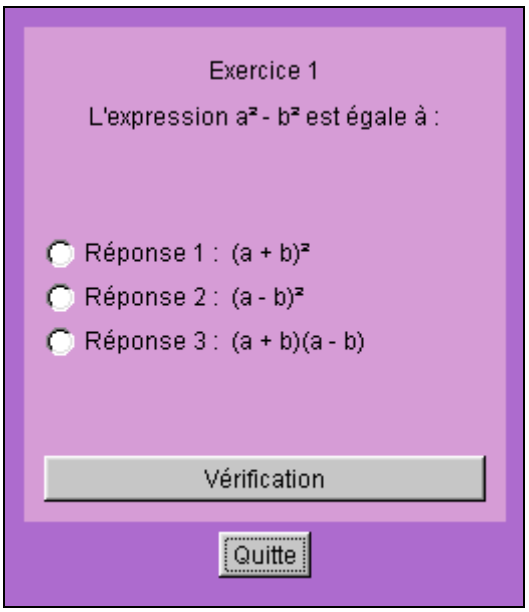


Figure 2-2 : Un exemple de système d'évaluation des connaissances s'appuyant sur des QCM.

♦ **Questions semi-ouvertes**

VEDA est un système de conception et de gestion de tests en ligne et hors ligne utilisé à grande échelle en Inde [ANJANEYULU et al., 1997]. Avec VEDA, l'élève est testé par des QCM, mais aussi par des questions ouvertes pour lesquelles la réponse comporte un ou quelques mots (cf. Figure 2-3). Dans le domaine des mathématiques, les réponses ouvertes peuvent être des valeurs numériques (cf. exemple de droite dans la Figure 2-3).

Complete the following analogy: Satellite : orbit : rocket : _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ Hint : t _ _ _ _ _ _ _ _ _	The area of a pentagonal is 16 square metres. If all its sides are equal in length, how long is a side of the field? _____

Figure 2-3 : Exemples de questions proposant une réponse ouverte dans VEDA.

b) L'écriture des expressions algébriques

Une autre façon de caractériser les EIAO en algèbre, est de voir comment les expressions algébriques y sont traitées : comment elles sont affichées à l'interface, comment l'élève peut les manipuler.

Prenons l'exemple d'APLUSIX : les expressions algébriques y sont affichées de façon compatible avec l'environnement habituel des élèves, le « dessin » des expressions y est le même. Cependant, l'élève ne manipule les expressions qu'indirectement, il ne les écrit pas, il leur fait appliquer des transformations par le système par le biais de fenêtres de dialogue contraintes (cf. Figure 2-4) [NICAUD, 1994].

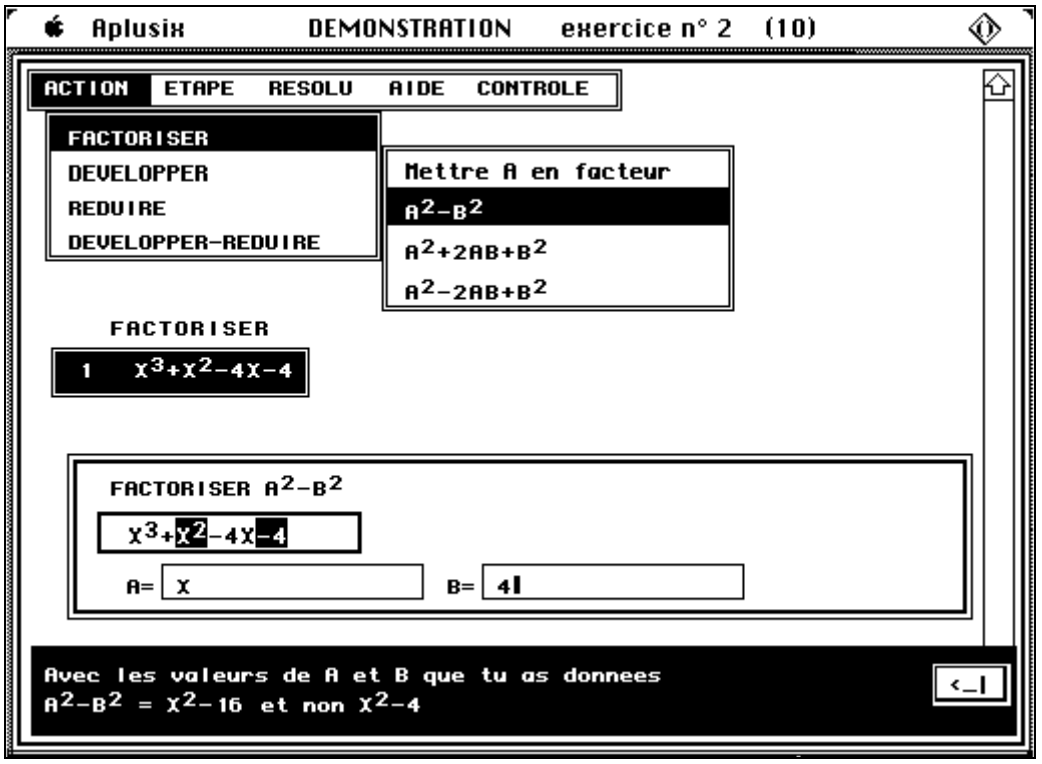


Figure 2-4 : Exemple d'écran de APLUSIX.

Dans GEOPLANW (cf. Figure 2-6), développé par le CREEM – CNAM [HOCQUENGHEM, 1996], comme dans DÉRIVE (cf. Figure 2-5) [ARTIGUE, 1995], l'élève manipule des expressions algébriques même complexes, mais il les écrit linéairement. Il peut, ensuite seulement, afficher l'expression sous forme spatiale dans une autre fenêtre. L'élève ne peut donc pas manipuler directement les expressions sous forme spatiale.

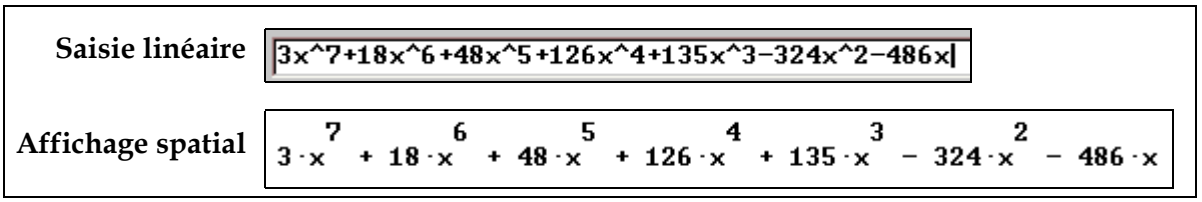


Figure 2-5 : Saisie d'une expression algébrique et affichage avec DÉRIVE.

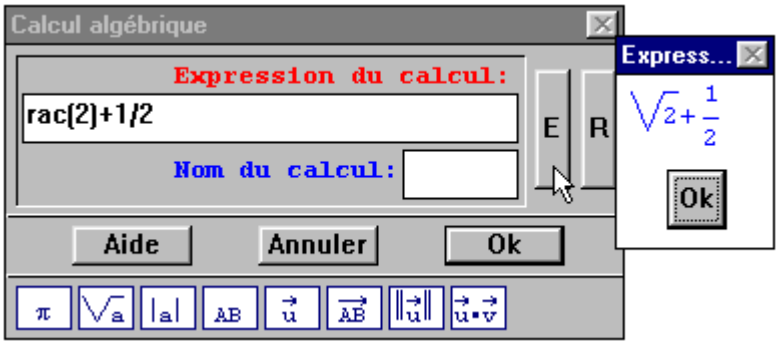


Figure 2-6 : Écriture d'une expression algébrique avec GEOPLANW.

Les systèmes que nous avons présentés permettent la manipulation des expressions algébriques soit de façon indirecte, soit en passant par les expressions linéarisées. Nous n'avons pas trouvé d'EIAO permettant une manipulation directe d'expressions algébriques complexes équivalente au fonctionnement habituel des élèves en environnement papier – crayon.

Certains produits commerciaux permettent pourtant une saisie spatiale des expressions algébriques. Nous prenons ici l'exemple de l'éditeur d'équations proposé avec la suite Office de Microsoft (cf. Figure 2-7).

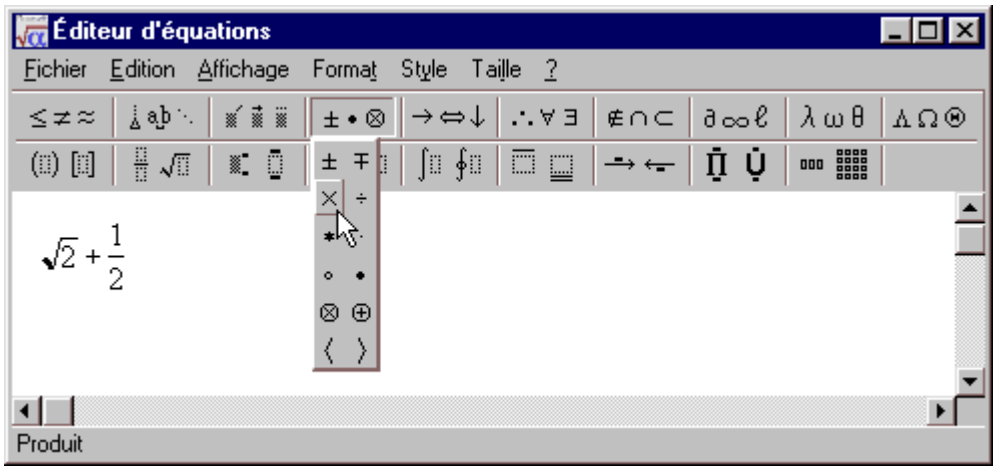


Figure 2-7 : Écriture d'une expression algébrique avec l'éditeur de Microsoft.

Cet éditeur propose une saisie et un affichage des expressions algébriques conformes aux habitudes des élèves. Cependant, la complexité de l'interface et surtout le trop grand nombre de symboles proposés font de cet éditeur un outil mal adapté au public que nous visons. De plus, l'intégration de cet éditeur à un autre logiciel, quoique possible, n'est pas satisfaisante, posant en particulier des problèmes d'affichage. Par ailleurs, la barre d'outil n'est pas simplifiable, rendant son utilisation dans notre contexte.

2.2.2. CONCLUSION

Pour évaluer les élèves dans des conditions proches des conditions habituelles, le logiciel élève de PÉPITE doit permettre à la fois la saisie de réponses ouvertes sans contrainte et la manipulation des expressions algébriques. Concernant le premier point, dans les systèmes d'évaluation des connaissances existants, les questions ne sont jamais, à notre connaissance,

entièrement ouvertes, cela pour des raisons évidentes de facilitation de leur analyse. Concernant le second point, les environnements d'apprentissage ou d'évaluation des connaissances en algèbre ne permettent pas encore actuellement la production d'expressions algébriques par l'élève, de façon simple et équivalente à son environnement habituel.
Pour atteindre nos objectifs concernant le logiciel élève, nous devrons donc concevoir une interface nouvelle du point de vue des deux questions précédentes.

2.3. DÉMARCHE DE CONCEPTION

La démarche que nous avons adoptée pour la conception de PÉPITEST associe conception itérative, conception pluridisciplinaire, conception centrée - utilisateur avec les élèves utilisateurs et conception informative avec des enseignants et des didacticiens des mathématiques prescripteurs. L'évaluation du système a par ailleurs été une préoccupation majeure dès le début et à toutes les étapes du projet : nous avons, d'une part, évalué notre système à toutes les étapes de sa conception et, d'autre part, défini très tôt nos critères de validation. Nous détaillons dans la section 2.6 à la fois les évaluations du système effectuées et les critères de validations définis.
Nous avons présenté les différentes méthodes utilisées pour la conception de PÉPITEST dans le chapitre précédent. Dans cette section, nous présentons uniquement les étapes de la conception du logiciel élève ainsi que les spécifications que nous avons déterminées.

2.3.1. LES ÉTAPES DE LA CONCEPTION DU LOGICIEL ÉLÈVE

Dans PÉPITEST, la conception itérative nous a permis de faire évoluer en parallèle le travail didactique et la construction de maquettes.
La Figure 2-8 reprend le principe du schéma d'élargissement du spectre des utilisateurs, des tests et des validations proposé par BRUILLARD et VIVET [BRUILLARD & VIVET, 1994]. Ce schéma permet de suivre à la fois les évolutions des tests papier – crayon et celles de PÉPITEST, tout en montrant les différentes étapes de l'évaluation de l'outil et l'élargissement du spectre des utilisateurs.

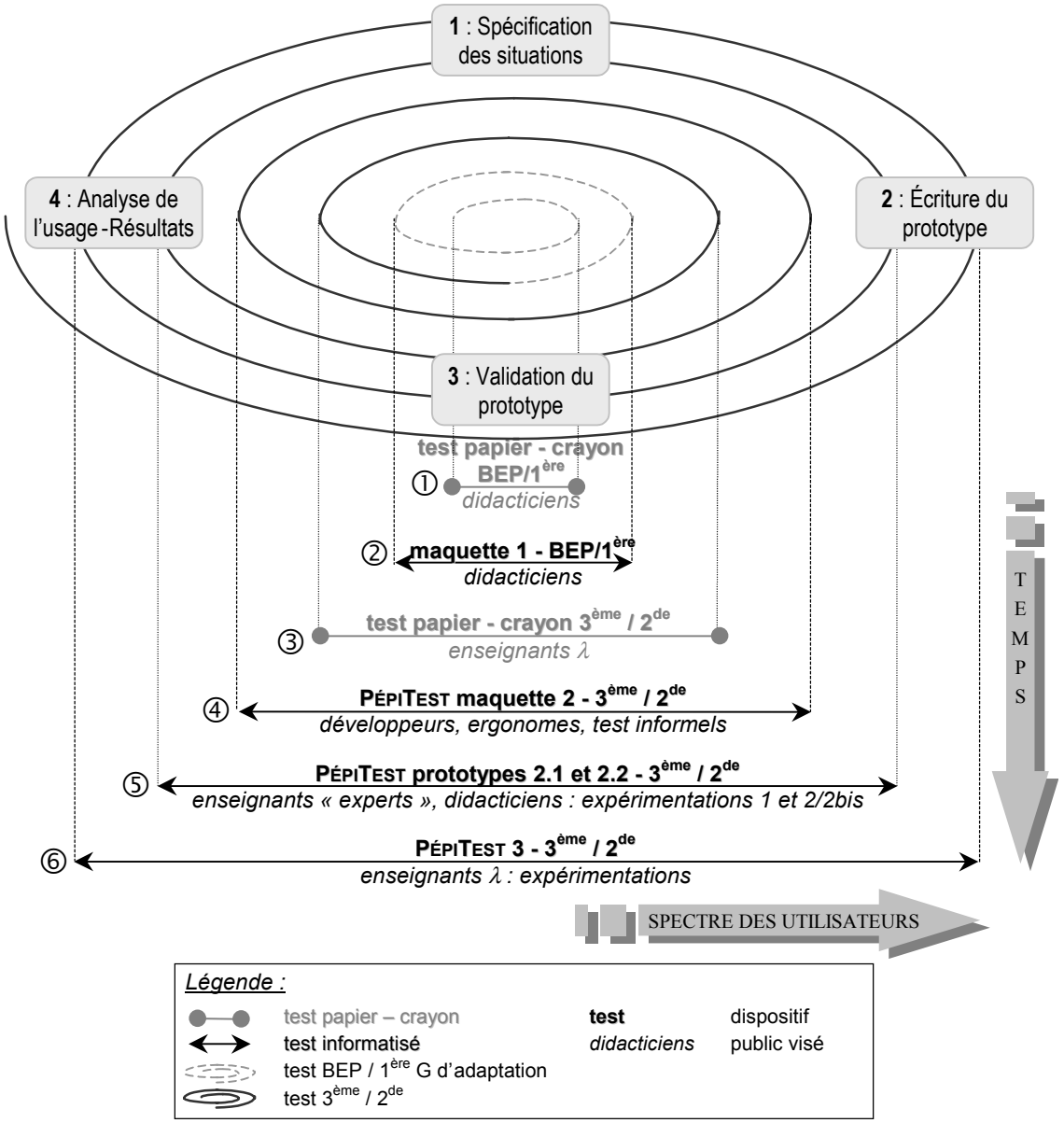


Figure 2-8: Les cycles de la conception du test.

Plusieurs versions de PÉPITE se sont succédées. L'existence de ces différentes versions est liée d'une part à l'évolution de l'outil de diagnostic papier – crayon (cf. § 1.2.5) et d'autre part à la méthode de conception pluridisciplinaire et nécessairement itérative adoptée.

① Le premier test papier – crayon, nous l'avons vu dans le chapitre précédent, correspondait à l'étude de la transition BEP / 1ère G d'adaptation. Il s'agissait d'un outil de recherche utilisé en classe, uniquement par sa conceptrice, Brigitte GRUGEON.

② La première maquette de PÉPITEST correspondait à ce premier test papier - crayon. Nous la nommerons « maquette 1 – BEP / 1ère G ». Cette maquette a eu une durée de vie très courte, elle a été utilisée uniquement au sein de l'équipe pluridisciplinaire pour préciser les tâches des élèves et les outils dont ils devraient disposer.

③ Un nouveau test papier – crayon a en effet été conçu pour étudier la transition 3ème / 2de. Dans la conception de ce nouveau test, Brigitte GRUGEON s'est en partie inspirée de la « maquette 1 – BEP / 1ère G ». Le second test papier – crayon s'est ainsi rapproché de l'interface élève existante en ce qui concerne la présentation. Mais la première maquette de PÉPITEST a également permis une meilleure cohérence entre exercices ainsi qu'une explicitation de certains points qui le nécessitaient. C'est pourquoi, pour certains exercices du nouveau test, le transfert a été facilité (la comparaison du test papier – crayon et des écrans de PÉPITEST ne rend ainsi pas entièrement compte du travail effectué au niveau du transfert). Dans ce cas, la connaissance du nouvel outil a provoqué une modification des pratiques initiales. « L'usage n'est pas neutre pour celui qui le pratique. À l'instar de l'outil qui rend les mains calleuses, il influe sur celui qui s'en sert et crée une empreinte qui modifie progressivement le milieu. » [PERRIAULT, 1989]. POCHON et GROSSEN précisent, au sujet de l'article de Valérie SAINT-DIZIER DE ALMEIDA [SAINT-DIZIER DE ALMEIDA, 1997], qu'un logiciel peut être « le résultat d'une co-construction entre concepteurs et usagers. » [POCHON & GROSSEN, 1997a].
Ce test papier – crayon a été testé à grande échelle sur environ 600 élèves avec des enseignants non impliqués dans la recherche. Les productions d'élèves ainsi obtenues ont constitué le corpus papier - crayon qui a servi à la conception de PÉPITEST.

④ Nous avons ensuite conçu une seconde maquette, « PÉPITEST maquette 2 - 3ème / 2de », correspondant au test étudiant la transition 3ème / 2de. Cette maquette a fait l'objet de tests informels d'utilisabilité et d'évaluations ergonomiques.

⑤ Le prototype conçu ensuite a été testé à plusieurs reprises en classe. Ces expérimentations ont été conduites dans trois classes d'enseignants « experts », c'est-à-dire impliqués dans le projet et connaissant donc l'outil de diagnostic. La première expérimentation a eu lieu en octobre 1996 avec 30 élèves, nous nommerons le prototype correspondant « PÉPITEST 2.1 ». La deuxième expérimentation a eu lieu en juin 1997 avec 43 élèves sur « PÉPITEST 2.2 », un prototype légèrement modifié en fonction des résultats de l'expérimentation précédente et d'évolutions décidées par l'équipe pluridisciplinaire.

⑥ Une version plus aboutie du logiciel de test, « PÉPITEST 3 », a été testée en juin 1999 avec 17 élèves dans une classe dont l'enseignante n'est pas membre du projet.

Le cycle de conception n'est bien sûr pas terminé, l'objectif d'une utilisation de PÉPITEST en classe en dehors de tout dispositif expérimental n'est pas encore atteint.
Notons qu'aucune version de PÉPITEST n'intègre encore d'éditeur d'expressions algébriques.

2.3.2. DÉTERMINATION DES SPÉCIFICATIONS

Dans notre objectif d'intégration du système à l'enseignement, PÉPITEST doit à la fois satisfaire aux exigences des enseignants, être adapté au niveau et aux besoins des élèves, et enfin être utilisable dans les conditions d'utilisation actuellement envisageables dans le système éducatif français.

a) Spécifications du point de vue du client - enseignant

Les spécifications du logiciel élève, du point de vue des enseignants (ou des didacticiens) sont guidées par les besoins du diagnostic : le test informatisé fournit des observables qui permettent le diagnostic et la construction des profils. Il s'agit d'obtenir des observables « équivalents » aux observables papier – crayon, c'est-à-dire de permettre aux élèves d'exprimer leurs compétences en particulier en produisant des expressions algébriques et des justifications non contraintes.

b) Spécifications du point de vue de l'utilisateur – élève

Le public cible du logiciel de test est constitué d'élèves de fin de troisième et de début de seconde de l'enseignement français, élèves qui ont environ 15 ans.
La prise en compte des compétences en informatique de l'utilisateur - élève est nécessaire dans l'interface de test. Les élèves concernés par le test sont supposés être tous familiarisés à l'utilisation d'un ordinateur par le biais de cours de technologie au collège. En particulier, l'utilisation du clavier et de la souris, ainsi que les notions de multi-fenêtrage, de copier - coller et de glisser - lâcher sont supposées connues. Les expérimentations nous ont montré que ces compétences sont en fait très inégalement maîtrisées par les élèves. Ce public est donc très hétérogène du point de vue de la maîtrise de l'utilisation d'un ordinateur.
L'utilisation du système doit être possible pour tous ces élèves, en particulier pour ceux qui n'ont jamais utilisé d'ordinateur. Pour ces raisons, il faut que les interactions des élèves avec PÉPITEST soient très simples (pas d'utilisation du clic droit de la souris par exemple). Elles doivent cependant être compatibles avec les standards des interfaces graphiques afin que les élèves habitués à de telles interfaces retrouvent les fonctionnalités qu'ils utilisent habituellement (copier – coller et glisser – déplacer notamment).
Pour utiliser PÉPITEST, les compétences nécessaires du point de vue de la manipulation de l'interface sont les suivantes : sélectionner une zone avant de taper le texte, cliquer sur un bouton, cliquer sur un onglet pour changer de page dans un classeur à onglets, utiliser un menu déroulant, cocher un bouton radio et une case à cocher, sélectionner un item dans une liste déroulante, utiliser les éléments d'une barre d'outils, glisser – lâcher. Même si le nombre de ces compétences est assez limité, leur inégale maîtrise par le public cible pose problème. Il nous a donc fallu mettre en place pour PÉPITEST un dispositif facilitant l'apprentissage de ces compétences de base. Nous avons d'une part, prévu un début de prise en main à travers les premiers écrans de PÉPITEST, d'autre part, mis en place un guidage visuel, enfin, nous avons travaillé avec attention sur l'ordre des exercices afin de faire apparaître les compétences informatiques progressivement dans le test.

c) Spécifications du point de vue des conditions d'utilisation

La détermination des spécifications du point de vue des conditions d'utilisation est également importante. MAJOR et REICHGELT identifient l'inadaptation des systèmes issus de la recherche au matériel disponible dans l'enseignement comme l'une des raisons de la faible utilisation de ces systèmes [MAJOR & REICHGELT, 1993].

PÉPITEST est un logiciel d'évaluation ponctuelle des connaissances effectuée une seule fois en fin de troisième ou en début de seconde. Chaque élève n'effectue donc le test qu'une seule fois. De plus, il n'est généralement pas possible matériellement d'organiser de séance de prise en main du logiciel. La prise en main de PÉPITEST doit donc pouvoir se faire au fil des exercices. L'enseignant peut également présenter le logiciel aux élèves en classe avant le test, sur papier ou sur transparents. Nous avons envisagé de diminuer le temps d'apprentissage par un module de présentation comportant quelques écrans montrant les manipulations de base nécessaires à l'utilisation de PÉPITEST. Les résultats que nous avons obtenus montrent l'inutilité de ce dispositif (cf. § 2.6.3.c). Nous avons donc placé tous nos efforts dans le guidage mis en place, dans la progressivité de l'appel aux compétences informatique, ainsi que dans la prise en main lors des écrans de présentation.
Il est également important de prendre en compte l'environnement matériel dans lequel sera utilisé le logiciel, c'est-à-dire les ordinateurs disponibles dans les lycées et collèges français. La configuration disponible doit permettre une utilisation confortable (ou tout du moins acceptable) du logiciel. C'est pourquoi PÉPITEST est prévu pour fonctionner sur des PC, même anciens (processeurs de type 80386), disposant de configurations peu puissantes (il nécessite tout de même un minimum de 4 Mo de mémoire vive et l'utilisation d'un écran couleur est préférable). Il fonctionne avec le système d'exploitation Windows, pour toutes les versions testées (Windows 3.1x, 95, 98 et NT).

2.4. DESCRIPTION DE PÉPITEST

Dans cette section, nous présentons brièvement le logiciel de test que nous avons réalisé. Ce logiciel tient compte à la fois des contraintes liées au diagnostic, des contraintes ergonomiques et didactiques. Nous détaillerons la prise en compte de ces contraintes dans la section suivante (cf. § 2.5).

2.4.1. LES PREMIERS ÉCRANS

PÉPITEST commence par un écran de présentation et un écran d'identification de l'élève. De tels écrans peuvent paraître anodins, ils ont cependant un rôle important dans le test.

a) Écran de présentation du test

La façon dont le test est perçu par l'élève influe en effet beaucoup sur son comportement. De plus, cette situation inhabituelle pour l'élève qu'est une évaluation des connaissances sur ordinateur modifie le contrat didactique, passé implicitement entre l'élève et l'enseignant [ARSAC, 1989], [CHEVALLARD, 1985] (cf. chapitre 1 § 1.4.1.b)). La façon dont le test est présenté aux élèves, que ce soit par l'enseignant ou par le logiciel lui-même, a des conséquences sur la validité des profils obtenus. C'est pourquoi PÉPITEST commence par un écran de présentation dont le but est de dédramatiser le test en expliquant à l'élève le but du test : évaluer ses connaissances en algèbre et non le sanctionner par une note (cf. Figure 2-9).

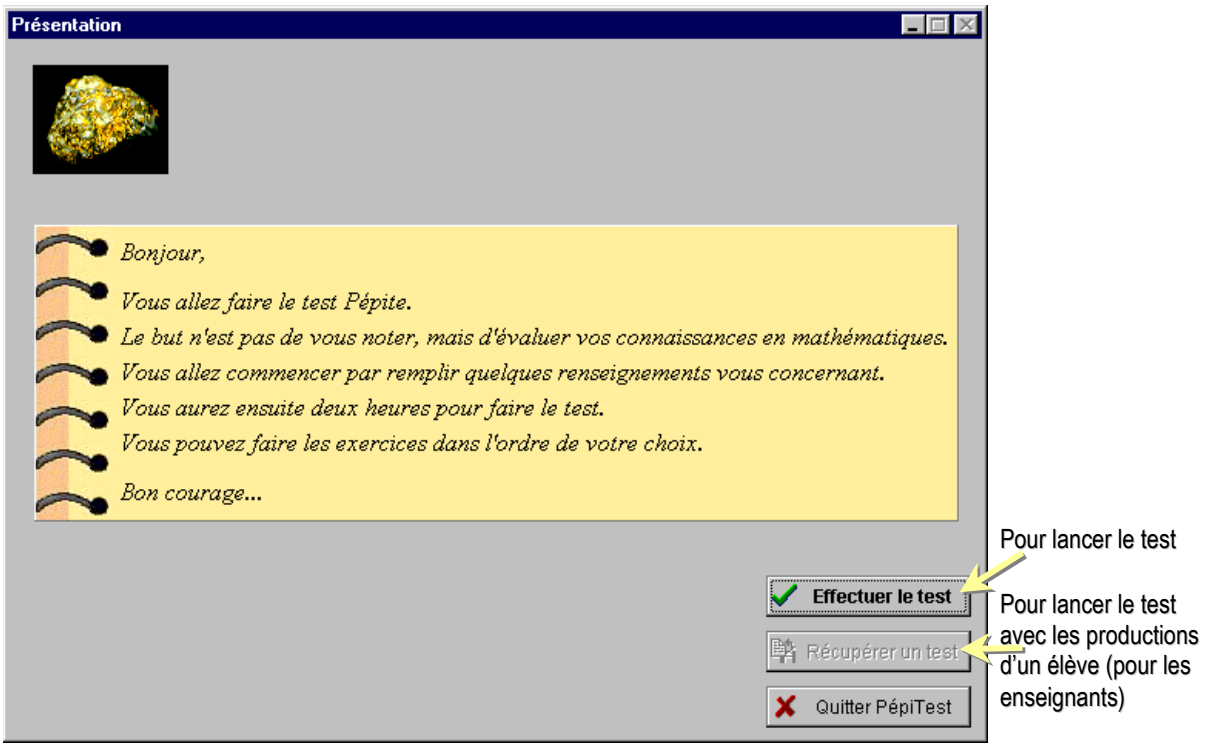


Figure 2-9 : L'écran de présentation de PÉPITEST.

b) Écran d'identification de l'élève

Le deuxième écran (cf. Figure 2-10) a pour but d'acquérir des informations concernant l'élève, mais c'est aussi l'occasion pour l'élève de commencer à prendre en main le logiciel.

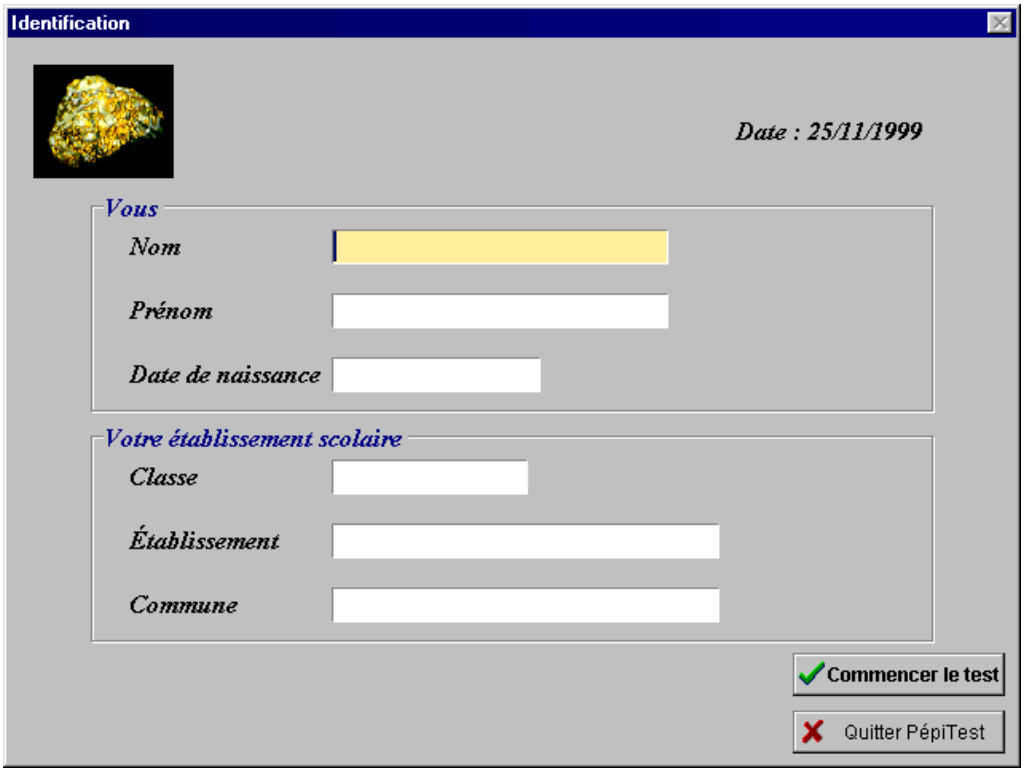


Figure 2-10 : L'écran d'identification de l'élève dans PÉPITEST.

L'élève peut en effet grâce à cet écran, se familiariser avec le fonctionnement de PÉPITEST : sélectionner une zone avant de taper du texte (la zone sélectionnée apparaît en jaune, c'est le cas de la zone prévue pour la saisie du nom sur la Figure 2-10), passer d'une zone à l'autre, cliquer sur un bouton.

2.4.2. LE LOGICIEL DE TEST

PÉPITEST comprend 22 exercices qui, en tenant compte des exercices comportant plusieurs parties, correspondent à 36 écrans (la Figure 2-11 montre un exemple d'écran, l'ensemble des écrans est disponible à l'annexe 2). Chacun de ces écrans est composé d'un classeur à onglets qui contient les exercices (un exercice par onglet), d'un menu proposant en particulier les différents outils proposés à l'élève et d'une palette permettant d'écrire des expressions algébriques et d'annoter des figures. Un système de repérage visuel permet par ailleurs à l'utilisateur de distinguer l'exercice courant, les exercices consultés, les exercices non encore consultés et les exercices marqués par l'élève comme étant terminés (cf. Figure 2-11).

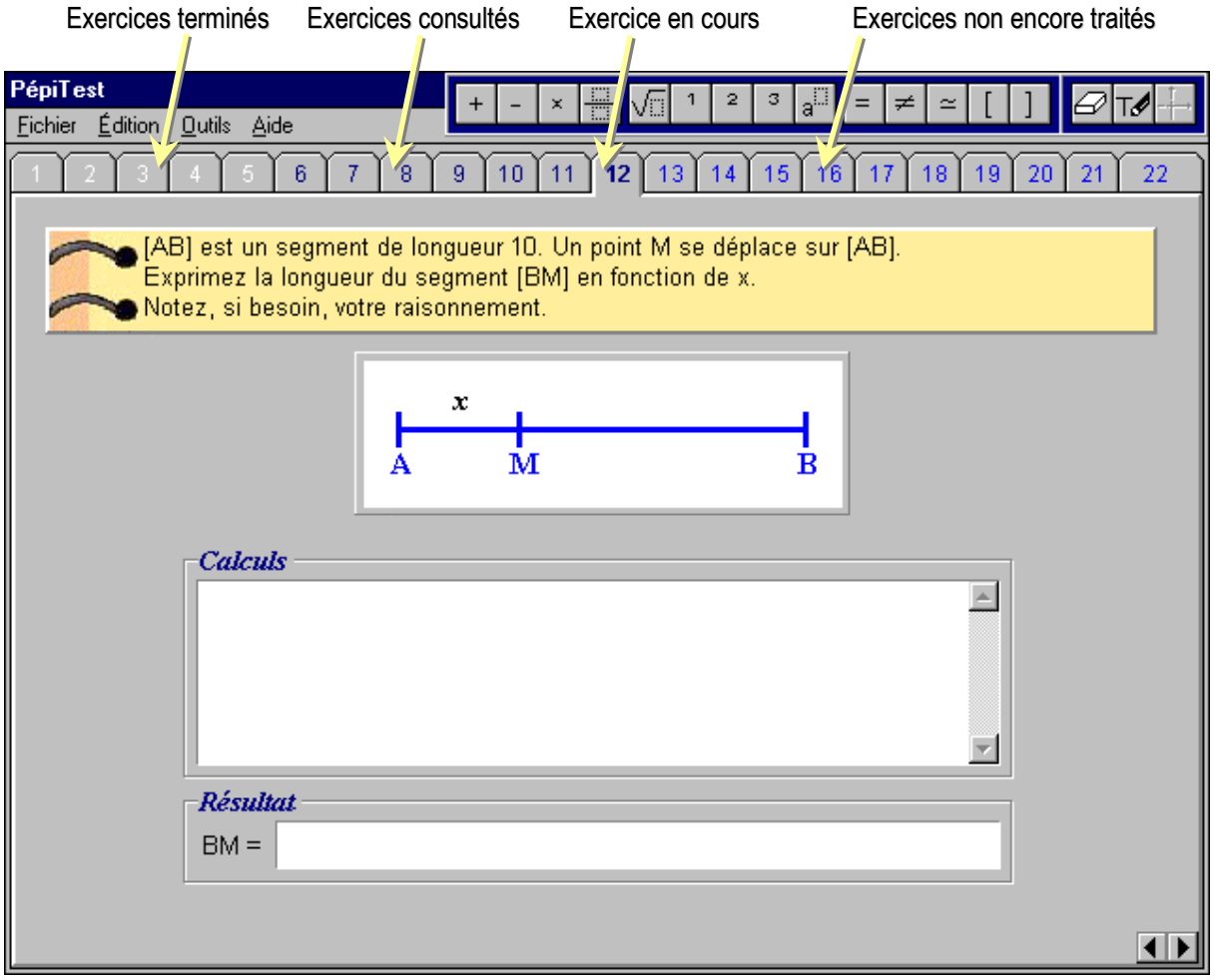


Figure 2-11 : Un exemple d'exercice de PÉPITEST.

Au cours de la session, certaines actions de l'élève (utilisation des outils par exemple) sont enregistrées dans un fichier trace, qui n'est actuellement pas utilisé pour l'analyse des réponses. À la fin de la session, les réponses sont enregistrées dans un fichier texte, c'est ce fichier qui est utilisé pour le diagnostic. Ce fichier permet également de charger

ultérieurement les réponses de l'élève dans PÉPITEST, ce qui permet aux enseignants de consulter la « copie de l'élève ». L'annexe 7 présente un exemple de productions d'élève, l'annexe 8, un exemple de trace.

a) Les outils proposés

Dans PÉPITEST, l'élève dispose d'un certain nombre d'outils remplaçant les outils habituellement utilisés dans son environnement papier – crayon : un cahier de brouillon, un outil de représentation graphique, un système d'annotation de schémas, une gomme, une calculatrice, ainsi que le copier – coller. Des écrans présentant ces outils sont présentés dans l'annexe 3.

- **Le cahier de brouillon**

Le cahier de brouillon permet à l'élève de faire des calculs pour les exercices où aucun espace n'a été prévu à cet effet (l'élève a également la possibilité d'utiliser un brouillon papier). Le texte tapé n'est actuellement pas pris en compte dans l'analyse (comme avec un brouillon papier) par le module de diagnostic. Le contenu du cahier de brouillon est cependant enregistré dans un fichier trace, afin d'évaluer l'utilisation que les élèves font de cet outil.
L'utilisation de cet outil est inégale selon les expérimentations que nous avons conduites, globalement, le taux d'utilisation est de 22%.

- **Les représentations graphiques**

Dans l'un des exercices, une solution graphique est envisageable. Afin de ne pas empêcher les élèves de proposer une telle solution, un outil de représentation graphique a été intégré à PÉPITEST. Il permet, outre le tracé libre et l'ajout de texte, le tracé de droites désignées par deux points.
Cet outil a été activé (ce qui ne signifie pas qu'il a été effectivement utilisé) par seulement 5% des élèves sur l'ensemble des expérimentations que nous avons menées.

- **Les annotations de schémas**

Dans un test papier – crayon, les élèves ont tendance à annoter les représentations graphiques proposées dans l'énoncé. Ces annotations leur permettent de s'approprier la figure pour mieux comprendre l'énoncé, de faire des conjectures… Cette possibilité doit, pour ces raisons, figurer dans l'environnement informatisé.
Cette possibilité utilisée par la plupart des élèves. Toutefois, l'étude actuelle des traces ne nous permet pas de savoir si l'utilisation de cet outil correspond à de réelles annotations ou à des essais de tracés. Mais les observations effectuées semblent indiquer que les premières utilisations correspondent à des essais et qu'après un certain temps, les utilisations correspondent à des activités de réelles annotations.

- **La gomme**

Lors d'une évaluation des connaissances dans un environnement papier - crayon, les élèves utilisent abondamment la gomme ou l'effaceur. Ces outils, outre leur rôle évident d'effacement, ont un rôle indirect très important : ils rassurent l'élève en rendant toutes ses

réponses réversibles. Pour ces deux rôles, un tel outil est très important dans PÉPITEST. Toutes les réponses proposées par l'élève sont donc effaçables dans le logiciel élève.

b) Les exercices

Comme le nécessite le diagnostic, le logiciel de test de PÉPITE permet aux élèves de taper leurs réponses « librement », c'est-à-dire qu'il n'y a aucun contrôle du système sur ce qui est tapé. On peut caractériser les exercices selon le type de réponses possibles d'une part et selon le type d'interaction d'autre part.

♦ **Les types de questions**

PÉPITEST comporte deux types de questions :
– des questions ouvertes (en particulier pour les exercices de mathématisation, les calculs intermédiaires et les justifications) qui portent sur :
  - des calculs,
  - des justifications en langage naturel et / ou mathématique,

– des questions fermées à réponses préformées que l'ont peut détailler ainsi :
  - des réponses binaires (par vrai / faux ou oui / non),
  - des questionnaires à réponses multiples (avec une ou plusieurs réponses correctes),
  - des réponses préformées à ordonner.

♦ **Les modes d'interaction**

Selon le type de questions, les modes d'interaction sont différents. Reprenons la classification précédente :
– Pour les questions ouvertes, qu'elles concernent les calculs intermédiaires ou les justifications, l'élève saisit les calculs ou justifications dans une première zone, puis le résultat dans la zone résultat.
– Pour les questions fermées à réponses binaires (par vrai / faux ou oui / non), l'élève clique sur la réponse correcte.
– Pour les questionnaires à réponses multiples, l'élève clique sur la ou les proposition(s) correcte(s).
– Pour les réponses préformées à ordonner, l'élève déplace à la souris les éléments de l'énoncé vers les zones réservées à la réponse.

2.4.3. LA STRUCTURATION DE L'ÉCRAN

La structuration de l'écran permet de donner une cohérence à l'ensemble du test, bien que les exercices soient souvent différents les uns des autres.
Chaque exercice (cf. Figure 2-11 pour un exemple d'exercice et annexe 2 pour l'ensemble des copies d'écran) comporte un énoncé sur fond de cahier jaune, et parfois une représentation graphique.

2.4.4. L'ORDRE DES EXERCICES

L'ordre des exercices a été soigneusement discuté pour satisfaire à la fois à des exigences informatiques et à des exigences didactiques.
D'un point de vue didactique, il s'agit d'équilibrer le test en alternant les types d'exercices (exercices techniques, exercices de reconnaissance et exercices de mathématisation) afin que les productions donnent des informations sur les trois types d'exercices même si l'élève n'a fait le test que partiellement.
D'un point de vue ergonomique, il s'agit d'alterner exercices proposant des manipulations simples et / ou demandant des réponses brèves et exercices proposant des manipulations plus complexes et / ou demandant des réponses plus longues (notamment les exercices demandant des justifications et pouvant inclure des expressions algébriques). Nous avons également mis en place une progression dans les difficultés de manipulation. De plus, les exercices présentant des représentations graphiques sont espacés régulièrement afin de créer une rupture visuelle permettant de ne pas laisser la monotonie s'installer. L'ensemble de ces dispositions permet de rendre le test moins dense et plus « digeste » pour les élèves, en évitant en particulier de rassembler les tâches fastidieuses, demandant de nombreuses manipulations du clavier et de la souris (comme la saisie d'expressions algébriques).
Ce choix de l'ordre des exercices a d'autant plus d'importance que les élèves font, pour une grande majorité d'entre eux, les exercices dans l'ordre où ils sont proposés.

2.4.5. LA NAVIGATION

Pour naviguer entre les exercices, PÉPITEST propose deux méthodes : un accès indexé sur le numéro des exercices et un accès séquentiel.

a) Accès indexé

Le classeur à onglets permet d'avoir une vue d'ensemble sur les exercices. Pour atteindre un exercice, l'élève clique sur l'onglet correspondant au numéro de l'exercice. Une bulle d'aide affiche une expression qui caractérise l'exercice (par exemple « déplacement du point M » ou « prestidigitateur »).
Ce procédé correspond à la méthode d'un élève qui étale ses feuilles sur la table et prend l'une d'elles pour travailler. L'information disponible sur l'exercice (son titre, cette vue d'ensemble ne permettant pas de voir l'énoncé de l'exercice) est cependant insuffisante pour permettre à l'élève de choisir un exercice, elle n'est pertinente que pour retrouver un exercice déjà consulté.

b) Accès séquentiel

La deuxième méthode permettant d'accéder à un exercice s'appuie sur la métaphore du tourne-page. Les boutons  en bas à droite de l'écran permettent d'accéder à l'exercice suivant (respectivement précédent) ou, si l'exercice en cours comporte plusieurs parties, à la partie suivante (respectivement précédente) de cet exercice.

Ce procédé correspond à la méthode employée par les élèves qui font les exercices dans l'ordre, sans regarder les exercices qui suivent.
L'étude des traces indique que cette dernière méthode est plébiscitée par les élèves.

2.5. LE TRANSFERT DU TEST

La problématique de cette partie de notre travail de recherche concerne le transfert des tâches papier - crayon en tâches informatisées. Transformer un exercice papier – crayon en exercice sur ordinateur ne procède pas de la traduction. Il ne s'agit pas d'un simple changement de support (la médiatisation de tâches papier – crayon), mais, nous l'avons dit, d'un phénomène à l'intersection de l'EIAO, de la didactique et de l'IHM, faisant intervenir la transposition informatique et la genèse instrumentale par laquelle l'élève s'approprie les instruments proposés dans le test.
Dans cette section, nous présentons le transfert de l'environnement papier – crayon (représentations graphiques, annotations de schémas, gomme, cahier de brouillon, etc.), ainsi que le transfert des exercices. Nous traitons ensuite de façon plus précise le cas de la représentation des expressions algébriques et nous terminons par une identification des effets producteurs et réducteurs du transfert sur les productions des élèves.

2.5.1. LE TRANSFERT DE L'ENVIRONNEMENT

Afin de faciliter la tâche de l'élève, nous proposons des outils informatisés qui tendent à remplacer les outils « physiques » disponibles dans l'environnement papier - crayon. L'indispensable mise en place de ces outils est l'occasion de transferts. En automatisant le test papier - crayon, nous ne transférons pas seulement un ensemble d'exercices, mais également les différents outils familiers [MACKAY, 1996] utilisés pendant le test : feuilles, crayons, gomme, ainsi que calculatrice et cahier de brouillon. Ceci est d'autant plus important que dans le domaine sur lequel porte le test, les mathématiques, ces outils ont un rôle majeur.
Tout d'abord, la mise à disposition des outils (dans la palette ou les menus) peut influer sur le comportement de l'élève (certains élèves peuvent se dire : « puisqu'un tel outil existe, c'est qu'il doit servir quelque part »). Mais surtout, l'ensemble des outils virtuels proposant dans PÉPITEST de remplacer les outils familiers sont différents de ceux utilisés habituellement par les élèves.

La Figure 2-12 présente pour chaque outil de l'environnement papier – crayon la solution adoptée pour le transférer dans PÉPITEST ainsi que les différences entre les deux types d'outils. Ces points sont détaillés dans l'annexe 3.

L'ÉLÉMENT TRANSFÉRÉ	CE QUE LA VERSION INFORMATISÉE FAIT INTERVENIR	LES DIFFÉRENCES PAPIER – CRAYON / PÉPITEST
Représentations graphiques	Un outil de représentation graphique composé d'une grille vierge. Cet outil permet, outre le tracé libre et l'ajout de texte, le tracé de droites désignées par deux points.	– La mise à disposition de l'outil peut intervenir sur le choix de résolution de l'élève. – La méthode de tracé et l'échelle proposées limitent la liberté de choix de l'élève.
Annotations de schémas	L'annotation de schémas peut se faire de deux façons : par un tracé libre ou par ajout de texte. En maintenant le curseur de la souris enfoncé sur un schéma, le curseur change et les déplacements de la souris laissent un tracé. L'ajout de texte se fait en deux étapes : l'élève saisit le texte puis désigne l'emplacement où le texte doit être placé sur le schéma.	– La démarche d'ajout de texte (taper le texte avant de désigner l'endroit où il doit être affiché) n'est pas forcément naturelle pour les élèves (cf. annexe 6 pour plus de détails sur le choix de cette procédure).
Gomme	Une gomme, utilisable aussi bien sur du texte pour effacer tout le texte de la zone, que sur les schémas pour en effacer les annotations, ainsi que sur toute zone contenant un élément de réponse (boutons radio, etc.).	– La flexibilité de la gomme électronique est moins grande que celle de la gomme « physique » : le texte ou les annotations sont entièrement effacés.
Recopie	Le copier - coller	– C'est une possibilité nouvelle qui n'existe pas dans un environnement papier – crayon. Les comportements identifiés sont présentés plus loin (cf. § 2.5.4.b)).
Cahier de brouillon	Une fenêtre fournissant une zone de saisie libre, non prise en compte pour le diagnostic.	– Les différences sont liées à la difficulté de taper du texte et des expressions algébriques (Cf. § 2.5.3).

Figure 2-12 : Le transfert de l'environnement.

2.5.2. LE TRANSFERT DES TÂCHES

Le transfert des tâches est un travail particulièrement délicat, il a donné lieu à de nombreuses discussions au sein de l'équipe pluridisciplinaire, et à plusieurs tests du logiciel. Une présentation détaillée serait fastidieuse, nous proposons donc ici un résumé de la caractérisation que nous avons établie du transfert de tâches. Une version détaillée de cette présentation est proposée en annexe 6.

Le test comportant des exercices très différents les uns des autres, nous résumons tout d'abord dans la Figure 2-13 le transfert des tâches selon les types de réponses que nous avons définis précédemment. Puis, dans la Figure 2-14, nous présentons brièvement quelques exemples de transferts particuliers. Nous ne détaillons ici ensuite que l'exemple du transfert d'un exercice particulier.

L'ÉLÉMENT TRANSFÉRÉ	CE QUE LA VERSION INFORMATISÉE FAIT INTERVENIR	LES DIFFÉRENCES PAPIER – CRAYON / PÉPITEST
Questions à réponses binaires	Des boutons radio.	Aucune différence n'a été identifiée.
Questions proposant plusieurs réponses	Des boutons radio lorsqu'une seule réponse doit être donnée. Des cases à cocher lorsque plusieurs propositions sont correctes.	– Le choix cases à cocher / boutons radio n'est pas anodin : les boutons radio ne permettent pas de choisir plusieurs réponses alors que dans le test papier - crayon, c'est toujours possible. Il y a donc ici limitation de la liberté de choix de l'élève, cette limitation correspond cependant à l'énoncé. – L'élève ne peut pas proposer une solution non prévue, alors que pour un test papier - crayon, il arrive qu'un élève ajoute une case pour indiquer sa solution.
Questions avec réponses préformées à ordonner	Des déplacements d'objets à l'écran utilisant la souris (glisser - lâcher).	– La manipulation nécessite la maîtrise du glisser - lâcher. – L'élève ne peut pas insérer directement un élément entre deux éléments.
Calculs intermédiaires et justifications	Des zones de texte permettant l'écriture de texte et d'expressions algébriques, sans aucun contrôle sur le texte entré. Les symboles absents du clavier (fraction, etc.) sont accessibles à partir de la barre d'outils en utilisant la souris.	– Les différences sont liées à la difficulté de taper du texte et des expressions algébriques (Cf. § 2.5.3).

Figure 2-13 : Le transfert des tâches.

L'ÉLÉMENT PARTICULIER	CE QUE LA VERSION INFORMATISÉE FAIT INTERVENIR	LES DIFFÉRENCES PAPIER – CRAYON / PÉPITEST
Reports de solutions	Une zone de rappel des résultats précédents nécessaires à la résolution dans les exercices comportant plusieurs parties.	– Ces rappels évitent à l'élève de passer d'une page à l'autre et évitent les erreurs de recopie. – La mise à disposition de ces valeurs est une indication donnée à l'élève, mais est jugée acceptable par les didacticiens.
Zones à hachurer	Des zones cliquables qui se comportent comme des cases à cocher.	– L'élève ne peut sélectionner que les zones prévues, ce qui empêche la proposition de solutions atypiques (2.5.4.c).
Palette de termes	Une palette de termes permettant de construire les phrases (cf. Figure 2-17). L'ensemble de ces termes est suffisant à la construction des phrases correctes et incorrectes.	– C'est une aide fournie aux élèves. Elle peut permettre de débloquer certains élèves sans pour autant les empêcher de donner des réponses erronées.

Modifications de schémas	Des schémas cliquables (cliquer sur l'intersection de droites provoque l'affichage d'un quadrillage mettant en évidence les coordonnées du point).	– En incitant l'élève à faire l'expérience (par le changement de curseur et une bulle d'aide), PÉPITEST peut lui permettre de mieux comprendre l'énoncé et éventuellement de donner une réponse différente.

Figure 2-14 : Quelques transferts particuliers.

a) Un exemple de transfert de tâche

L'exercice dont l'énoncé est donné dans la Figure 2-15 et la Figure 2-16, fait partie des exercices de reconnaissance et cherche à identifier chez l'élève les règles de conversion utilisées pour passer du registre algébrique au registre du langage naturel.

Traduis à l'aide d'expressions algébriques les différentes étapes de ce programme de calcul :

Etape 1	*Soit un nombre de départ désigné par x*	*x*
Etape 2	*Prendre le carré du double de ce nombre*	
Etape 3	*Retrancher 3 au résultat*	
Etape 4	*Ajouter à l'inverse du résultat obtenu le nombre de départ*	

Figure 2-15 : L'exercice sur les programmes de calcul : énoncé de la première partie.

Inversement, complète le tableau en écrivant une phrase traduisant chaque étape du programme de calcul en face de l'expression algébrique correspondante.

Etape 1	*Soit un nombre de départ désigné par x*	*x*
Etape 2	Prendre l'opposé de ce nombre et ajouter 3	$-x+3$
Etape 3	Prendre le carré de ce nombre	$(-x+3)^2$
Etape 4	Ajouter 4 au Résultat et prendre l'inverse	$\frac{1}{(-x+3)^2+4}$

Figure 2-16 : L'exercice sur les programmes de calcul : énoncé de la seconde partie et réponse d'élève.

En étudiant le corpus papier – crayon issu de l'expérimentation sur 600 élèves, nous avons relevé seulement deux cas : soit les élèves n'ont pas traité la question, soit ils ont utilisé un nombre très limité de termes, inspirés de la première partie de l'exercice et de l'exemple. Nous avons établi la liste exhaustive des termes employés. La Figure 2-16 donne un exemple

de réponse d'élève utilisant la formulation de la première partie de l'exercice).

♦ **Version informatisée**

Pour la version informatisée, nous avons eu l'idée de proposer une palette de terme permettant de construire les phrases (Cf. Figure 2-17). L'ensemble de ces termes est suffisant à la construction des phrases correctes, mais permet également un certain nombre d'erreurs attendues ou non. L'existence de cette palette met les termes à utiliser à la disposition de l'élève. Elle permet également, d'une part, de limiter le temps de saisie et la lassitude qu'il peut entraîner, et d'autre part, de limiter les fautes d'orthographe et de saisie.

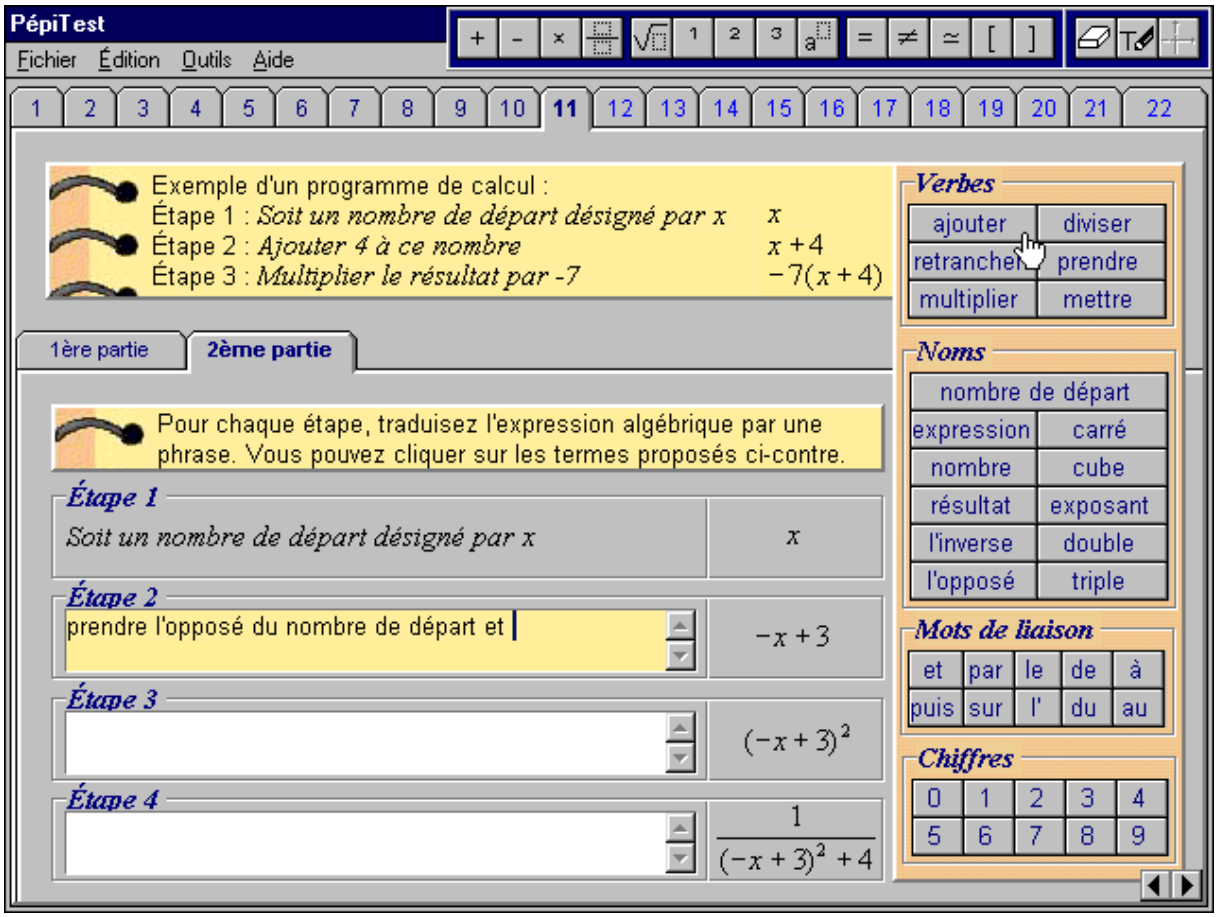


Figure 2-17 : L'exercice utilisant la palette de termes.

♦ **Différences a priori entre version papier - crayon et PÉPITEST**

Cette palette de termes est incontestablement une aide fournie aux élèves. C'est une aide à l'expression, mais elle ne donne pas d'indication sur la réponse. La solution mise en place peut permettre de *débloquer* certains élèves sans pour autant les empêcher de donner des réponses erronées.

♦ **Ce qui a été observé**

– Le taux de réponse pour cette question était très en dessous de 50 % pour le test papier – crayon. Avec PÉPITEST, le taux de réponse est de 70 % pour cette question pour l'ensemble des expérimentations, atteignant même 95 % pour la dernière expérimentation, conduite en juin 1999.

– Le dispositif mis en œuvre ne gêne pas les élèves, il leur permet au contraire de produire leur réponse plus rapidement. Toutes les réponses peuvent être exprimées : soit en utilisant les termes proposés, soit en tapant le texte librement, sans utiliser les termes disponibles. Mais presque tous les élèves utilisent la palette de termes.
– Nous avons conçu un programme permettant d'établir la liste des termes utilisés par les élèves mais non disponibles dans la palette de termes. Ces termes nouveaux (parmi lesquels élever, dénominateur, signe, obtenu) pourront être intégrés à la palette de termes, après discussion au sein de l'équipe pluridisciplinaire.

b) Transfert de tâches et conception itérative

Il faut noter que la méthode de conception itérative adoptée pour PÉPITE a conduit à des modifications de PÉPITEST liées à la conception de PÉPIDIAG. En effet, certaines difficultés rencontrées dans le module d'analyse ont pu être contournées en modifiant l'interface de PÉPITEST.
Dans l'exemple ci-dessous, la réponse peut être exprimée de différentes manières : l'élève peut inscrire l'expression algébrique directement dans la zone de résultat ou, comme dans l'exemple donné dans la première partie de la Figure 2-18, rappeler d'abord l'élément sur lequel porte le résultat. L'existence de différentes façons de répondre complique l'analyse des réponses : dans le premier cas en effet, il suffit d'analyser l'expression, dans le second, il faut identifier l'expression dans la réponse de l'élève, avant de pouvoir analyser l'expression. Afin de simplifier l'analyse, il est possible de modifier l'interface en indiquant explicitement le type de résultat attendu (comme dans la seconde partie de la Figure 2-18), les réponses sont alors exprimées de façon unique.

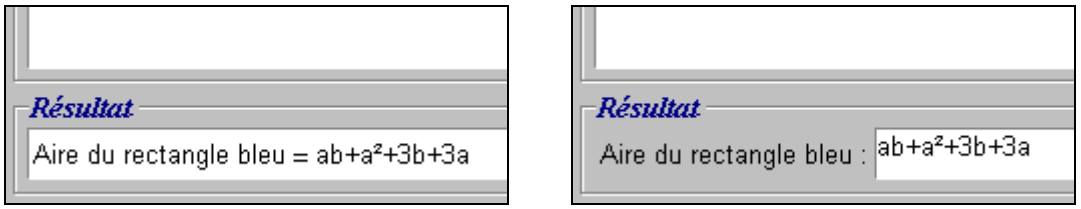


Figure 2-18 : Modification de l'interface simplifiant l'analyse des réponses.

c) Les « règles » appliquées pour le transfert des tâches

Lors du transfert de l'environnement et des tâches papier – crayon, nous avons appliqué un certain nombre de règles que nous présentons ici.

① S'approcher au mieux des tâches papier - crayon en tenant compte de l'analyse didactique afin d'extraire de la session les mêmes informations que celles obtenues avec le test papier – crayon.

② Éviter les manipulations de pages en proposant toutes les informations nécessaires sur un même écran.

③ Décomposer les exercices en questions indépendantes lorsque cela est possible afin que les exercices ne soient pas trop longs et qu'ils puissent être présentés sur un écran unique.

④ Décomposer les questions lorsqu'elles demandent à l'élève de faire plusieurs tâches en même temps.

⑤ Modifier la tâche quand l'informatique peut apporter un *plus* ou proposer une autre façon de présenter les choses, sans appauvrir le diagnostic (par exemple en proposant les schémas que l'élève peut manipuler).

⑥ Rendre les écrans plus attrayants que les exercices papier – crayon, en particulier en utilisant la couleur et des schémas.

⑦ Éviter au maximum la saisie de texte et d'expressions algébriques par l'élève pour limiter la perte de temps, le découragement de l'élève et les risques d'erreurs de saisie.

⑧ Favoriser l'utilisation du copier - coller et du glisser - déplacer quand c'est possible.

⑨ Ne pas proposer de zones de saisie de grande taille alors que l'on attend une réponse brève (certains élèves peuvent avoir tendance à « remplir » la zone de saisie).

⑩ Ne pas proposer de zone de saisie lorsque la réponse ne sera pas analysée.

2.5.3. LA MANIPULATION DES EXPRESSIONS ALGÉBRIQUES

La manipulation des expressions algébriques est un point particulièrement important dans l'interface élève. Dans cette section nous montrons plus spécifiquement les problèmes liés à l'écriture des expressions algébriques dans PÉPITEST. Nous distinguons trois types d'écritures pour les expressions algébriques : l'écriture linéaire parenthésée, l'écriture sous forme linéaire parenthésée donnant lieu à un affichage sous forme spatiale et l'écriture directement sous forme spatiale. La première méthode est la plus facile à mettre en œuvre techniquement et la dernière est plus proche du fonctionnement habituel des élèves, mais elle est plus délicate à mettre en œuvre. Nous présentons ici successivement ces trois méthodes, en précisant les conséquences qu'elles ont sur le travail de l'élève.

Dans les méthodes citées, l'écriture d'expressions algébriques demande une adaptation de l'élève au support. Cette genèse instrumentale [RABARDEL, 1995], incontournable dans le cas de l'utilisation d'un nouveau médium, est restreinte dans le cas d'un système à utilisation unique. La perte des gestes familiers de tracé modifie le travail de l'élève, en ajoutant à la tâche mathématique, une tâche de transposition. Dans le cas de l'écriture linéaire, l'élève doit, en plus de sa tâche mathématique, effectuer une linéarisation et un parenthésage des expressions qu'il doit écrire. Dans certains cas, cette nécessaire transformation des expressions peut même être un obstacle au diagnostic : la capacité à utiliser les parenthèses étant une des compétences à diagnostiquer.

Dans cette section, nous étudions plus particulièrement l'équivalence entre l'écriture d'expressions algébriques dans un environnement papier – crayon et la production de telles expressions avec PÉPITEST. Pour cela, nous nous référons à la distinction entre *valence sémiotique* et *valence instrumentale* introduite par CHEVALLARD concernant les *instruments sémiotiques* [CHEVALLARD, 1996].

Nous avons présenté ces notions dans le chapitre 1. Rappelons cependant brièvement que le terme d'instruments sémiotiques désigne les objets manipulés en mathématiques. La valence

instrumentale d'un instrument sémiotique est *ce qui permet de faire*, sa valence sémiotique est *ce qui permet de voir ce qui a été fait*.

a) Écriture linéaire parenthésée

Pour l'écriture des expressions algébriques, la version actuelle de PÉPITEST utilise une écriture linéaire parenthésée. Les différents symboles non présents sur le clavier sont représentés sur les boutons d'une barre d'outils (cf. Figure 2-19). À chaque bouton est associé le code spécifique (par exemple Rac[ ] pour racine carrée), qui est affiché dans la zone de texte si le bouton est activé. Ces codes ont été choisis au sein de l'équipe pluridisciplinaire pour correspondre aux usages dans l'enseignement. Les élèves ont en effet l'habitude d'utiliser des écritures linéaires parenthésées pour les expressions algébriques dans la manipulation des calculatrices scientifiques.



Figure 2-19 : La palette de PÉPITEST permettant l'écriture d'expressions algébriques.

La Figure 2-20 donne pour chaque symbole, la correspondance entre l'écriture habituelle en environnement papier – crayon et l'écriture linéaire parenthésée dans PÉPITEST ainsi que les boutons correspondants sur la barre d'outils.

	Écriture usuelle dans l'environnement papier - crayon	**Bouton de la barre d'outils de PÉPITEST**	**Écriture linéaire parenthésée affichée par PÉPITEST**
FRACTION	$\frac{1}{2}$		[1]/[2]
RACINE CARRÉE	$\sqrt{2}$		Rac[2]
EXPOSANT	x^2		x^[2]
DIFFÉRENT	$\neq$		<>[2]
ENVIRON	$\simeq$		~
ACCOLADE	$\begin{cases}1\\2\end{cases}$		{ → impossible

Figure 2-20 : Correspondance entre les symboles et leur représentation dans PÉPITEST.

Notons que c'est cette écriture linéaire parenthésée qui est utilisée dans les versions de PÉPITEST expérimentées.

[2] Le symbole ≠ est disponible dans certaines polices de caractères, mais pas dans les polices *normales* utilisées à l'interface de PÉPITEST. L'affichage de ces caractères nécessiterait l'emploi de plusieurs polices de caractères dans une même zone de texte, ce qui est impossible avec l'environnement de développement que nous avons utilisé.

♦ **Valence sémiotique**

Pour la représentation linéaire parenthésée, la valence sémiotique n'est pas équivalente à celle des représentations sémiotiques utilisées habituellement par les élèves. Cette différence est perceptible en comparant les colonnes « écriture usuelle » et « écriture linéaire parenthésée » de la Figure 2-20. Prenons simplement l'exemple de la racine carrée : Rac[2] n'est visuellement pas équivalent à $\sqrt{2}$.

♦ **Valence instrumentale**

La valence instrumentale de l'écriture linéaire parenthésée n'est pas conforme à la valence instrumentale de l'environnement familier. En effet, cliquer sur un bouton , puis taper sur les touches d'un clavier et manipuler une souris n'est pas équivalent à l'action de tracer une racine carrée, il y a modification profonde du geste. CHEVALLARD souligne l'importance du geste en mathématiques : « les discours que l'on prononce, les signes que l'on écrit et les gestes que l'on fait sont aussi des outils de travail » [CHEVALLARD, 1991].

b) Écriture sous forme linéaire parenthésée avec affichage sous forme spatiale

En ce qui concerne les expressions mathématiques, différents auteurs dont [ARTIGUE, 1995] ont déjà relevé que le passage, par exemple pour les fractions ou les racines carrées, d'une écriture spatiale (l'écriture papier – crayon que nous avons qualifiée d'écriture usuelle) à une écriture linéaire, perturbe les élèves. Pour limiter cette perturbation, certains concepteurs proposent une visualisation spatiale de l'écriture produite linéairement par l'élève. C'est le cas de DÉRIVE et de GEOPLANW, présentés au début de ce chapitre (cf. Figure 2-5 et Figure 2-6 dans la section 2.2.1.b)). L'écriture de l'expression doit cependant se faire linéairement, la deuxième représentation sert en fait de vérification.

♦ **Valence sémiotique**

Dans ce dispositif, l'élève dispose de deux représentations dont l'une de valence sémiotique équivalente à celle de l'environnement habituel. Le problème de la valence sémiotique n'est donc que partiellement résolu.
Notons toutefois que la conversion que doit faire l'élève pour passer d'une écriture spatiale à une écriture linéaire peut être, d'après les auteurs, source d'apprentissage dans ces logiciels [ARTIGUE, 1995] [HOCQUENGHEM, 1996].

♦ **Valence instrumentale**

Dans ce cas, la valence instrumentale reste entièrement différente de la valence instrumentale de l'environnement papier – crayon.

c) Écriture sous forme spatiale

Demander aux élèves de produire les expressions algébriques sous forme linéaire parenthésée pose problème du point de vue de nos objectifs de diagnostic et d'équivalence entre les observables papier – crayon et les observables recueillis par PÉPITEST. En effet, une évaluation des compétences en algèbre, pour être significative, doit permettre une manipulation d'expressions algébriques compatible avec la manipulation faite dans

l'environnement papier - crayon. Le dispositif décrit dans le paragraphe 2.5.3.a) a été mis en place pour permettre d'expérimenter rapidement PÉPITEST sans attendre qu'un éditeur spécifique soit réalisé. Parallèlement, nous avons choisi de développer un éditeur d'expressions algébriques spécifique, permettant la saisie de telles expressions, directement de façon spatiale, souhaitant ainsi éviter à l'élève le travail de linéarisation.

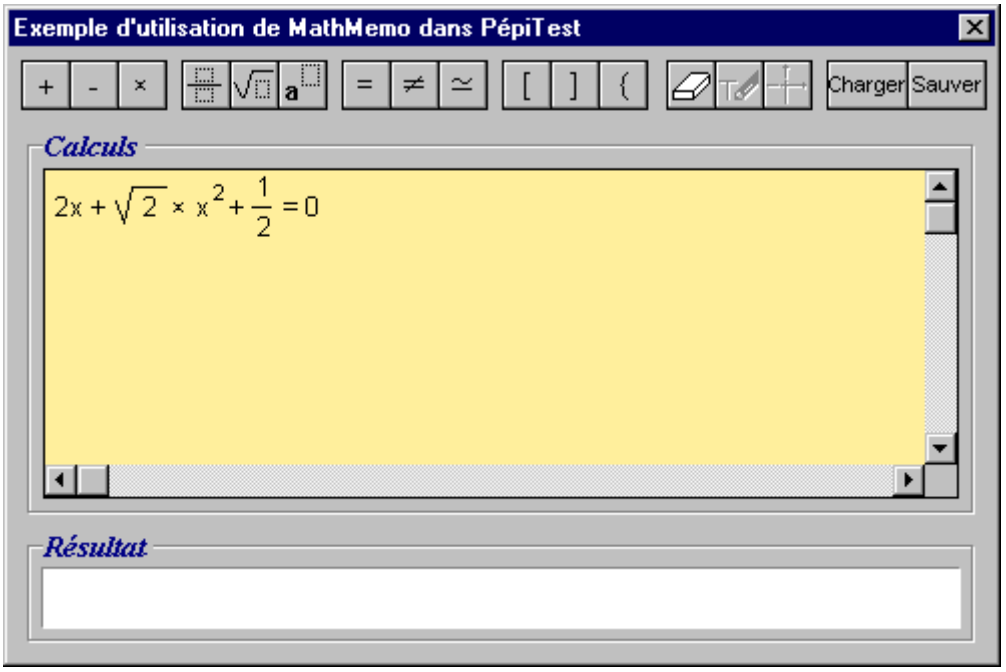


Figure 2-21 : L'éditeur d'expressions algébriques de PÉPITEST.

L'éditeur spécifique actuellement en cours de développement par des étudiants (cf. Figure 2-21), permet une représentation et une manipulation des expressions algébriques plus conforme aux habitudes des élèves.

	Écriture usuelle	Bouton de la barre d'outils	Écriture avec l'éditeur spécifique	Représentation interne
FRACTION	$\frac{1}{2}$		$\frac{1}{2}$	#/[1|2]
RACINE CARRÉE	$\sqrt{2}$		$\sqrt{2}$	#R[2]
EXPOSANT	x^2		x^2	x#^[2]
DIFFÉRENT	$\neq$		$\neq$	¤
ENVIRON	$\simeq$		$\simeq$	~
ACCOLADE	$\begin{cases}1\\2\end{cases}$		$\begin{cases}1\\2\end{cases}$	#{C[1|2]

Figure 2-22 : Correspondance entre les symboles et leur représentation dans l'éditeur spécifique.

La Figure 2-22 indique pour chaque symbole, la correspondance entre l'écriture habituelle en environnement papier – crayon et l'écriture proposée par l'éditeur d'expressions algébriques de PÉPITEST. Cette figure met également ces éléments en relation avec les boutons correspondants de la barre d'outils et la représentation interne des différents symboles représentés.

- **La valence sémiotique**

En utilisant dans PÉPITEST un éditeur d'expressions algébriques proposant dès la phase d'écriture une représentation des expressions conforme aux représentations utilisées habituellement par les élèves, nous nous attachons à ce que la valence sémiotique de la représentation « virtuelle » soit équivalente à la valence sémiotique de la représentation papier - crayon. En reprenant l'exemple de la racine carrée, nous pouvons voir que la représentation proposée par l'éditeur, $\sqrt{2}$ est équivalente à la représentation habituelle en environnement papier – crayon $\sqrt{2}$. Cette équivalence, valable pour tous les symboles mathématiques concernés par PÉPITEST, peut être constatée en comparant les colonnes « écriture usuelle » et « écriture avec l'éditeur spécifique » de la Figure 2-22.

- **La valence instrumentale**

Pour des valences instrumentales équivalentes

Pour que la valence instrumentale de l'écriture des expressions algébriques avec PÉPITEST soit équivalente à celle de l'environnement familier des élèves, il faudrait proposer une nouvelle forme de manipulation des objets mathématiques avec une instrumentation autre que celle, classique, passant par l'utilisation du clavier et de la souris. Les dispositifs de réalité augmentée qui permettent de conserver en partie l'environnement familier [MACKAY, 1996], peuvent être une alternative à ces problèmes. Cependant, la lourdeur des dispositifs à mettre en œuvre laisse à penser qu'une utilisation en classe n'est à l'heure actuelle pas envisageable. L'utilisation de tablettes graphiques pourrait toutefois être envisagée, mais les recherches en reconnaissance de forme peinent justement sur la reconnaissance des expressions algébriques, en particulier en ce qui concerne la représentation spatiale [FAURE, 1996]. Il est en effet difficile, pour les systèmes existants, d'identifier par exemple si 22 signifie 22 ou 2^2. De plus, les produits actuels nécessitent généralement une période d'apprentissage du fonctionnement du système de la part de l'utilisateur, voire d'un apprentissage des spécificités de l'utilisateur de la part de la machine, ce qui est impossible dans le cadre d'une évaluation ponctuelle des connaissances comme c'est le cas pour PÉPITEST.

Pour des valences instrumentales compatibles

L'équivalence des valences instrumentales étant selon nous actuellement irréalisable, nous nous sommes attachés à ce que la valence instrumentale de l'éditeur spécifique de PÉPITEST soit au moins cohérente avec la valence instrumentale des représentations sémiotiques habituelles, c'est-à-dire que la manière d'écrire une expression avec PÉPITEST « ressemble » par ses différentes étapes, à la manière d'écrire une expression dans un environnement papier – crayon. Les schémas ci-dessous (Figure 2-23 à Figure 2-27) représentent les

différentes étapes de l'écriture d'une racine carrée et d'une fraction dans un environnement papier - crayon puis avec PÉPITEST.

Le cas de la racine carrée

Nous présentons ici les étapes de la formation d'une racine carrée dans un environnement papier – crayon puis avec l'éditeur spécifique de PÉPITEST.

- *Écrire une racine carrée dans un environnement papier – crayon*

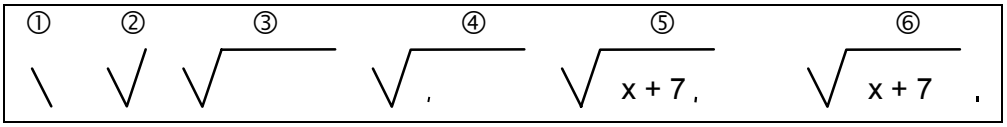


Figure 2-23 : Étapes de la formation d'une racine carrée en environnement papier - crayon.

Pour écrire une racine carrée dans un environnement papier – crayon (cf. Figure 2-23), le scripteur commence par dessiner le radical (①②③) en donnant à la barre horizontale la longueur supposée du radicande (ce qui demande une estimation préalable de cette longueur). Une fois ce dessin terminé, le scripteur pose son crayon à gauche sous la barre horizontale du radical (④) puis commence à écrire le radicande (⑤). Lorsque celui-ci est terminé, le scripteur lève son crayon puis le repose en bas à droite de la fin de la barre horizontale du radical (⑥), s'il souhaite compléter l'expression.

- *Produire une racine carrée avec l'éditeur spécifique de PÉPITEST*

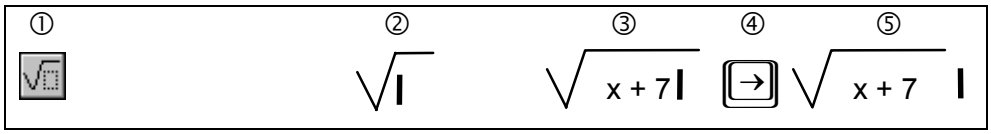


Figure 2-24 : Étapes de la formation d'une racine carrée avec l'éditeur spécifique de PÉPITEST.

Pour produire une racine carrée avec l'éditeur spécifique de PÉPITEST (cf. Figure 2-24), l'utilisateur, après avoir sélectionné d'un clic l'endroit où il souhaite insérer la racine carrée, clique sur le bouton « racine carrée » (①), ce qui a pour conséquence de tracer le radical à l'endroit indiqué et de positionner le curseur à gauche sous la barre horizontale (②). L'utilisateur tape ensuite l'expression (③) (la longueur de la barre du radical s'adapte automatiquement à la longueur du radicande, l'utilisateur n'a donc plus besoin d'évaluer préalablement cette longueur). Lorsque le radicande est terminé, l'utilisateur appuie sur la touche « flèche vers la droite » (④), ce qui positionne le curseur en bas à droite de la fin de la barre horizontale du radical (⑤).

- *Compatibilité*

La mise en relation de ces deux façons de produire une racine carrée permet de mettre en évidence les points suivants :

– Avec l'éditeur spécifique de PÉPITEST, l'utilisateur ne trace plus le radical. Ce tracé est remplacé par un clic sur un bouton, il y a donc perte totale du geste.

– Avec l'éditeur spécifique, l'utilisateur n'a plus non plus besoin d'estimer la longueur de la barre supérieure du radical. Il y a donc là aussi perte d'un geste spécifique.

– Les étapes de la construction de la racine carrée sont cependant respectées. En particulier, le levé de crayon permettant de sortir du radicande a un équivalent virtuel : l'appui sur la touche « flèche vers la droite ».
Pour la racine carrée, nous pouvons dire que, même si le geste est remplacé par l'utilisation du clavier et de la souris avec l'éditeur spécifique de PÉPITEST, les étapes de construction étant respectées, la valence instrumentale de l'éditeur spécifique de PÉPITEST est cohérente et donc compatible avec la valence instrumentale de l'environnement papier – crayon.

Le cas de la fraction

Nous présentons ici les étapes de la formation d'une fraction dans un environnement papier – crayon puis avec l'éditeur spécifique de PÉPITEST.

- *Écrire une fraction dans un environnement papier – crayon*

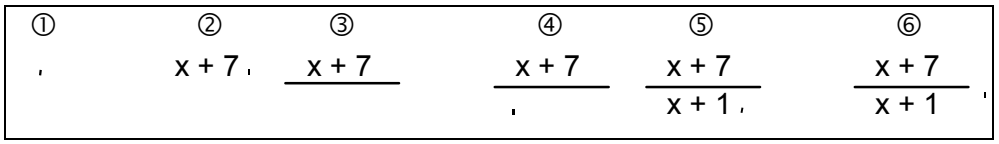


Figure 2-25 : Étapes de la formation d'une fraction en environnement papier - crayon (méthode 1).

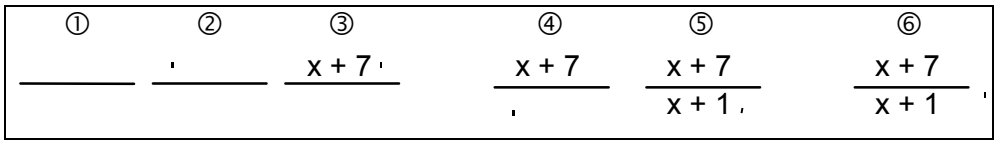


Figure 2-26 : Étapes de la formation d'une fraction en environnement papier - crayon (méthode 2)

Pour écrire une fraction dans un environnement papier – crayon, deux méthodes sont utilisées. La première (cf. Figure 2-25) consiste à commencer par écrire le numérateur (①②), à tracer la barre de fraction (③), à déplacer le crayon, (④) puis à écrire le dénominateur (⑤). Le scripteur lève ensuite son crayon pour le reposer à droite de la fin de la barre de fraction (⑥). La deuxième méthode (cf. Figure 2-26) consiste à commencer par le tracé de la barre de fraction (①) (il faut alors, comme pour la racine carrée, évaluer la longueur de la barre en tenant compte de celle du numérateur et de celle du dénominateur). Le scripteur déplace ensuite son crayon au-dessus de la barre de fraction (②), écrit le numérateur (③), déplace son crayon au-dessous de la barre de fraction (④), écrit le dénominateur (⑤) et lève enfin son crayon pour le reposer à droite de la fin de la barre de fraction (⑥). C'est cette dernière méthode qui est préconisée dans l'enseignement français.

- *Produire une fraction avec l'éditeur spécifique de PÉPITEST*

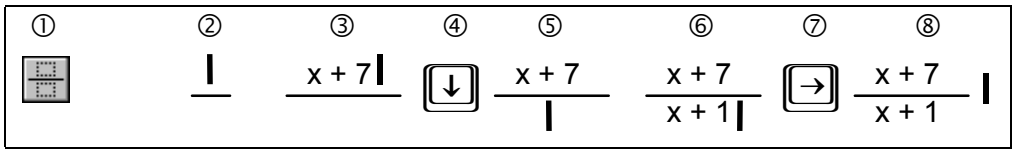


Figure 2-27 : Étapes de la formation d'une fraction avec l'éditeur spécifique de PÉPITEST.

Pour produire une fraction avec l'éditeur spécifique de PÉPITEST (cf. Figure 2-27), l'utilisateur, après avoir sélectionné d'un clic l'endroit où il souhaite insérer la fraction,

clique sur le bouton « fraction » (①), ce qui a pour conséquence de tracer la barre de fraction à l'endroit indiqué et de positionner le curseur à gauche au-dessus de la barre de fraction (②). L'utilisateur tape ensuite le numérateur (③) (la longueur de la barre de fraction s'adapte automatiquement à la longueur du numérateur, l'utilisateur n'a donc plus besoin d'évaluer préalablement cette longueur). L'utilisateur appuie ensuite sur la touche « flèche vers le bas » (④), ce qui positionne le curseur à gauche au-dessous de la barre de fraction (⑤). L'utilisateur tape le dénominateur (⑥) (la longueur de la barre de fraction s'adapte éventuellement à la longueur du dénominateur si celui-ci est plus long que le numérateur). L'utilisateur appuie enfin sur la touche « flèche vers la droite » (⑦), ce qui positionne le curseur à droite de la fin de la barre de fraction (⑧).

‣ *Compatibilité*

Pour concevoir l'éditeur spécifique de PÉPITEST, nous nous sommes appuyés sur la méthode préconisée dans l'enseignement français (tracé de la barre de fraction, puis écriture du numérateur et du dénominateur). C'est donc sur cette méthode que nous fondons notre comparaison entre la valence instrumentale de l'environnement papier – crayon et celle de l'éditeur de PÉPITEST. La mise en relation de ces deux façons de produire une fraction permet de mettre en évidence les points suivants :

– Le tracé de la barre de fraction disparaît avec l'éditeur spécifique de PÉPITEST. Il est remplacé par un clic sur un bouton, il donc perte totale du geste.

– L'estimation de la longueur de cette barre de fraction disparaît également. Il y a donc là aussi perte d'un geste spécifique.

– Les étapes de la construction de la fraction sont cependant respectées. En particulier, le levé de crayon permettant de passer du numérateur au dénominateur, puis de sortir de la fraction ont des équivalents virtuels : l'appui sur les touches respectivement « flèche vers le bas » et « flèche vers la droite ».

Pour la manipulation de fractions, même si le geste est remplacé par l'utilisation de la souris et du clavier avec l'éditeur spécifique de PÉPITEST, les étapes de construction étant respectées, la valence instrumentale de l'éditeur spécifique de PÉPITEST est cohérente et donc compatible avec la valence instrumentale de l'environnement papier – crayon.

d) Bilan sur la manipulation d'expressions algébriques

PÉPITEST doit permettre une manipulation d'expressions algébriques la plus proche possible de la manipulation faite dans un environnement papier – crayon. Toutefois il est à l'heure actuelle difficile d'envisager une manipulation totalement équivalente. Il n'est pas non plus envisageable de limiter la manipulation des expressions algébriques à celle d'expressions linéarisées, comme c'est le cas dans la version actuelle de PÉPITEST. Les expérimentations ont montré qu'une telle représentation perturbe les élèves, même si elle ne les empêche pas de produire des expressions. Pour ces raisons, nous avons décidé d'intégrer à PÉPITEST un éditeur d'expressions algébriques spécifique permettant, non pas une manipulation des expressions totalement équivalente à celle que les élèves font dans un environnement papier – crayon, mais compatible avec cette manipulation.

L'étude de concepts empruntés à différents domaines de recherche : correspondance sémantique directe, transposition informatique, pseudo-transparence, double référence, représentations sémiotique, instruments sémiotiques et genèse instrumentale (concepts définis dans le chapitre 1, cf. § 1.4.1), et leur mise en relation, nous ont permis de spécifier un éditeur d'expressions algébriques adapté à PÉPITEST, mais utilisable dans tout logiciel nécessitant la manipulation de ces expressions. Un tel éditeur doit d'une part, proposer une valence sémiotique totalement équivalente à la valence sémiotique de l'environnement habituel, et, d'autre part, proposer une valence instrumentale compatible avec la valence instrumentale de l'environnement habituel, à défaut d'en être équivalente. Cette compatibilité peut être assurée en respectant, dans le logiciel, les étapes de la formation des expressions dans l'environnement habituel. Ceci peut être résumé en trois règles :

① Le dessin de l'expression à l'écran doit être équivalent au dessin de l'expression dans l'environnement habituel.

② Le tracé de l'expression doit si possible se faire de la même manière avec le logiciel et dans l'environnement habituel.

③ Si la règle 2 ne peut pas être respectée, le tracé de l'expression avec le logiciel doit suivre les mêmes étapes que la formation de l'expression dans l'environnement habituel.

2.5.4. EFFETS PRODUCTEURS ET RÉDUCTEURS DU TRANSFERT

Le transfert du test papier – crayon a eu des conséquences sur les productions des élèves. Dans cette section, nous présentons des exemples d'effets réducteurs et d'effets producteurs du point de vue des observables.

a) La palette de termes

Dans l'exercice sur les programmes de calcul présenté en détail dans la section 2.5.2.a) (cf. Figure 2-17), la présence de la palette proposant des termes a des effets producteurs sur les réponses des élèves : les élèves répondent plus facilement à cet exercice dans sa version PÉPITEST que dans sa version papier – crayon, sans pour autant que cela ait une influence sur la correction des réponses. PÉPITEST permet, dans ce cas, d'obtenir plus d'informations sur le comportement des élèves.

b) Le copier - coller

Le copier – coller est une possibilité nouvelle pour les élèves, elle facilite la recopie manuelle qui peut être faite dans un environnement papier – crayon.
Bien que peu utilisée (par moins de 10% des élèves), la possibilité de recopier du texte sans effort modifie le comportement de certains élèves.
– Les élèves peuvent par exemple recopier la dernière ligne de calcul dans la zone de résultat en utilisant le copier – coller, ce qui, d'une part, gagne du temps et d'autre part évite les erreurs de recopie.

– Certains élèves utilisent également cette possibilité pour proposer une même justification à deux questions différentes.
– Enfin, et c'est le cas le plus intéressant du point de vue du transfert, certains élèves utilisent le copier - coller pour recopier des expressions afin de travailler par équivalence, alors qu'à la main ou sans le copier - coller, ils n'auraient pas pris la peine ou le temps de recopier les expressions. Ce phénomène, mis en évidence grâce aux expérimentations, mérite d'être étudié de façon plus approfondie. Prenons des exemples issus du corpus d'observables de PÉPITEST. La Figure 2-28 présente deux cas de manipulation d'une expression par équivalences. Dans le premier cas, l'élève ne recopie pas l'expression, l'enseignant ne peut pas être certain que cet élève travaille par équivalences. Dans le second cas, l'élève indique par le signe //, qu'il travaille par équivalences, mais qu'il ne prend pas le temps de recopier l'expression de départ.

$(-2x+6)(-2x+2) = 2x^2-4x-12x+12$ $= 2x^2-16x+12$	$(-2x+6)(-2x+2) = 2x^2-4x-12x+12$ // $= 2x^2-16x+12$

Figure 2-28 : Deux exemples de manipulation d'une expression.

$(-2x+6)(-2x+2) = 2x^2-4x-12x+12$
$(-2x+6)(-2x+2) = 2x^2-16x+12$

Figure 2-29 : Un exemple d'utilisation du copier - coller.

Dans l'exemple donné par la Figure 2-29, l'élève travaille par équivalences en recopiant l'expression.
Le diagnostic peut ainsi être modifié pour un même élève en passant du test papier - crayon au test informatisé. Dans PÉPITEST, l'élève met en œuvre une connaissance (travailler sur les expressions algébriques par équivalences) qui, bien que présente, ne serait pas mise en œuvre dans le test papier - crayon. Le diagnostic est donc, pour ce point, plus proche de la réalité avec un test fait avec PÉPITEST, qu'avec un test papier - crayon. PÉPITEST peut ainsi servir ici de révélateur des conceptions réelles des élèves.

c) Les schémas cliquables

Dans le cas des schémas cliquables, la tâche de l'élève est modifiée. Nous prenons ici l'exemple d'un exercice dont la version papier - crayon propose un schéma à hachurer. Cet exercice consiste plus précisément à hachurer les parties d'un schéma ayant pour aire l'expression $x(x+y+1)+x^2$ (la première partie de la Figure 2-30 présente le schéma à hachurer).

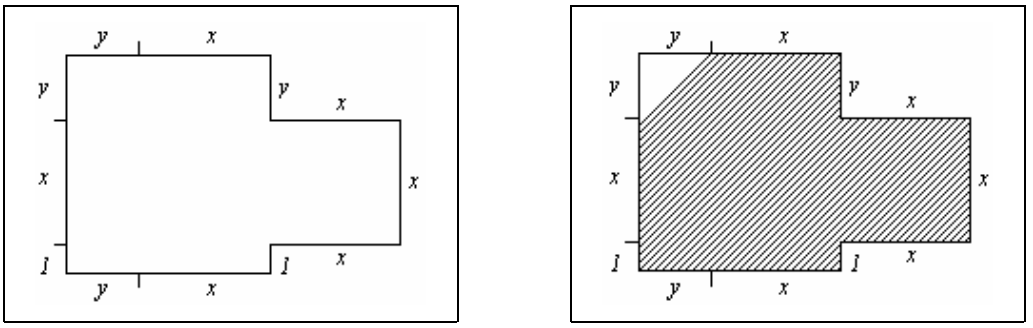


Figure 2-30 : La figure à hachurer et une réponse atypique d'élève.

Certains élèves ont proposé une solution atypique et non attendue par l'analyse didactique a priori : ils ont hachuré une zone dont l'une des limites est oblique (cf. deuxième partie de la Figure 2-30). L'exercice mis en place dans PÉPITEST (cf. Figure 2-31) propose aux élèves de colorer des zones composées uniquement de rectangles et de carrés.

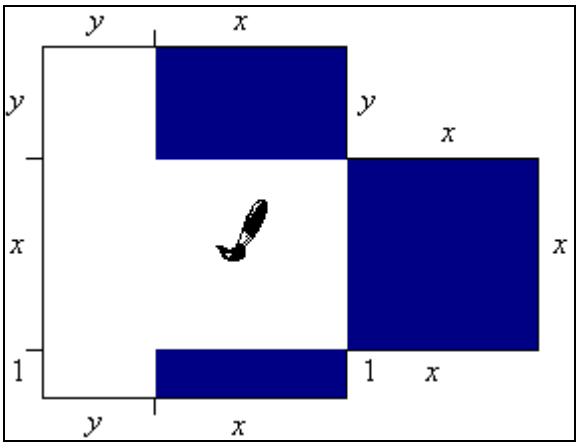


Figure 2-31 : L'exercice de hachurage dans PÉPITEST.

La version informatisée proposée empêche donc les propositions du type de celle présentée dans la deuxième partie de la Figure 2-30. Dans PÉPITEST, l'élève ne pouvant pas proposer sa solution proposera soit une réponse juste, il y aurait alors modification du profil, soit une réponse incorrecte, analysée de la même façon que la solution atypique du test papier – crayon (réponse incorrecte sans autre précision).

Dans ce cas, il y a deux niveaux de perturbation : remplacement d'une solution incorrecte par une autre réponse incorrecte sans conséquence sur le diagnostic ou remplacement d'une solution incorrecte par une solution correcte, dans ce dernier cas, le diagnostic est modifié et ne correspond pas au fonctionnement de l'élève pour cette question.

d) Taille des zones de saisie et écriture des expressions algébriques

La taille des zones de saisie et le procédé mis en place pour permettre l'écriture des expressions algébriques ont des répercussions sur le travail des élèves.

♦ **La taille des zones de saisie**

Concernant tout d'abord les zones de saisie, le choix de leur taille n'est, contrairement à ce qu'on pourrait penser, pas anodin. En effet, une zone de saisie trop grande peut inciter les élèves à donner une réponse longue bien qu'inutile, leur faisant ainsi perdre du temps, avec des conséquences sur le nombre de questions traitées et donc sur la qualité du profil

construit. Le cas inverse est plus gênant encore : une zone de saisie trop petite peut entraver le travail des élèves pour la représentation spatiale des expressions algébriques, par représentation spatiale nous entendons représentation des expressions dans une zone déterminée. Reprenons l'expression utilisée dans l'exemple consacré au copier – coller (cf. Figure 2-29).

$(-2x+6)(-2x+2) = 2x^2-4x-12x+12$
$(-2x+6)(-2x+2) = 2x^2-16x+12$

Figure 2-32 : Transformations appliquées à une expression algébrique dans une zone de saisie.

$(-2x+6)(-2x+2)$
$= 2x^2-4x-12x+12$
$= 2x^2-16x+12$

Figure 2-33 : Exemple de transformations appliquées à une expression dans une zone de saisie trop petite.

Dans une zone de saisie de taille suffisante (cf. Figure 2-32), l'expression peut être manipulée sans problème en travaillant par équivalences. En revanche, dans le cas où la zone de saisie n'est pas assez large pour permettre l'écriture de l'équivalence sur une seule ligne, l'élève ne peut pas écrire l'expression comme il le souhaite, son travail est donc perturbé. Il lui faut trouver une autre façon de présenter ses transformations de l'expression. Cette perturbation peut ainsi être à l'origine de productions inhabituelles comme celle proposée dans la Figure 2-33.
Pour ces raisons, nous avons choisi avec soin les dimensions des zones de saisie proposées dans PÉPITEST.

♦ **La manipulation des expressions algébriques**

Le dispositif mis en place pour permettre la production d'expressions algébriques peut, lui aussi, perturber le fonctionnement des élèves. Nous avons présenté dans la section 2.5.3 les problèmes posés par ce dispositif. La contrainte imposée par l'obligation de linéariser les expressions perturbe nécessairement les élèves, au moins dans un premier temps.

①	②	③
$\frac{1}{4x^2-3}+x$	1/(4x² -3)+x	1/4x² -3+x

Figure 2-34 : Une expression sous forme spatiale et deux exemples de représentation linéaire.

L'exemple donné en Figure 2-34 montre une expression sous forme spatiale issue du corpus papier – crayon (①), ainsi que deux formes linéarisées de cette expression, issues des corpus de PÉPITEST (② et ③). L'expression ② est correctement parenthésée, en revanche, l'expression ③ ne l'est pas. L'obligation de linéarisation met ainsi en évidence des problèmes liés au parenthésage dans le fonctionnement de l'élève. L'élève fait ici une erreur qu'il n'aurait pas faite dans le test papier – crayon avec une écriture spatiale. La première réaction est de penser que l'élève est désavantagé avec PÉPITEST : le logiciel lui « fait faire » une erreur, qui n'aurait pas été vue dans un test papier - crayon. Mais au regard de nos objectifs

d'évaluation des connaissances (le test a pour but d'identifier les connaissances des élèves, pas de les noter), il apparaît que le mode de fonctionnement correspondant, bien qu'existant, n'aurait pas été identifié pour l'élève dans cette question.
Notons que les problèmes liés à la linéarisation des expressions devraient disparaître avec l'intégration à PÉPITEST de l'éditeur d'expressions algébriques spécifique, mais ces problèmes seront alors remplacés par les difficultés de prise en main et d'utilisation de l'éditeur.

Globalement, si les problèmes liés à la taille des zones de saisie ont pu être évités, les problèmes soulevés par la production des expressions algébriques restent. La manipulation des expressions algébriques telle qu'elle est proposée dans la version actuelle de PÉPITEST perturbe les élèves.

e) Conclusion : PÉPITEST, microscope cognitif

Que PÉPITEST facilite le travail de l'élève en lui proposant par exemple des schémas cliquables ou des termes à utiliser pour construire des phrases lui évitant d'en taper les mots, qu'il permette des comportements nouveaux comme l'utilisation du copier – coller ou qu'il perturbe l'élève en contraignant la saisie de ses réponses, en particulier pour les expressions algébriques, PÉPITEST agit comme un microscope cognitif [TWIDALE, 1993], c'est-à-dire qu'il met en évidence des comportements qui n'apparaissent pas avec le test papier – crayon, débloquant l'élève ou mettant en évidence ses incertitudes.
Les perturbations qu'en tant qu'informaticienne nous considérions comme des biais pouvant perturber le diagnostic, sont au contraire considérées comme des révélateurs des connaissances des élèves par les didacticiens.

2.6. ÉVALUATION DE PÉPITEST

La démarche de conception adoptée impose le recensement précoce des critères et méthodes d'évaluation du système. SENACH distingue deux dimensions principales pour l'évaluation d'un système, l'utilité du produit et son utilisabilité [SENACH, 1993]. L'utilité s'intéresse à l'adéquation du logiciel aux objectifs de haut niveau du client. L'utilisabilité concerne la capacité du logiciel à permettre à l'utilisateur d'atteindre facilement ses objectifs.
En ce qui concerne PÉPITEST, l'utilisateur est l'élève dont l'objectif est de résoudre les exercices le mieux possible. Le client est la personne (l'enseignant ou le didacticien) ou le système informatique (PÉPIDIAG) chargé d'effectuer le diagnostic à partir des productions des élèves. L'utilisabilité du logiciel concerne la qualité de l'interface que nous évaluons, d'une part, selon des critères et recommandations ergonomiques [par exemple BASTIEN & SCAPIN, 1993] et, d'autre part, par des expérimentations du logiciel faites en classe (cf. § 2.6.3). L'utilité concerne la capacité du logiciel à rendre compte du comportement de l'élève pour établir le diagnostic. Pour évaluer la dimension utilité, nous nous appuyons sur les méthodes issues de la didactique des mathématiques [ROBERT, 1992] [ARTIGUE, 1990]. De ce point de vue, le problème consiste à définir des tâches sur machine qui déterminent des

observables *équivalents* à ceux du test papier - crayon. Concernant l'utilité, l'évaluation du logiciel consiste donc à préciser cette équivalence.
Nous nous fondons sur cette distinction entre utilisabilité et utilité pour présenter la validation de PÉPITEST, même si nous sommes consciente que ces deux points sont liés. Dans cette section nous commençons par une présentation de la validation de PÉPITEST d'un point de vue utilité en détaillant nos critères de validation. Nous présentons ensuite la validation de PÉPITEST d'un point de vue utilisabilité, nous exposons donc la validation de l'interface élève. Nous terminons par une présentation des expérimentations qui ont été faites en classe avec PÉPITEST, expérimentations apportant des résultats à la fois au niveau utilité et au niveau utilisabilité.

2.6.1. LES CRITÈRES D'ÉVALUATION

L'évaluation de PÉPITEST, outre l'évaluation de l'interface, comporte deux parties : l'étude de l'équivalence entre les données et l'étude de l'équivalence entre les résultats. Pour cette partie de l'évaluation du logiciel conçu, nous nous référons aux critères de validation définis par BALACHEFF [BALACHEFF, 1994] et introduits dans le chapitre 1.

a) L'équivalence entre les données

Notre premier critère de validation consiste à vérifier que les observables obtenus à partir de PÉPITEST sont représentatifs du comportement de l'élève. En reprenant le modèle de l'élève de BALACHEFF présenté au chapitre 1, ce critère correspond à un *homomorphisme de comportement* (cf. ① Figure 2-35) entre le modèle comportemental issu du test papier - crayon et le modèle comportemental de PÉPITEST. Cette équivalence se situe à deux niveaux.

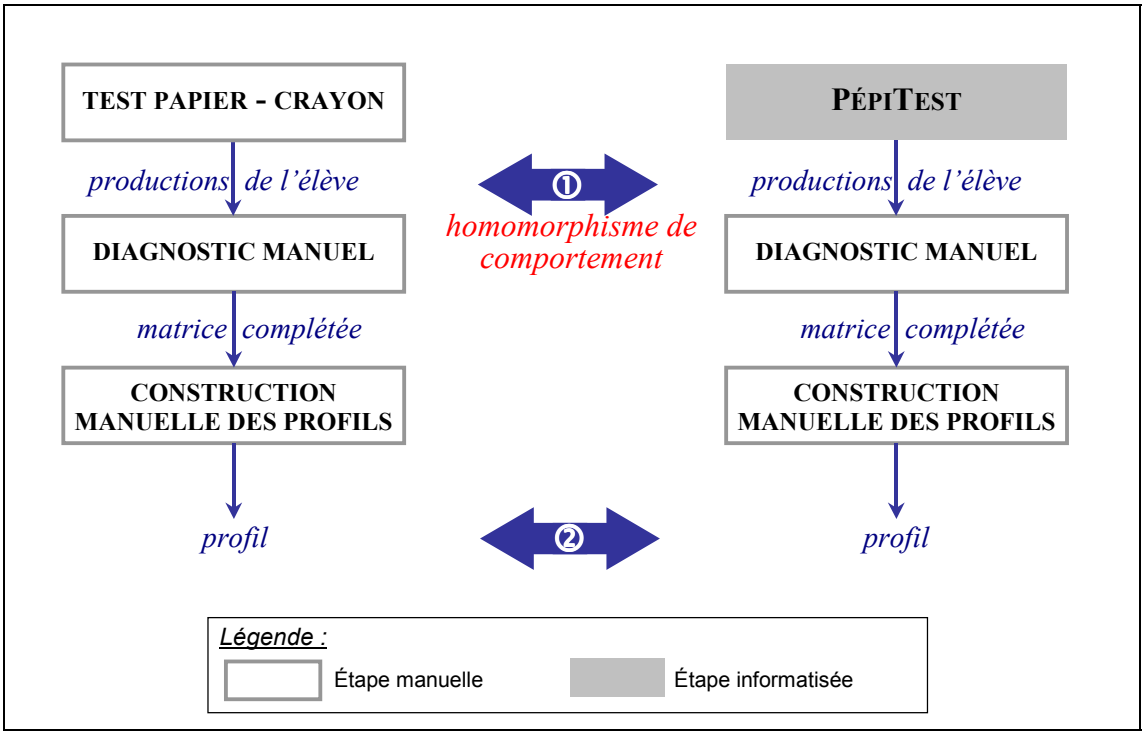


Figure 2-35 : Critères de validation de PÉPITEST.

Au niveau micro, il s'agit de comparer les productions d'un élève avec PÉPITEST à ses productions papier – crayon (c'est-à-dire aux copies qu'il rend habituellement ou à ses cahiers). L'objectif est d'établir si les productions de l'élève avec PÉPITEST correspondent à ses productions habituelles.
Au niveau macro, il s'agit de comparer l'ensemble des productions des élèves avec PÉPITEST aux productions papier – crayon, pour voir si le changement d'environnement provoque une réduction du spectre des réponses, c'est-à-dire si on retrouve dans les productions avec PÉPITEST, l'ensemble des productions trouvées dans le test papier – crayon.

b) L'équivalence entre les résultats

Le second critère de validation de PÉPITEST consiste à vérifier que ces observables permettent à un didacticien (et plus tard au logiciel PÉPIDIAG) de construire des profils et que ces profils sont équivalents aux profils papier - crayon. Plus précisément, nous allons chercher à montrer que les profils construits manuellement à partir des traces de PÉPITEST sont équivalents aux profils construits manuellement à partir des observables du test papier – crayon (cf. ② Figure 2-35).

2.6.2. L'ÉVALUATION DE L'INTERFACE

La conception de PÉPITEST ayant été à la fois informative et itérative, l'évaluation de l'interface a été faite à toutes les étapes de la conception avec l'équipe pluridisciplinaire de didacticiens et d'informaticiens. Il est cependant possible d'identifier des périodes plus spécifiquement consacrées à l'évaluation de l'interface.
Les méthodes d'évaluation de logiciels que nous avons retenues pour la dimension utilisabilité sont les méthodes classiques utilisées pour la conception d'IHM : application des standards des interfaces graphiques, application des recommandations ergonomiques, soumission des prototypes à des jugements d'experts, à des tests informels d'acceptabilité auprès d'utilisateurs hors contexte d'utilisation, et enfin à des expérimentations en situation réelle dans des classes.
La référence à des travaux d'IHM sert de base à notre réflexion sur l'ergonomie. Nous avons adapté les résultats de ces travaux à nos besoins spécifiques. PÉPITEST est en effet un EIAO dédié à l'évaluation des connaissances.
Dans cette section, nous caractérisons les EIAO, et plus particulièrement ceux dédiés à l'évaluation des connaissances, par rapport aux interfaces que nous qualifions de classiques en précisant les points qui concernent PÉPITEST. Nous indiquons, pour chacun des critères ergonomiques énoncés par BASTIEN et SCAPIN [BASTIEN & SCAPIN, 1993], dans quelle mesure nous les prenons en compte pour la conception de PÉPITEST. Nous présentons ensuite les tests informels mis en place ainsi que les expérimentations faites en classe.

a) Particularités de PÉPITEST en tant qu'interface graphique

Deux points majeurs distinguent PÉPITEST d'une interface classique : d'une part l'apprenant n'est pas un utilisateur comme les autres ; d'autre part l'évaluation des connaissances n'est pas une tâche comme les autres. Mais commençons par identifier les utilisateurs d'un EIAO.

♦ **Deux types d'utilisateurs pour un EIAO**

Contrairement au cas des interfaces classiques, il n'est pas trivial de désigner l'utilisateur dans le cas d'un EIAO. En effet, si l'utilisateur semble naturellement être l'élève, l'enseignant a lui aussi un rôle important dans l'utilisation [VIVET, 1990], [LEROUX, 1995]. L'enseignant est en effet également un utilisateur du logiciel en ce sens qu'il utilise le logiciel pour réaliser sa tâche : enseigner à des élèves. En fait, l'enseignant peut être considéré comme le prescripteur du logiciel, l'élève en étant l'utilisateur final. Mais le rôle de l'enseignant ne s'arrête pas toujours là, l'enseignant peut en effet également, si le logiciel le prévoit, utiliser le logiciel en tant qu'utilisateur final cette fois, pour préparer son utilisation par les élèves en l'adaptant à ses besoins (par exemple en ajoutant des exercices), en le paramétrant, etc. [LEROUX, 1995]. Précisons enfin que ce rôle d'utilisateur de l'enseignant va au-delà de la distinction qui est faite couramment en IHM entre utilisateur et client. Notons toutefois que cette distinction est prise en compte dans UML avec la notion de cas d'utilisation.
Pour résumer, un EIAO, et ceci est valable pour PÉPITEST, a deux types d'utilisateurs : les élèves, utilisateurs finals et l'enseignant, à la fois prescripteur et utilisateur final.

♦ **L'élève n'est pas un utilisateur comme les autres**

Si le rôle d'utilisateur de l'élève paraît être clairement désigné, l'élève n'est cependant pas un utilisateur de logiciel tout à fait comme les autres. Il est certes avant tout un utilisateur de dispositif informatique, en tant que tel, il rencontre les mêmes difficultés qu'un utilisateur classique. Il se demande par exemple de quelle manière effectuer une tâche (comme écrire une expression algébrique avec PÉPITEST). Mais l'élève est aussi un utilisateur particulier puisque, si l'objectif d'un utilisateur de logiciel classique est d'effectuer une tâche de la façon la plus efficace possible, l'objectif d'un élève comporte plusieurs niveaux : l'apprentissage, la résolution de problème, la réalisation de tâches. Et, seuls ces deux derniers points, peuvent avoir un équivalent pour un logiciel classique. L'utilisateur d'un logiciel classique n'a en effet généralement pas d'objectif de haut niveau dans l'utilisation même du logiciel, même si cette utilisation peut s'insérer dans des objectifs de plus haut niveau.

♦ **L'évaluation des connaissances n'est pas une tâche comme les autres**

À ces spécificités des interfaces d'EIAO, s'ajoutent pour PÉPITEST, en tant que logiciel d'évaluation des connaissances, une autre spécificité. En effet, que l'on se place au niveau de l'élève ou au niveau du logiciel, l'évaluation des connaissances n'est pas une tâche comme les autres.
Au niveau de l'élève, la situation d'évaluation des connaissances peut induire des comportements différents des comportements habituels en EIAO : stress plus grand, hésitation à répondre lorsque la réponse n'est pas certaine (la propension de certains élèves à ne pas répondre plutôt que de risquer de proposer une solution erronée est accrue dans le cadre d'une évaluation des connaissances). Ces modifications du comportement de l'élève ont des conséquences au niveau du logiciel. Il faut par exemple que le logiciel prenne en compte la volonté qu'ont certains élèves d'effacer une solution qu'ils ont proposée mais dont ils ne sont pas suffisamment sûrs. Pour PÉPITEST, nous avons veillé à ce que le contenu de tous les éléments de réponses soient totalement effaçables.

Au niveau du logiciel, la spécificité la plus marquante de l'évaluation des connaissances de notre point de vue vient du fait que son utilisation est généralement unique (ou très limitée en nombre), il n'y a donc pas de séance de prise en main possible (ou très limitée dans le temps). L'utilisation du logiciel doit être d'autant plus facile et intuitive. Cette nécessité d'appropriation rapide du logiciel se retrouve, en dehors du champ de l'EIAO, dans la notion d'utilisateurs novices ou occasionnels.
On pourrait par ailleurs penser que ces spécificités de l'évaluation des connaissances par rapport aux tâches classiques des utilisateurs sont prises en compte dans les recherches sur la modélisation de l'utilisateur. Il y a toutefois là encore des différences entre modélisation de l'utilisateur et modélisation de l'élève. En modélisation de l'utilisateur, l'évaluation des connaissances est faite au cours de l'utilisation, souvent sans que l'utilisateur en soit averti, son but est de faciliter le travail de l'utilisateur. En modélisation de l'élève, l'objectif est d'évaluer les connaissances et / ou les compétences de l'élève, cet objectif pouvant même être l'objectif final du système comme dans PÉPITE. L'évaluation a donc un rôle plus important lorsque l'utilisateur est un élève. L'évaluation des connaissances, désignée comme objectif principal de l'utilisation du système, peut être explicite, mais aussi plus contraignante, c'est-à-dire que le système n'est pas obligé d'interpréter le comportement de l'utilisateur à l'occasion de l'accomplissement de sa tâche, mais peut se permettre d'interroger explicitement l'utilisateur sur ses connaissances et / ou compétences [SELF, 1988].

b) Prise en compte des recommandations ergonomiques

Les différentes spécificités exposées dans la section précédente ont des conséquences sur la conception des EIAO dédiés à l'évaluation des connaissances, en particulier sur l'adéquation des règles ergonomiques proposées par les chercheurs en IHM à ces spécificités. Nous discutons dans ce paragraphe de la prise en compte des recommandations ergonomiques pour des EIAO dédiés à l'évaluation des connaissances, en prenant l'exemple de PÉPITEST et en nous référant à [BASTIEN & SCAPIN, 1993]. C'est également l'approche adoptée par l'équipe de Philippe TRIGANO [Hu & TRIGANO, 1998].
Le symbole = annonce les points pour lesquels PÉPITEST est en accord avec le critère, le ≠ symbole annonce les points pour lesquels le critère n'est pas ou ne peut pas être appliqué tel quel. Nous présentons ici l'application des critères ergonomiques à la dernière version de PÉPITEST, mais nous aurions pu faire cette présentation dans la section consacrée aux méthodes de conception employées, l'application de ces critères aux versions antérieures de l'interface et leur application lors de la conception ont permis de corriger ou d'éviter un certain nombre de problèmes.

- **Guidage**

> *« Le guidage est l'ensemble des moyens mis en œuvre pour conseiller, orienter, informer et conduire l'utilisateur lors de ses interactions avec l'ordinateur (messages, alarmes, labels, etc.), y compris dans ses aspects lexicaux.*

> *Quatre sous-critères participent au guidage : incitation, groupement / distinction entre items, feedback immédiat et lisibilité.* » [BASTIEN & SCAPIN, 1993]

= Le guidage est particulièrement important dans le cas de PÉPITEST. Chaque élève ne faisant le test qu'une seule fois, il ne peut pas y avoir de séance de prise en main du logiciel. L'élève est guidé par les consignes, par la structuration de l'écran (groupement / distinction entre items par la localisation et le format, lisibilité), par des modifications de l'aspect du curseur, etc. Le guidage facilite ainsi l'apprentissage de l'utilisation du logiciel au fil des exercices.

≠ Toutefois, l'objectif étant l'évaluation des connaissances, PÉPITEST ne guide pas l'élève quant au type de réponse qu'il doit fournir (unité, longueur des données, etc.) ou à la méthode qu'il doit utiliser. Le guidage concerne donc exclusivement l'interface, et ne donne jamais d'indication liée au contenu.

Pourtant, nous l'avons dit, la mise à disposition d'outils spécifiques dans PÉPITEST peut influencer le choix d'une méthode de résolution. Ceci est surtout valable pour l'outil de représentation graphique, qui, par son existence, peut pousser des élèves à proposer, dans certains exercices, une solution graphique à laquelle ils n'auraient pas pensé avec le test papier - crayon.

♦ **Charge de travail**

> *« Le critère charge de travail concerne l'ensemble des éléments de l'interface qui ont un rôle dans la réduction de la charge perceptive ou mnésique des utilisateurs et dans l'augmentation de l'efficacité du dialogue.*
> *Deux sous-critères participent au critère charge de travail : brièveté (qui inclut les critères concision et actions minimales), et densité informationnelle. »*
> [BASTIEN & SCAPIN, 1993]

= Le critère de limitation de la charge de travail (concision, actions minimales et densité informationnelle) est pris en compte dans PÉPITEST. Les exercices trop longs sont par exemple scindés en plusieurs parties, afin de ne pas afficher trop d'informations sur un même écran. L'ordre des exercices a également été déterminé pour limiter la charge cognitive en espaçant par exemple les écrans plus chargés.

≠ Le respect de ce critère est cependant en partie problématique dans notre contexte. Certaines fonctionnalités logicielles mises en place pour faciliter l'utilisation (par exemple le glisser - lâcher), peuvent détourner l'attention de certains élèves sur des aspects de manipulation d'interface au détriment des activités mathématiques, ce qui peut perturber le diagnostic, comme l'indique ARTIGUE concernant la tâche de linéarisation des expressions algébriques [ARTIGUE, 1990a]. De plus, la densité informationnelle de certains écrans est assez forte (dans l'exercice 14 notamment : l'exercice sur les programmes de calcul proposant une palette de termes – cf. Figure 2-16 -). Mais, d'une part, l'élève est aidé par la structuration de l'écran qui reste stable d'un exercice à l'autre, il sait donc où trouver l'énoncé, où et comment taper sa réponse. D'autre part, dans les exercices correspondant à ces écrans, les informations supplémentaires apportées à l'élève lui sont utiles, il les accepte donc facilement. De plus, dans le cas de l'exercices 14, ces informations apparaissent

progressivement (à l'endroit où elles sont utiles à l'élève, dans la deuxième partie de l'exercice seulement).
Globalement cependant, le test est long (deux heures), la succession d'écran est fatigante et la lassitude est perceptible chez certains élèves. Les élèves n'ont en effet pas l'habitude de travailler si longtemps, qui plus est sur ordinateur.

- **Contrôle explicite**

> *« Le critère contrôle explicite concerne à la fois la prise en compte par le système des actions explicites des utilisateurs et le contrôle qu'ont les utilisateurs sur le traitement de leurs actions.*
> *Deux sous-critères participent au contrôle explicite : actions explicites et contrôle utilisateur. »* [BASTIEN & SCAPIN, 1993]

= L'objectif étant le diagnostic et non l'apprentissage, l'environnement doit réellement permettre à l'élève d'exprimer ses connaissances en restant libre de ce qu'il écrit ou fait et de l'ordre qu'il choisit pour le faire. Dans PÉPITEST, l'élève exerce un contrôle explicite sur le système. Comme dans l'environnement papier – crayon, l'élève peut changer d'exercice et modifier ses réponses quand il le souhaite, sauter des questions et revenir en arrière.

- **Adaptabilité**

> *« L'adaptabilité d'un système concerne sa capacité à réagir selon le contexte, et selon les besoins et préférences des utilisateurs.*
> *Deux sous-critères participent au critère adaptabilité : flexibilité et prise en compte de l'expérience de l'utilisateur. »* [BASTIEN & SCAPIN, 1993]

= La prise en compte du critère d'adaptabilité se traduit d'une part par la flexibilité et d'autre part par la prise en compte de l'expérience de l'utilisateur. Concernant la flexibilité, dans PÉPITEST l'élève peut répondre de différentes façons à une même question (par exemple en utilisant ou non un outil graphique, en utilisant la palette de termes ou en tapant lui-même les termes). Cette possibilité du libre choix de la méthode est nécessaire en raison de l'objectif du système, qui est l'évaluation des connaissances.
≠ Le logiciel étant utilisé une seule fois pendant la scolarité, la prise en compte de l'expérience de l'utilisateur ne concerne pas l'utilisation des particularités du logiciel mais seulement celle, plus générale, d'une interface graphique. Pour les élèves disposant d'une expérience préalable en informatique, PÉPITEST propose des outils classiques du type copier – coller ou glisser - déplacer.

- **Gestion des erreurs**

> *« Le critère gestion des erreurs concerne tous les moyens permettant d'une part d'éviter ou de réduire les erreurs, et d'autre part de les corriger lorsqu'elles surviennent. Les erreurs sont ici considérées comme des saisies de données incorrectes, des saisies dans des formats inadéquats, des saisies de commandes avec syntaxe incorrecte, etc.*
> *Trois sous-critères participent à la gestion des erreurs : protection contre les erreurs, qualité des messages d'erreurs et correction des erreurs. »* [BASTIEN & SCAPIN, 1993]

Concernant la gestion des erreurs, distinguons deux types d'erreurs :
– les erreurs dans l'utilisation du logiciel,
– les erreurs au sens de réponses erronées (souvent qualifiées d'erreurs conceptuelles). Cette dénomination ne tient pas compte de la distinction, plus didactique, qui peut être faite entre les conceptions « erronées » et les erreurs plus superficielles telles que les erreurs de recopie ou les erreurs « d'étourderie ».

= Les erreurs dans l'utilisation de PÉPITEST sont limitées étant donné la simplicité des interactions logicielles. Les erreurs que nous avons constatées résident dans la manipulation des onglets et surtout dans la production d'expressions algébriques. Les premières sont sans conséquence (il est toujours possible de retourner à l'onglet précédemment sélectionné), les secondes posent plus de problèmes. En effet, si un élève fait une erreur dans l'écriture d'une expression en raison de la spécificité du dispositif mis en place pour la production des expressions algébriques, et s'il n'identifie pas cette erreur, l'expression produite pourrait ne pas refléter ses compétences, l'erreur modifiera alors le diagnostic qui ne sera plus, pour la question considérée, le reflet du fonctionnement de l'élève. Les erreurs sont cependant la plupart du temps récupérables. Il faut cependant noter que la fonctionnalité « Annuler », indispensable dans une interface graphique (dans le cas de l'effacement accidentel d'une zone de saisie par exemple), n'a pas été implantée.

≠ Concernant le second type d'erreurs, le but de PÉPITEST étant l'évaluation des connaissances, le logiciel de test ne doit absolument pas identifier et encore moins proposer de corriger des erreurs conceptuelles, ce qui fausserait naturellement le diagnostic : aucune protection contre ce type d'erreurs n'est envisageable. En revanche, l'élève peut à tout moment modifier ses entrées, les effacer, etc..

♦ **Homogénéité / cohérence**

> *« Le critère homogénéité / cohérence se réfère à la façon avec laquelle les choix de conception de l'interface (codes, dénominations, formats, procédures, etc.) sont conservés pour des contextes identiques, et sont différents pour des contextes différents.* » [BASTIEN & SCAPIN, 1993]

= Le respect de la cohérence et de l'homogénéité dans l'interface a fait l'objet d'une attention particulière en ce qui concerne l'organisation spatiale des informations, la stabilité de l'écran et l'utilisation des dispositifs physiques de contrôle. Ce point est capital étant donné la diversité des exercices. Si chaque exercice est différent des autres, l'élève doit pourtant pouvoir en identifier rapidement les différents éléments (l'énoncé, la zone de réponse, etc.).

Le fonctionnement de la gomme est également caractéristique de la prise en compte du critère homogénéité / cohérence dans PÉPITEST. La gomme permet en effet d'effacer le contenu de toutes les zones renfermant des informations (zone de saisie, mais aussi annotations de graphiques, boutons radio, etc.). Son fonctionnement est donc le même dans tous les cas à ceci près que le curseur est légèrement différent si on tente d'effacer du texte ou des annotations ( pour le texte et  pour les annotations), pour indiquer qu'il s'agit de la même action, mais utilisée dans un contexte légèrement différent.

♦ **Signifiance des codes et dénominations**

> *« Le critère signifiance des codes et dénominations concerne l'adéquation entre l'objet ou l'information affichée ou entrée, et son référent. Des codes et dénominations « signifiants » disposent d'une relation sémantique forte avec leur référent. »*
> [BASTIEN & SCAPIN, 1993]

= Les dénominations et les codes utilisés dans PÉPITEST sont ceux choisis en collaboration par les didacticiens et les informaticiens. Le codage propre à l'interface se réduit aux icônes utilisées dans les boutons de la barre d'outils.
Dans la version de PÉPITEST n'incluant pas d'éditeur d'expressions algébriques, le choix des codes utilisés pour les éléments ne figurant pas sur le clavier est particulièrement sensible. Il a, lui aussi, été fait au sein de l'équipe pluridisciplinaire.

♦ **Compatibilité**

> *« Le critère compatibilité se réfère à l'accord pouvant exister entre les caractéristiques des utilisateurs (mémoire, perceptions, habitudes, compétences, âge, attentes, etc.) et des tâches, d'une part, et l'organisation des sorties, des entrées et du dialogue d'une application donnée, d'autre part.*
> *De plus, la compatibilité concerne également le degré de similitude entre divers environnements ou applications. »* [BASTIEN & SCAPIN, 1993]

= Le critère de compatibilité concerne en particulier l'adaptation du logiciel au niveau des utilisateurs. Du point de vue de l'utilisation du logiciel, ceci a été fait en tenant compte des connaissances minimales en informatique des élèves amenés à utiliser PÉPITEST. Du point de vu du contenu, notre travail collaboratif avec des didacticiens est un gage d'adaptation du test au niveau mathématique des élèves.
Concernant le degré de similitude entre les divers environnements de travail de l'utilisateur élève (papier - crayon et ordinateur avec PÉPITEST), le critère se réfère aux problèmes de transfert de tâches que nous avons traité dans le paragraphe consacré à la manipulation des expressions algébriques (cf. 2.5.3).
Concernant la similitude entre les diverses applications utilisées par l'élève, elle est assurée par l'application des standards des interfaces graphiques (système de fenêtrage, de menus, copier – coller, etc.).

c) Tests informels

À différentes étapes de sa conception, PÉPITEST a fait l'objet de tests informels auprès chronologiquement : d'utilisateurs quelconques, d'experts en IHM, et d'utilisateurs correspondant au public cible.

♦ **Premiers tests d'utilisabilité**

Les premiers tests d'utilisabilité ont été faits auprès d'utilisateurs ne correspondant pas au public cible.
Ces tests avaient pour but, d'une part, de faire des premiers tests d'utilisabilité, et d'autre part, de tester la résistance du logiciel à des manipulations incohérentes.

♦ **Jugements d'experts**

PÉPITEST a fait l'objet de jugements d'experts en IHM. Ces experts, étudiants en DEA Communication Homme / Machine & Ingénierie Éducative ou en thèse d'EIAO, avaient pour rôle d'évaluer le fonctionnement et l'aspect global du logiciel, ainsi que les différents exercices et les outils mis en place.

♦ **Tests d'acceptabilité**

Dans le cadre de la conception centrée utilisateur, des tests d'acceptabilité ont été conduits auprès d'utilisateurs correspondant au public cible (une élève de classe de troisième et une élève de seconde), mais hors contexte d'utilisation.
Lors de ces tests d'acceptabilité, nous avons demandé aux élèves de faire le test d'évaluation proposé dans PÉPITEST. Pendant cette utilisation, nous avons étudié leur comportement et plus particulièrement les difficultés rencontrées, répondu à leurs questions (en notant soigneusement ce sur quoi elles portaient). À l'issu de l'utilisation de PÉPITEST, nous leur avons demandé ce qu'elles pensaient du logiciel, des exercices, des différents outils, en précisant si elles jugeaient que certains éléments pouvaient manquer (comme des outils spécifiques ou des termes dans la palette de termes de l'exercice 14, cf. Figure 2-16). Nous les avons également questionnées sur les raisons de certains de leurs comportements durant le l'utilisation de PÉPITEST.

♦ **Bilan sur les tests informels**

Ces différents tests font partie de notre cycle de conception. Ils nous ont permis d'améliorer le logiciel au niveau ergonomique, d'ajouter des fonctionnalités demandées par les testeurs (par exemple, la possibilité de déplacer réellement le point M sur le schéma de l'exercice 12), de mettre au point le logiciel, aussi bien du point de vue de problèmes techniques, que du point de vue de questions plus critiques, comme l'utilisation des outils ou l'écriture des expressions algébriques. Ces mises au point ont été particulièrement utiles avant les expérimentations en classe.

2.6.3. LES EXPÉRIMENTATIONS EN CLASSE

À l'issu de ces différents tests informels, PÉPITEST a fait l'objet de plusieurs expérimentations en classe portant sur un total de 90 élèves. Ces expérimentations ont eu lieu à différentes étapes de la conception de PÉPITEST et avaient donc des objectifs différents.

a) L'expérimentation du 12 octobre 1996

La première expérimentation de PÉPITEST en classe a eu lieu en octobre 1996. Elle correspond à ce que nous avons appelé expérimentation 1 dans notre cycle de conception et d'évaluation du test (cf. Figure 2-8, page 63). La version de PÉPITEST expérimentée est le prototype 2.1.

♦ **Les objectifs**

Les objectifs de cette première expérimentation étaient les suivants :
– Au niveau informatique, évaluer l'interface du point de vue de son utilisabilité.

– Au niveau à la fois informatique et didactique, évaluer les conséquences du transfert du test sur les productions des élèves et sur la faisabilité du diagnostic. Plus particulièrement, nous cherchions d'une part, à recueillir un corpus sur le test informatisé pour le comparer au corpus papier – crayon disponible (correspondant à l'expérimentation du test papier – crayon de juin 1996 avec 600 élèves), en particulier pour certains exercices dont la version informatisée est très différente de la version papier – crayon et pour les exercices de mathématisation. Pour les exercices de mathématisation, c'est-à-dire les exercices pour lesquels le diagnostic cherche à étudier la démarche de résolution de l'élève, les didacticiens craignaient en effet que le transfert d'environnement empêche les élèves de produire des justifications analysables. D'autre part, nous cherchions à vérifier par une étude de cas que les productions des élèves sur les tâches de PÉPITEST permettent aux didacticiens de construire les profils d'élèves manuellement.
– Au niveau didactique, évaluer l'adaptation des exercices à la transition entre les classes de 3ème et de 2de.

♦ **Les conditions d'expérimentation**

L'expérimentation a été faite le samedi 12 octobre 1996 de 8h15 à 10h00 environ avec 30 élèves d'une classe de seconde du Lycée Georges BRASSENS de VILLENEUVE-LE-ROI, dans la région parisienne.
Les élèves étaient répartis sur deux salles disposant de 26 ordinateurs au total (PC de types 286 et 386, à écrans couleurs et monochromes). Huit élèves ont travaillé en binômes, les 22 autres disposaient d'un poste chacun.

♦ **La présentation de l'expérimentation aux élèves**

L'expérimentation n'avait pas été vraiment présentée aux élèves par Nicole PERNIAS, l'enseignante de la classe. Celle-ci leur avait seulement indiqué que la séance de mathématiques aurait lieu dans la salle d'informatique (certains élèves ont été déçus de « faire des maths » alors qu'ils pensaient « faire de l'informatique »). Ceci montre que ces élèves, même s'ils ne le savaient pas forcément avant de commencer, ont rapidement saisi à quel niveau se situait l'activité, contrairement aux élèves dont PERRIAULT rapporte les propos : après une leçon sur les angles, on leur demande ce qu'ils ont appris, ils ne parlent que de la manipulation de l'ordinateur. « Leurs réactions montrent à l'évidence qu'elle [la machine] a une épaisseur alors qu'on la suppose transparente » [PERRIAULT, 1989]. Dans le cas de notre expérimentation, même si les élèves n'utilisent pas d'ordinateur très fréquemment en classe, ils ont toutefois intégré la différence entre le contenu et la forme.
Un document contenant les copies d'écran de l'aide a été distribué aux élèves en début de séance.
Les consignes données aux élèves étaient :
– de faire prioritairement les exercices dont le numéro apparaît en bleu (le test ayant été jugé trop long, les derniers exercices avaient été marqués différemment pour permettre de les identifier comme des exercices complémentaires).
– de rendre leur brouillon avec leurs nom et prénom s'ils en avaient utilisé un,

– de remplir puis rendre le questionnaire distribué 10 min. avant la fin (ce questionnaire et les résultats qu'il a permis d'obtenir sont présentés en annexes 11 et 12).

♦ **Les observateurs**

Les observateurs, en fait des observatrices, étaient au nombre de six : deux informaticiennes (Élisabeth DELOZANNE et Stéphanie JEAN) , trois didacticiennes (Brigitte GRUGEON, Michèle ARTIGUE et Agnès LENFANT) et l'enseignante de la classe (Nicole PERNIAS). Elles étaient réparties entre les deux salles : une informaticienne et deux didacticiennes dans la première salle et une informaticienne et une didacticienne dans la seconde salle. Quant à l'enseignante, elle est passée d'une salle à l'autre au cours de l'expérimentation.
Les observatrices ont rempli les fiches d'observation (un exemplaire de cette fiche est proposé en annexe 10), placées à côté de chaque élève en y mentionnant les questions posées, les difficultés remarquées, ainsi que toutes les remarques jugées pertinentes (concernant la progression de l'élève par exemple).
Par ailleurs, les observatrices ont répondu aux questions liées à l'utilisation du logiciel (comment aller à la ligne, comment changer d'exercice, comment écrire un exposant, etc.), mais pas à celles qui concernaient les mathématiques.

♦ **Les données recueillies**

Nous avons recueilli les données suivantes pour chaque élève (ou chaque binôme) :
– un fichier texte qui contient les productions de l'élève : ses réponses aux différentes questions (équivalent aux renseignements recueillis dans le test papier - crayon) (voir un exemple de fichier de productions en annexe 7),
– un fichier de trace contenant des informations sur la navigation, l'utilisation des outils et le chronométrage. La trace indique le début et la fin de la session. Elle prend en compte le passage d'un exercice à l'autre, le passage d'une partie à l'autre d'un exercice, l'utilisation des éléments de la barre d'outils et des items de menus (un exemple de trace est donné en annexe 8).
– un questionnaire rempli par l'élève (cf. annexe 11),
– les fiches remplies par les observateurs lors de l'expérimentation (cf. annexe 10),
– les éventuels brouillons papier de l'élève.

♦ **Les résultats**

Concernant l'utilisabilité

Les résultats de cette expérimentation sont plutôt positifs. Dès la fin de la première demi-heure, les questions portant sur l'utilisation du logiciel ont disparu. Les questions posées par les élèves durant cette période concernaient l'utilisation d'un ordinateur (clavier, retour à la ligne, glisser - lâcher, sélection des champs), l'utilisation des outils de PÉPITEST (la gomme), les mathématiques (parenthésage, calcul, terminologie) et les mathématiques avec PÉPITEST (saisie d'expressions mathématiques). Pour les deux derniers points, les difficultés ont évidement perduré pour certains élèves.
La prise en main du logiciel à travers la résolution d'exercices a donc nécessité moins d'une demi-heure. Ce temps de prise en main nous a pourtant paru trop important. Nous avons en

effet constaté que les difficultés rencontrées par les élèves dans le premier exercice étaient nombreuses (la Figure 2-36 est une copie d'écran de cet exercice, elle montre le menu contextuel qui permet de recopier la valeur telle quelle, comme nombre transformé ou d'activer une fenêtre permettant des calculs intermédiaires).

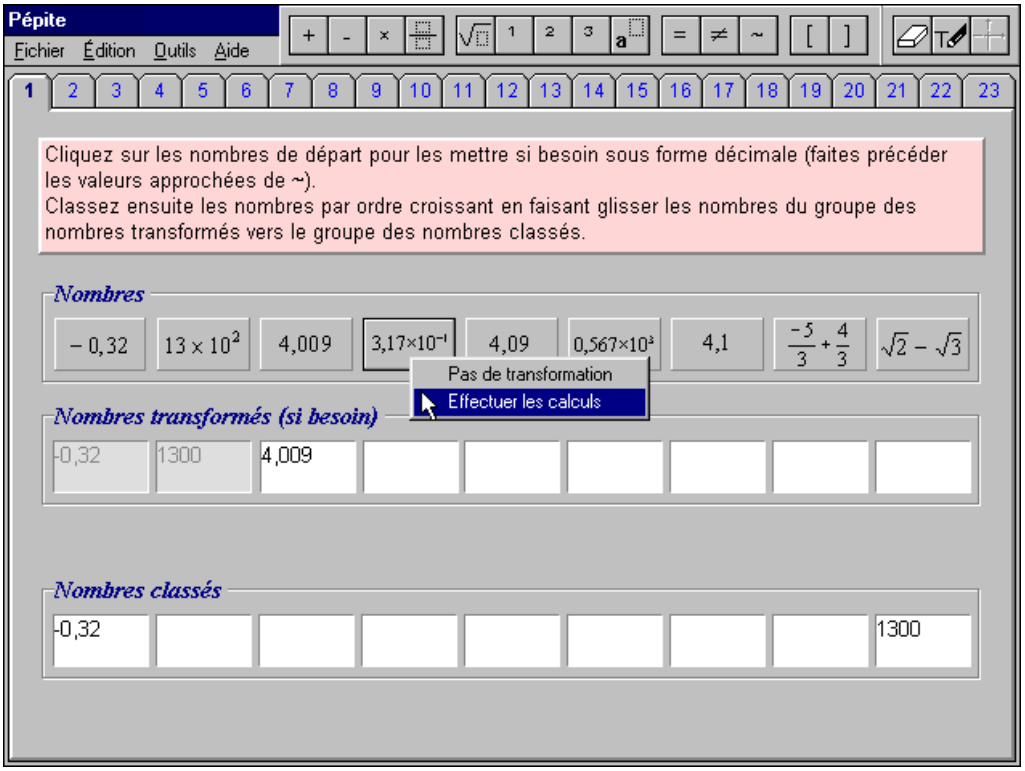


Figure 2-36 : Le premier exercice de PÉPITEST dans la version expérimentée en octobre 1996.

Les élèves avaient d'une part beaucoup de mal à comprendre l'énoncé d'un point de vue mathématique (en particulier les notions de forme décimale et valeur approchée). D'autre part, du point de vue de l'utilisation du logiciel, ce premier exercice demandait la maîtrise de trop nombreuses manipulations (sélection d'un élément, choix dans un menu contextuel, glisser – lâcher et éventuellement utilisation de la gomme dans la barre d'outils pour effacer une valeur). Cet exercice, trop complexe à la fois au niveau mathématique et au niveau de l'interface, a été, à la suite de ces constatations, déplacé dans le test (c'est l'exercice 22 de la version actuelle de PÉPITEST), mais surtout décomposé en deux exercices distincts afin de le simplifier.

Toutefois, le guidage mis en place (structuration de l'écran, curseurs, bulles d'aide) a globalement bien fonctionné. Nous avons cependant envisagé, après cette expérimentation, de diminuer le temps d'apprentissage en proposant quelques écrans présentant les manipulations de base nécessaires à l'utilisation de PÉPITEST.

Enfin, les outils mis au point (annotation de schéma, représentation graphique, etc.), ont été sous-utilisés, en particulier en raison du fait que les élèves n'avaient pas connaissance de leur existence, le fonctionnement de PÉPITEST n'ayant pas été présenté aux élèves.

Concernant les différences de corpus papier - crayon / PÉPITEST

Nous avons constaté en observant les élèves pendant le test et en étudiant les traces des sessions, que les élèves se comportent sur certains points de façon similaire durant le test machine et durant le test papier - crayon : ils font le test de façon linéaire, le nombre d'exercices traités est du même ordre de grandeur.
Comme nous l'avions prévu, la saisie des expressions algébriques a posé des problèmes aux élèves sans toutefois les empêcher d'en écrire.
Certains exercices peu traités sur le test papier - crayon l'ont été davantage sur PÉPITEST, en particulier l'exercice des programmes de calcul (l'exercice 14 avec la palette de termes, cf. Figure 2-16) qui « débloque » certains élèves en présentant les termes à utiliser. Nous n'avons pas constaté le phénomène inverse, c'est-à-dire qu'aucun exercice n'a été moins traité avec PÉPITEST que dans le test papier - crayon.
Des études de cas indiquent que les productions sur les exercices de mathématisation sont similaires, les élèves ont donc réussi à produire des justifications avec PÉPITEST, telles qu'ils les donnent habituellement en environnement papier – crayon. De plus, selon les didacticiens, dans certains exercices, PÉPITEST a déstabilisé certains élèves, mettant ainsi en relief les comportements que le diagnostic cherche à identifier.

Concernant la construction manuelle des profils

Sur les productions analysées, la didacticienne a pu appliquer la grille d'analyse et obtenir des profils cognitifs validés par l'enseignante de la classe. Ceci montre, d'une part, que les observables sont suffisamment complets pour établir le diagnostic, et d'autre part, que ces observables sont fiables et correspondent aux connaissances et compétences que l'enseignante attribue aux élèves.

Ces différents résultats ont conduit à la modification de nombreux points de conception, implantés dans la version suivante de PÉPITEST, expérimentée en juin 1997.

b) Les expérimentations de juin 1997

Une série d'expérimentations a eu lieu en juin 1997 (ces expérimentations correspondent aux expérimentations 2 et 2bis et la version de PÉPITEST, au prototype 2.2, dans notre cycle de conception et d'évaluation du test donné en Figure 2-8). Elle a été conduite, dans le cadre de leur mémoire, par deux étudiants de DEA de didactique des mathématiques également enseignants en mathématiques, Brigitte HASQUENOPH-BERNOU et Saïd IAMARÈNE.

♦ **Les objectifs**

L'objectif de ces expérimentations était pour nous de confirmer les hypothèses faites à la suite de la première expérimentation.
Brigitte HASQUENOPH-BERNOU a étudié les effets du transfert des tâches, ainsi que le rôle du brouillon dans le test [HASQUENOPH-BERNOU, 1998].
Saïd IAMARÈNE, lui, a plus particulièrement étudié la possibilité de faire un diagnostic à partir des productions issues de PÉPITEST [IAMARÈNE, 1998].

♦ **Les conditions d'expérimentation**

Les expérimentations ont été faites par Brigitte HASQUENOPH-BERNOU et Saïd IAMARÈNE dans leurs classes respectives.
– Le 5 juin 1997 avec 22 élèves d'une classe de seconde du Lycée SAINTE THÉRÈSE d'OZOIR-LA-FERRIÈRE. La moitié des élèves disposaient uniquement de PÉPITEST, les autres pouvaient utiliser un brouillon papier. Les groupes étaient constitués d'élèves de différents niveaux en algèbre et de différents niveaux de familiarisation avec l'informatique.
– Le 20 juin 1997 avec 6 élèves d'une classe de troisième du Collège SAINTE THÉRÈSE d'OZOIR-LA-FERRIÈRE.
– Du 6 au 23 juin 1998 avec 15 élèves d'une classe de troisième du Collège RAYMOND POINCARÉ de la COURNEUVE.

♦ **La présentation de l'expérimentation aux élèves**

Le test a été présenté aux élèves comme expérimentation d'un logiciel, à laquelle seuls les volontaires participeraient. Les fonctionnalités de PÉPITEST ont été présentées en classe pour tous les élèves (avec des copies d'écran sur transparents, pour les élèves d'OZOIR-LA-FERRIÈRE).

♦ **Les observateurs**

Dans cette série d'expérimentations, les observations ont été faites uniquement par Brigitte HASQUENOPH-BERNOU et Saïd IAMARÈNE.

♦ **Les données recueillies**

Les données recueillies étaient du même type que celles recueillies lors de l'expérimentation d'octobre 1996.

♦ **Les résultats**

Concernant le transfert des tâches

Les travaux de Brigitte HASQUENOPH-BERNOU [HASQUENOPH-BERNOU, 1998] ont confirmé que le transfert ne perturbe globalement pas le test. Ils confirment également toutefois que la syntaxe spécifique utilisée pour l'écriture des expressions algébriques gêne les élèves, ce qui nous conforte dans l'idée que l'intégration d'un éditeur spécifique à PÉPITEST est nécessaire.
Il semble par ailleurs que certains élèves ont des difficultés à s'approprier les schémas, ce qui a des répercussions sur les tâches de conversions à partir du registre des représentations graphiques. Brigitte HASQUENOPH-BERNOU a également observé des difficultés sur les tâches de conversions à partir du langage naturel, elle attribue ces problèmes à des difficultés de maniement du curseur.

Concernant le rôle du brouillon

En ce qui concerne l'utilisation du brouillon, il apparaît que les élèves utilisent différemment le brouillon papier et le brouillon électronique : le brouillon papier permet à l'élève d'exprimer ses hésitations ou ses réflexions selon des représentations personnelles, qui ne peuvent être présentées en dehors du contexte du brouillon ; le brouillon électronique, lui, plus officiel, n'est utilisé que pour des calculs ou des réflexions aboutis.

Concernant la qualité des observables et la faisabilité du diagnostic

Quant à Saïd IAMARÈNE, il conclue que le transfert n'entraîne pas de dégradation des observables et que le diagnostic est faisable. Il confirme également que la déstabilisation due au travail sur ordinateur révèle chez certains élèves des comportements habituellement imperceptibles (du type de ceux présentés dans la Figure 2-34 page 89).

c) Les expérimentations de juin 1999

Les expérimentations de juin 1999 correspondent à l'expérimentation 3 dans notre cycle de conception et d'évaluation du test de la Figure 2-8. Quant à PÉPITEST, il s'agit de la version 3.

♦ **Les objectifs**

Ces expérimentations avaient pour objectif de :
– tester le logiciel avec des enseignants non impliqués dans le projet,
– recueillir un corpus pour la nouvelle version de PÉPITEST,
– tester le temps nécessaire aux élèves pour effectuer le test avec cette version de PÉPITEST afin éventuellement d'affiner le nombre de questions en vue d'expérimentations ultérieures,
– pour certaines questions nouvelles, tester l'utilisabilité,
– évaluer l'intérêt d'écrans de présentation avant la passation du test (comparaison du nombre de questions, du temps de prise en main, du temps passé par exercice selon que les élèves disposent ou non des écrans de présentation),
– construire automatiquement les profils pour voir s'ils correspondent au jugement de l'enseignant sur les élèves.

♦ **Les conditions d'expérimentation**

L'expérimentation a été faite dans deux classes de troisième du Collège VIEUX COLOMBIER au MANS, le lundi 14 juin 1999 de 8h00 à 9h45 environ, avec 10 élèves, puis le lundi 21 juin, dans les mêmes conditions, avec 7 élèves.
Les élèves étaient répartis sur deux salles disposant de 10 ordinateurs au total (8 postes dans une salle et 2 autres dans la salle voisine). Les élèves disposaient d'un poste chacun.
Tous les élèves avaient déjà utilisé un ordinateur, la plupart semblaient tout à fait à l'aise avec cet outil. Ceci s'explique par le fait que l'utilisation des ordinateurs est chose très courante dans ce collège. Contrairement aux élèves de l'expérimentation d'octobre 1996, les élèves de ce collège ne s'attendaient pas à « faire de l'informatique », mais savaient bien qu'il s'agissait de « faire des mathématiques ». La période de deux ans qui sépare ces deux expérimentations, ainsi que la forte implantation des nouvelles technologies dans ce collège, expliquent cette évolution.

Le module de présentation

Lors de l'expérimentation du 21 juin, PÉPITEST était précédé d'un module de présentation composé de 7 écrans présentant brièvement les différentes fonctionnalités de PÉPITEST.

♦ **La présentation de l'expérimentation aux élèves**

L'expérimentation avait été présentée aux élèves par l'enseignante, Annette GRAVIER, comme une occasion pour eux de faire des révisions pour le brevet des collèges qu'ils allaient passer quelques jours plus tard. Seuls les élèves volontaires faisaient le test.
Aucune consigne particulière n'a été donnée aux élèves.

♦ **Les observateurs**

Les observateurs, uniquement des informaticiens, étaient trois lors de l'expérimentation du 14 juin (Stéphanie JEAN, ainsi que deux étudiants du DEA Communication Homme / Machine & Ingénierie Éducative, Jérémy PROVOST et Xavier PAVARD), ils étaient deux (Élisabeth DELOZANNE et Pierre JACOBONI) lors de l'expérimentation du 21 juin.

♦ **Les données recueillies**

Les données recueillies étaient du même type que celles recueillies lors des expérimentations précédentes. En plus de la trace, un fichier mémorisait le contenu du cahier de brouillon de PÉPITEST, utilisation après utilisation.

♦ **Les résultats**

Concernant nos premiers objectifs

L'utilisation du logiciel dans une classe où l'enseignant n'est pas impliqué dans le projet n'a pas posé de problème particulier.
L'expérimentation a permis de constituer un corpus pour la dernière version de PÉPITEST, nous permettant de tester PÉPIDIAG.
Concernant le temps nécessaire pour passer le test, même si tous les élèves n'ont pas réussi à faire tous les exercices pendant le temps impartis, les résultats sont satisfaisants.

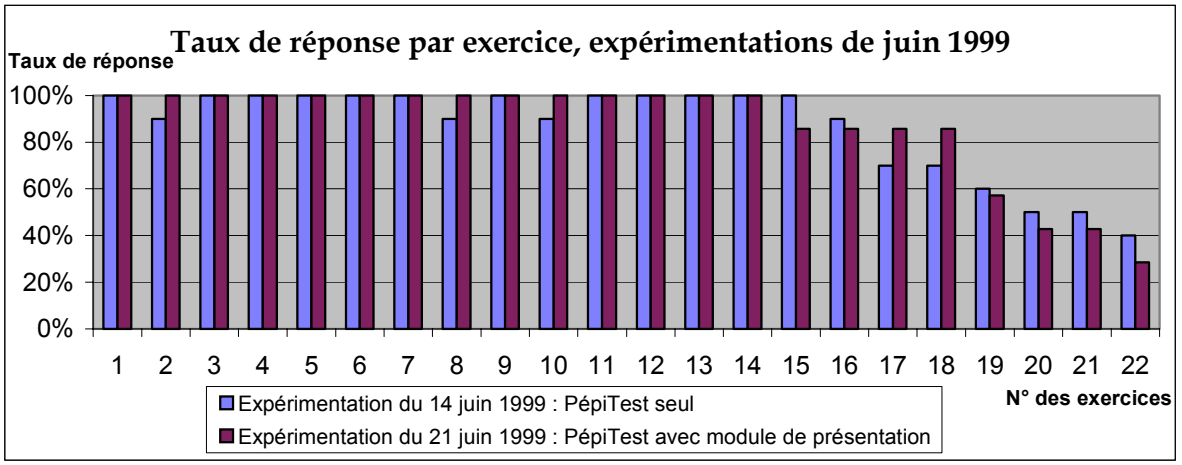


Figure 2-37 : Taux de réponse par exercice.

Comme le montre la Figure 2-37, presque tous les élèves ont fait les 15 premiers exercices. Globalement, 87 % des exercices ont été faits, alors qu'ils n'étaient que 63 % lors de l'expérimentation d'octobre 1996.

Concernant l'utilisabilité

Les résultats sont très positifs. Il y a eu peu de questions concernant l'utilisation du logiciel (elles concernaient principalement l'écriture d'expressions algébriques, il y a eu également des problèmes pour le glisser - déplacer, dont certains étaient dus au mauvais fonctionnement des souris).

La prise en main s'est faite au fur et à mesure des exercices. Le guidage mis en place (structuration de l'écran, curseurs, bulles d'aide, ordre des exercices) a très bien fonctionné.

Les temps passés par exercice sont très raisonnables, on ne peut identifier aucun pic de temps lié à des difficultés de prise en main (cf. Figure 2-38).

Concernant le module de présentation

Tout d'abord, le module de présentation a été peu apprécié et jugé ennuyeux par les élèves. Mais surtout, les élèves qui disposaient de ce module de présentation n'ont pas posé moins de questions sur l'utilisation de PÉPITEST que les autres élèves, contrairement à ce que nous attendions. On trouve même plutôt la tendance inverse. Par ailleurs, aucune différence significative de temps passé par exercice entre le groupe disposant de la présentation (expérimentation du 21 juin) et celui ne disposant pas de la présentation (expérimentation du 14 juin) n'a pu être constatée, il n'y a en tout cas pas eu de baisse du temps passé sur les premiers exercices comme le montre la figure ci-dessous. Les élèves ayant suivi le module de présentation ont même passé un peu plus de temps que les autres sur les trois premiers exercices. Ces différents points semblent indiquer que ce module est inutile, ne permettant pas une prise en main plus rapide de PÉPITEST.

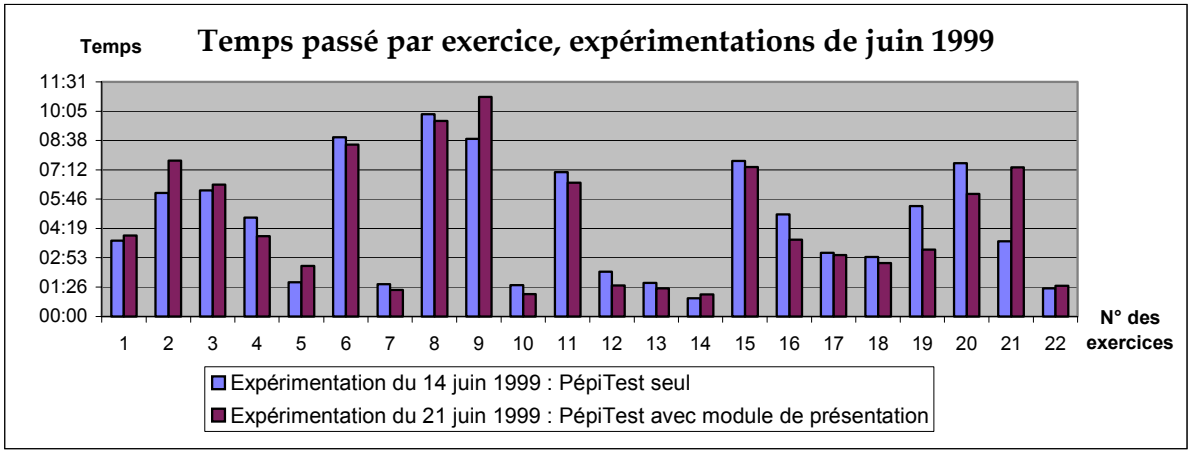


Figure 2-38 : Temps passé par exercice.

Concernant la construction des profils

La construction automatique des profils a été possible. Une partie des profils (correspondants aux élèves dont l'enseignante souhaitait voir les profils en priorité) a été présentée à l'enseignante de la classe, qui les a approuvés.

2.6.4. RÉSULTATS CONCERNANT PÉPITEST

PÉPITEST est entièrement réalisé, il a été expérimenté à plusieurs reprises. Les résultats obtenus sont très satisfaisants, aussi bien au niveau du respect des critères de validation, qu'au niveau de l'utilisabilité de l'interface.
Les différentes expérimentations ont en effet d'une part, permis de valider l'interface, d'autre part, elles ont montré qu'il n'y a pas de réduction du spectre des réponses (on retrouve tous les types de réponses prévus dans l'analyse a priori) et que les observables fournis par PÉPITEST sont suffisamment riches et fiables pour permettre le diagnostic.

2.7. BILAN

Nous considérons que le recueil des observables est une étape cruciale de la modélisation des compétences. Pour cette raison, nous avons porté un soin particulier à la conception de l'interface du logiciel élève. Nous avons tout d'abord travaillé avec des didacticiens, des enseignants, mais également des élèves, en appliquant notre méthode de conception différenciée. Nous avons ensuite caractérisé le transfert qui intervient lorsqu'on informatise un test papier – crayon, en particulier en définissant les règles à suivre lors d'un transfert et pour la conception d'un éditeur d'expressions algébriques. Nous avons enfin conçu des exercices qui facilitent le recueil des observables, et même parfois le diagnostic. Ce dernier point confirme le rôle important que peut jouer l'interface dans un dispositif de diagnostic.

CHAPITRE 3

~

LE DIAGNOSTIC

PLAN DU CHAPITRE

3.1. INTRODUCTION 113

3.2. LE DIAGNOSTIC EN EIAO 113

3.2.1. DIAGNOSTIC COMPORTEMENTAL / DIAGNOSTIC COGNITIF 113

a) Le diagnostic comportemental 114

b) Le diagnostic cognitif 114

c) Diagnostic comportemental vs diagnostic cognitif 114

3.2.2. TECHNIQUES DE DIAGNOSTIC 114

a) Les modèles d'expertise partielle 114

b) Les bibliothèques d'erreurs 115

c) La reconnaissance de plans 115

d) Le diagnostic par points clés 115

e) Le diagnostic à base de règles 116

3.2.3. LE DIAGNOSTIC DANS PÉPITE 116

3.3. DESCRIPTION DE PÉPIDIAG 116

3.3.1. LE DIAGNOSTIC 116

3.3.2. LA MATRICE DE DIAGNOSTIC 117

3.4. LES DIFFÉRENTS TYPES D'ANALYSE 118

3.4.1. LES RÉPONSES AUX QUESTIONS FERMÉES 119

3.4.2. LES RÉPONSES AUX QUESTIONS OUVERTES 120

a) Les productions en langage naturel 120

b) Les productions en langage naturel, le cas de l'exercice 11 121

c) Les productions sous forme d'expressions algébriques 123

d) Les productions en langage « informathurel » 128

3.4.3. BILAN SUR LE FONCTIONNEMENT DE PÉPIDIAG 136

3.5. ÉVALUATION DE PÉPIDIAG 137

3.5.1. LE CRITÈRE DE VALIDATION 137

3.5.2. L'ÉVALUATION EFFECTUÉE 138

3.5.3. LES RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION 138

3.6. BILAN 139

3.1. INTRODUCTION

Deuxième module de PÉPITE, PÉPIDIAG est le module qui analyse les observables fournis par PÉPITEST. Il prend en entrée les fichiers texte contenant les réponses des élèves aux différentes questions. Ces données sont interprétées selon la grille d'analyse des tâches, résultat de l'analyse didactique a priori.
La complexité du problème provient d'une part, du nombre et de la diversité des dimensions d'analyse, et d'autre part, de la très grande hétérogénéité des données. En effet, l'objectif initial de prendre en compte la compétence algébrique dans son ensemble, nous impose de permettre aux élèves une grande diversité de réponses : réponses en langage naturel, sous forme d'expressions algébriques ou mélangeant langage naturel et langage mathématique. Pour cette raison, nous ne pouvons nous limiter à l'analyse de réponses préformées, comme le font la plupart des systèmes actuels.
De plus, les éléments à analyser sont de natures très différentes et nécessitent des techniques et des approches diverses, allant de l'analyse de réponses à des questions fermées, au traitement du langage naturel en passant par des représentations informatiques d'expressions algébriques adaptées à notre problème.
Rappelons que nous avons adopté une méthode de conception incrémentale pour PÉPIDIAG, afin de tester progressivement les différentes techniques de diagnostic mises en œuvre.

Dans ce chapitre, nous présentons différentes techniques de diagnostic utilisées en EIAO. Nous donnons ensuite une description du fonctionnement du module de diagnostic, avant de présenter la validation de PÉPIDIAG. Enfin, dans la conclusion, nous présentons les résultats et les limites de ce module, ainsi que les apports de notre travail du point de vue du diagnostic de compétences.

3.2. LE DIAGNOSTIC EN EIAO

En EIAO, le diagnostic est le module qui permet de rendre compte et / ou de comprendre ce qu'a fait l'élève. Dans cette section, nous présentons tout d'abord la distinction qui a été introduite par Étienne WENGER, entre diagnostic comportemental et diagnostic cognitif [WENGER, 1987]. Cette distinction explique l'existence de différentes techniques de diagnostic. nous exposons plusieurs de ces techniques. Nous concluons en présentant l'approche que nous avons adoptée pour le diagnostic de PÉPITE.

3.2.1. DIAGNOSTIC COMPORTEMENTAL / DIAGNOSTIC COGNITIF

WENGER a introduit une distinction entre diagnostic comportemental, diagnostic cognitif et diagnostic individuel [WENGER, 1987]. Nous nous arrêterons ici aux notions de diagnostic comportemental et de diagnostic cognitif.

a) Le diagnostic comportemental

Le diagnostic comportemental porte sur le comportement de l'apprenant dans l'utilisation du logiciel observé par le logiciel lui-même. Le diagnostic est effectué en étudiant les actions de l'apprenant à l'interface.
Christophe DESPRÉS, dans son travail sur ROBOTEACH, revendique l'appartenance à ce type de diagnostic : le système analyse les comportements des apprenants lors d'une session dans le but de mettre en évidence des comportements critiques et de les transmettre à l'enseignant [DESPRÉS & LEROUX, 1997].

b) Le diagnostic cognitif

Le diagnostic cognitif, ou diagnostic des connaissances, cherche à identifier les connaissances des apprenants, portées dans un modèle de l'apprenant.
Prenons comme exemple, dans le domaine de l'algèbre, un système que nous avons présenté du point de vue de son interface dans le chapitre précédent : APLUSIX. Dans APLUSIX, le diagnostic porte sur quelques connaissances opératoires (l'appariement pour l'application des règles de transformation et les stratégies utilisées pour le choix des transformations appliquées).

c) Diagnostic comportemental vs diagnostic cognitif

Pour résumer, le diagnostic comportemental cherche à identifier des comportements particuliers, tandis que le diagnostic cognitif cherche à interpréter ces comportements pour identifier des connaissances. Le choix entre ces deux types de diagnostic dépend de l'arbitrage qui est fait entre les données disponibles et le degré d'abstraction désiré concernant le résultat du diagnostic.
Dans PÉPITE, le diagnostic est cognitif, il permet d'identifier les compétences et connaissances des élèves en interprétant les observables.

3.2.2. TECHNIQUES DE DIAGNOSTIC

Nous présentons ici plusieurs des techniques de diagnostic utilisées couramment en EIAO.

a) Les modèles d'expertise partielle

Dans le modèle de l'expertise partielle, les connaissances de l'apprenant (en foncé sur la Figure 3-1) sont considérées comme étant un sous-ensemble des connaissances de l'expert (en clair sur la Figure 3-1). L'expertise est pour cela découpée en unités de base. Le système cherche alors à identifier lesquelles de ces unités de base sont connues de l'élève.



Figure 3-1 : Le modèle de l'expertise partielle et le modèle différentiel.

Ce modèle est adapté aux domaines pour lesquels les connaissances sont divisibles en unités élémentaires. Mais l'hypothèse de départ, identifiant les connaissances des élèves en termes présence / absence de connaissances, est simpliste, elle ne prend en compte ni la notion de conception erronée, ni les différences qui distinguent connaissances des élèves et connaissances de l'expert. Le modèle ne peut s'appliquer que dans les cas où il y a peu de différences entre ces deux types de connaissances.
Ces limites sont en partie levées dans certains systèmes, en intégrant la notion de connaissance incorrecte, ou, dans les modèles différentiels, en introduisant entre la connaissance de l'expert et à la connaissance de l'apprenant, une connaissance intermédiaire, la connaissance attendue par rapport à un niveau d'enseignement (cf. deuxième partie de la Figure 3-1).
PÉPITE ne peut pas adopter une modélisation en expertise partielle, dans la mesure où les connaissances des élèves ne sont pas une sous-partie des connaissances de l'expert ou des connaissances attendues, il s'agit de connaissances différentes.

b) Les bibliothèques d'erreurs

Le diagnostic à base de bibliothèques d'erreurs cherche à lever les limites soulevées par les modèles de type expertise partielle. Le principe est d'identifier des erreurs dans les productions des apprenants, en se référant à une liste d'erreurs répertoriées.
Cette méthode est adaptée aux domaines où il est possible d'identifier de façon exhaustive les erreurs faites par les apprenants. Le travail d'identification des erreurs est particulièrement lourd et doit être répété lors d'un changement de domaine.
Dans PÉPITE, certains modes de fonctionnement correspondent à la détection dans le comportement de l'élève, d'erreurs identifiées (par exemple l'identification de l'utilisation de règles fausses). D'autres dimensions d'analyse ne peuvent se limiter à la détection d'erreurs (comme la composante *type de justification*, qui cherche à identifier la démarche utilisée par l'élève pour prouver).

c) La reconnaissance de plans

La reconnaissance de plan vise à identifier dans les productions des apprenants, une séquence d'actions, quelles soient correctes ou non, à laquelle il est possible d'identifier un but.
Cette méthode, adaptée pour l'identification de démonstrations, est applicable lorsque l'on dispose de toutes les étapes du raisonnement de l'élève.
Dans PÉPITE, cette méthode pourrait être utilisée dans l'analyse des calculs ou des justifications. Toutefois, les réponses des élèves n'étant pas contraintes, PÉPITEST ne peut garantir que le fichier de productions comporte toutes les étapes du raisonnement de l'élève.

d) Le diagnostic par points clés

Le diagnostic par points clés chercher à identifier dans les productions de l'apprenant, non pas toutes les étapes d'une résolution, mais les étapes importantes de la démarche de

l'apprenant. Applicable dans plusieurs domaines, cette méthode nécessite cependant une description complète des concepts à identifier.
Cette méthode semble plus facilement applicable à PÉPITE pour l'analyse des calculs que la méthode précédente. Cependant, elle ne pourrait s'appliquer que dans les cas où PÉPIDIAG cherche à identifier la démarche de résolution de l'élève.

e) Le diagnostic à base de règles

Le diagnostic à base de règles analyse le fonctionnement de l'apprenant, en appliquant à ses productions, des règles qui représentent les connaissances. Ces règles peuvent intégrer des coefficients de certitude qui correspondent à une évaluation, faite par le système, de la croyance de l'élève dans la connaissance la règle. Cette technique s'appuie sur une hypothèse forte selon laquelle les connaissances mises en jeu peuvent être représentées sous forme de règles.
Dans PÉPITE, seuls certains éléments à identifier peuvent être déterminés sous forme de règles.

3.2.3. LE DIAGNOSTIC DANS PÉPITE

Le diagnostic dans PÉPITE est un diagnostic cognitif établi à partir de l'étude du comportement de l'élève selon la grille d'analyse didactique a priori. Étant donné la diversité des réponses à analyser et des éléments à identifier, aucune des méthodes présentées dans la section précédente n'est réellement satisfaisante. Nous faisons le choix de montrer, dans un premier temps, la faisabilité de l'entreprise en proposant un diagnostic ad hoc : pour chaque réponse, PÉPIDIAG cherche à associer la réponse de l'élève à un comportement attendu (déterminé par l'analyse a priori) en appliquant un certain nombre de règles.

3.3. DESCRIPTION DE PÉPIDIAG

Le diagnostic est réalisé dans PÉPITE par PÉPIDIAG, le module qui analyse les productions des élèves issues de PÉPITEST en complétant la matrice de diagnostic.

3.3.1. LE DIAGNOSTIC

Dans PÉPITE, nous ne cherchons pas à modéliser le raisonnement de l'expert dans sa tâche de diagnostic des connaissances des élèves, mais à opérationnaliser le diagnostic en recueillant et en procéduralisant l'expertise didactique. Pour le module de diagnostic, notre questionnement initial comporte deux points principaux : tout d'abord, est-il possible d'expliciter l'expertise didactique de diagnostic ? Ensuite, étant donné la diversité des réponses des élèves et la diversité des éléments à identifier dans le diagnostic, est-il possible d'analyser automatiquement les productions d'élèves ? Rappelons en effet que pour des raisons didactiques, le diagnostic ne peut se limiter à l'analyse de questionnaires à choix multiples, ou de réponses préformées, il doit permettre l'analyse de réponses ouvertes. À la diversité des réponses proposées par les élèves, nous répondons en proposant différents

types d'analyse adaptés aux différents types de réponses d'élèves : réponses en langage naturel, réponses sous forme d'expressions algébriques, réponses combinant langage naturel et expressions algébrique. C'est cette distinction que nous utiliserons dans la section consacrée à la présentation des méthodes d'analyse employées dans PÉPIDIAG.

À chaque question correspond un ensemble de composantes étudiées (parmi les six composantes de l'analyse : traitement, utilisation des lettres, calcul algébrique, conversion, type de justification et connaissances numériques), donné par l'analyse a priori. Pour chaque composante, PÉPIDIAG doit identifier les modes de fonctionnement mis en œuvre par l'élève. L'analyse de la tâche donne, pour chaque question, la liste des réponses généralement proposées par les élèves, ainsi que les modes de fonctionnement qui doivent y être associé. Dans aucun cas, PÉPIDIAG ne cherche à comprendre la réponse de l'élève, il cherche uniquement à identifier des éléments particuliers, déterminés a priori. Selon le type d'éléments à identifier, PÉPIDIAG utilise des méthodes de diagnostic différentes. PÉPIDIAG teste donc successivement plusieurs hypothèses sur le fonctionnement de l'élève. Ces hypothèses correspondent aux différentes réponses fréquemment rencontrées. Si aucune hypothèse n'est vérifiée, le fonctionnement de l'élève est considéré comme non identifié. Les fonctionnements non identifiés pourront ensuite être complétés par l'enseignant à l'aide de PÉPIPROFIL.

Le résultat du diagnostic est porté dans une matrice que nous appelons *matrice de diagnostic*. Les colonnes de la matrice représentent les questions, les lignes, les différents modes de fonctionnement étudiés.

3.3.2. LA MATRICE DE DIAGNOSTIC

La matrice de diagnostic comporte 55 lignes, ce qui correspond au nombre de questions dans PÉPITEST, et 40 colonnes correspondant aux modes de fonctionnement des 6 composantes étudiées (cf. Figure 3-2). Rappelons que le résultat du diagnostic est une description très fine du comportement de l'élève et n'est pas utilisable tel quel par les enseignants.

Dans la Figure 3-2, les colonnes de la matrice correspondent aux modes de fonctionnement pour les différentes composantes étudiées dans le test (par exemple, pour la composante *type de traitement*, T0 pour *absence de traitement*, T1 pour *traitement correct*, T2 pour *traitement correct partiel ou correct non attendu* et T3 pour *réponse incorrecte*). Les codes X? correspondent à des modes de fonctionnement non identifié par PÉPIDIAG dans la composante. Les lignes correspondent aux questions (1a pour exercice 1 question a…). Dans les cases, 0 indique un mode de fonctionnement possible dans la question, 1 indique que le mode de fonctionnement est mis en œuvre par l'élève dans la question. Les cases vides correspondent aux modes de fonctionnement non étudiés dans la question considérée.

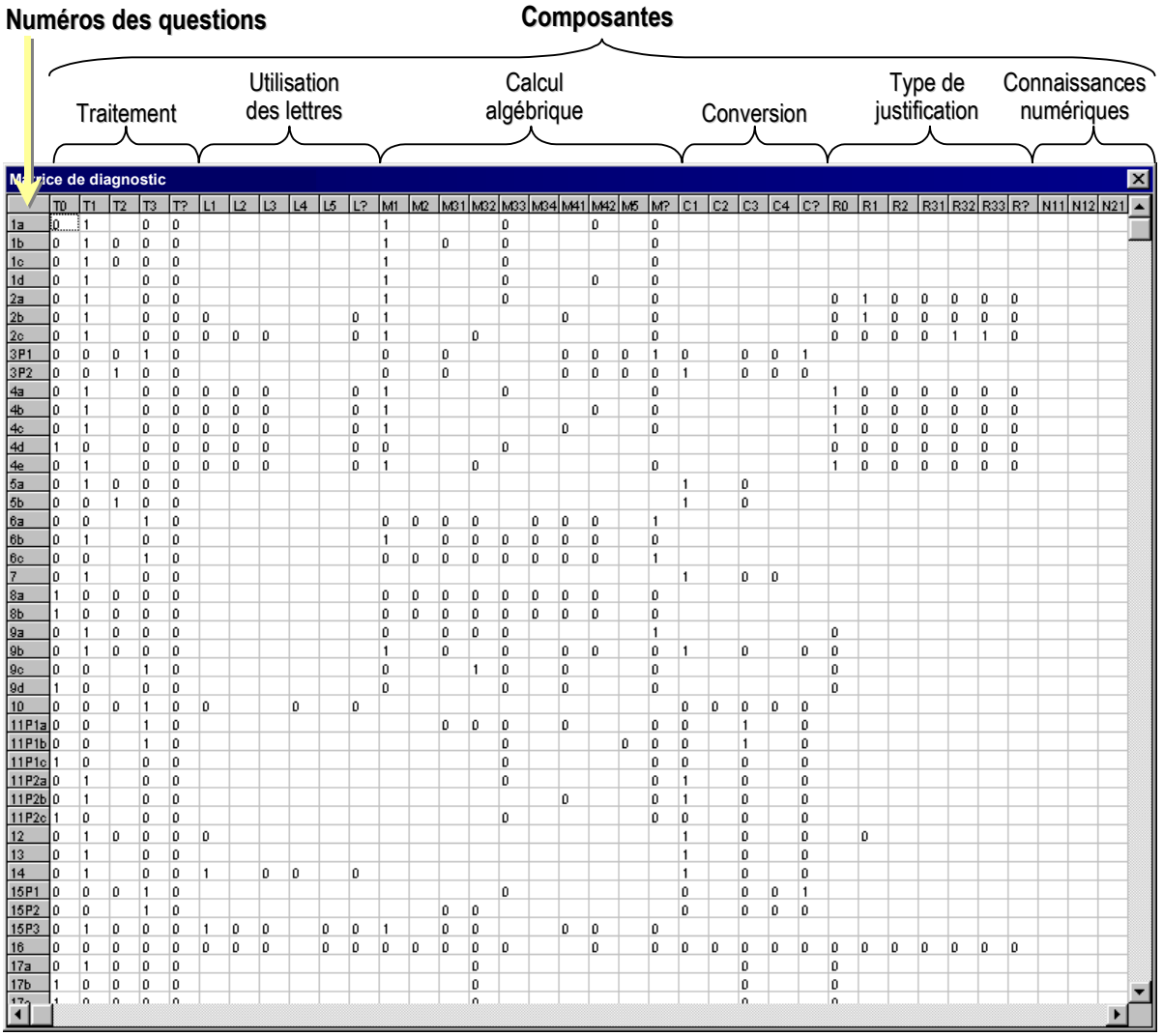


Figure 3-2 : La matrice de diagnostic.

3.4. LES DIFFÉRENTS TYPES D'ANALYSE

Les productions d'élèves issues de PÉPITEST que PÉPIDIAG analyse, comportent des réponses à des questions fermées et des réponses à des questions ouvertes. Ces dernières correspondent aux questions laissant l'élève libre de sa réponse.

Pour chaque type de formulation des réponses, les techniques d'analyse diffèrent. Nous détaillons dans cette section les techniques utilisées pour les quatre grands types de réponses à analyser dans PÉPIDIAG : les réponses aux questions fermées, les réponses en langage naturel, les réponses sous forme d'expressions algébriques et les réponses mixtes faisant intervenir du langage naturel et des expressions algébriques.

3.4.1. LES RÉPONSES AUX QUESTIONS FERMÉES

Nous regroupons sous l'appellation réponses aux questions fermées trois types de réponses :
– Les réponses binaires de types vrai / faux ou oui / non. Elles sont toujours complétées par des réponses ouvertes (par exemple l'élève indique s'il pense qu'une égalité est vraie ou fausse, puis justifie sa réponse, comme dans l'exercice présenté à la Figure 3-22).
– Les réponses aux questions à choix multiples ainsi que les réponses à sélectionner dans une liste. Dans certains exercices, la réponse comporte un seul élément (l'élève sélectionne une seule réponse), dans d'autres, la réponse peut comporter plusieurs éléments (cf. Figure 3-3 pour l'énoncé d'un exemple de QCM).

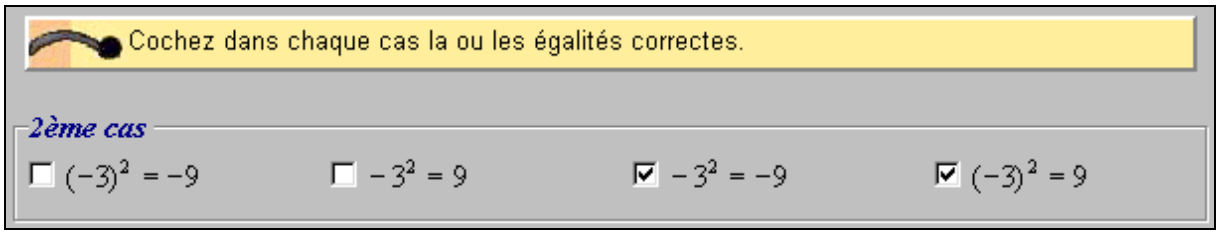


Figure 3-3 : Un exemple de QCM, la deuxième question de l'exercice 1.

– Les réponses préformées à ordonner. Ce cas est apparenté aux questions fermées car l'élève n'a pas de réponse à taper, il utilise les éléments qui lui sont proposés, non pas pour en choisir un (comme pour les QCM), mais pour former sa réponse en les ordonnant.

	Exemple de réponses	Type de traitement et modes de fonctionnement associés par l'analyse a priori	Codes associés
Solution correcte	$(-3)^2 = 9$ et $-3^2 = -9$	– Traitement correct – Bonne maîtrise des règles de transformation	T1 M1
Solution partielle	Une seule des deux égalités vraies est donnée en réponse	– Traitement correct partiel ou non attendu – Bonne maîtrise des règles de transformation	T2 M1
Solutions incorrectes	Écriture sans parenthèse avec mémoire $-3^2 = 9$	– Traitement incorrect – Règles de transformation non maîtrisées, mais identification correcte du rôle des opérateurs + et × (utilisation inadaptée des parenthèses qui conduit à un résultat correct)	T3 M31
	Écriture incorrecte $(-3)^2 = -9$	– Traitement incorrect – Règles de transformation non maîtrisées, mais identification correcte du rôle des opérateurs + et × (utilisation de règles de transformation fausses identifiées)	T3 M33
Absence de solution		– Absence de réponse	T0

Figure 3-4 : L'analyse a priori pour un QCM, un exemple : la deuxième question de l'exercice 1.

Pour les réponses aux questions fermées, l'analyse est assez simple puisque qu'à chaque réponse proposée à l'élève dans l'interface correspond un ensemble de modes de fonctionnement, fourni par l'analyse didactique a priori (la Figure 3-4 donne un exemple d'analyse a priori pour un QCM). L'analyse de PÉPIDIAG consiste donc à associer à chaque

réponse ou chaque ensemble de réponse, les cases de la matrice représentant les modes de fonctionnement mis en œuvre par l'élève.
Cette technique d'analyse permet d'obtenir un diagnostic fiable pour toutes les réponses aux questions fermées.

3.4.2. LES RÉPONSES AUX QUESTIONS OUVERTES

Nous distinguons trois types de réponses aux questions ouvertes : réponses en langage naturel, réponses sous forme d'expressions algébriques et réponses mixtes.
L'analyse de ces réponses commence par des pré-traitements communs aux différents types de productions.
Ces pré-traitements consistent en une normalisation des chaînes de caractères constituant la réponse de l'élève, utile quelle que soit l'analyse qui en sera ensuite faite. En effet, qu'il s'agisse de langage naturel ou d'expressions algébriques, une réponse, doit donner lieu à la même interprétation, que cette réponse soit donnée en caractères majuscules ou minuscules. Par conséquent, les caractères sont convertis en lettres majuscules, les espaces multiples sont supprimés et les caractères accentués sont remplacés par les caractères non accentués correspondants. L'analyse diffère ensuite selon le type de réponse.

a) Les productions en langage naturel

Les réponses en langage naturel sont celles pour lesquelles l'élève utilise uniquement des phrases, qui peuvent être correctes ou non, que ce soit du point de vue de la syntaxe et de l'orthographe ou du point de vue mathématique. Ce type de réponse concerne en fait peu de questions dans PÉPITEST : les réponses en langage exclusivement naturel, sans expressions algébriques, correspondent à certaines justifications, mais surtout à l'exercice 11, exercice particulier qui fait l'objet d'une explication détaillée dans la section suivante.
Dans les justifications, l'expression des élèves est entièrement libre et les corpus montrent une très grande diversité dans les réponses.

①	on a deux même valeurs a,on a deux puissances,ils faut donc les multipliers
②	il ne faut pas mutiplié les puissances
③	c'est faux car, les exposants ne se multiplient pas , ils s'additionnent.Donc a³ a²=a^6
④	a^[3] × a^[2] = a^[6]

Figure 3-5 : L'expression $a^3a^2 = a^6$ est-elle vraie ? : exemples de justifications d'élèves.

L'analyse des réponses exclusivement en langage naturel, effectuée par recherche de mots clés, dépend des questions. Il ne s'agit en effet pas de comprendre le sens de ce qui a été écrit, mais d'identifier les points particuliers étudiés dans l'exercice, donnés par l'analyse didactique a priori.
L'analyse des justifications consiste en grande partie à identifier le type de justification de l'élève : justification en langage naturel ou par l'algèbre (dans la Figure 3-5, les trois premières justifications sont faites en langage naturel, la dernière est sous forme algébrique). La réponse de l'élève est alors totalement libre. Dans le cas où l'élève justifie sa réponse en

langage naturel, il s'agit d'identifier s'il fait « appel au légal », c'est-à-dire s'il utilise des expressions telles que « il faut », « on doit », « c'est une règle fondamentale », etc. (dans les exemples donnés dans la Figure 3-5, les justifications ① et ② font appel au légal). Dans ce cas, comme dans le précédent, PÉPIDIAG procède par recherche de mots clés, il cherche à identifier la présence de termes particuliers déterminés à l'avance. Dans le cas de l'identification d'un appel au légal, PÉPIDIAG procède par correspondance de motifs, puisqu'il ne recherche pas toujours les mots entiers, mais parfois seulement une partie, laissant la place à des fautes de conjugaison.

L'utilisation de telles techniques permet d'obtenir un résultat fiable à condition d'exprimer toutes les possibilités et de tenir compte des variations possibles dans l'écriture des termes par les élèves. Cette méthode est adaptée à PÉPIDIAG dans la mesure où les réponses possibles sont en partie données dans l'analyse didactique a priori et qu'elles ne sont pas très longues. Les limites de l'analyse par mots clés sont connues [SABAH, 1989], elles sont de deux types. Il est d'une part évident qu'une telle technique demande une modification du programme en cas de changement de la question, même si dans notre cas une certaine généralisation est possible (l'identification d'un appel au légal reste par exemple valable quelle que soit la question). D'autre part, les choix faits pour permettre la prise en compte des erreurs possibles ne peuvent pas être exhaustifs, ils peuvent de plus introduire des erreurs de diagnostic. En effet, si PÉPIDIAG cherche à identifier une expression de type « il faut », il peut être souhaitable de rechercher uniquement « FAU » pour permettre l'identification de « il faudrait » ou de « il faut » avec une faute de conjugaison. Dans ce cas, une justification commençant par « C'est faux, parce que » (comme la justification ③ de la Figure 3-5) serait identifiée comme faisant appel au légal sans que ce soit effectivement le cas. La solution serait que PÉPIDIAG fasse appel à un module de traitement automatique du langage naturel (TALN) robuste aux fautes de frappes et d'orthographe, les systèmes classiques de TALN travaillant à partir de phrases linguistiquement correctes. Une telle solution n'a pas été mise en œuvre en raison du coût qu'elle aurait entraîné par rapport au peu de questions concernées.

Nous avons utilisé ces méthodes « élémentaires » afin de montrer la faisabilité du diagnostic et d'obtenir des corpus de réponses d'élèves dans des délais raisonnables. Il ne s'agit toutefois pas d'une mise en œuvre définitive, nous souhaitons faire évoluer ces techniques pour obtenir un diagnostic à la fois plus fiable et plus facilement généralisable. Cette mise en œuvre permet cependant d'obtenir dès maintenant des informations intéressantes sur le fonctionnement des élèves.

b) Les productions en langage naturel, le cas de l'exercice 11

L'exercice 11 demande à l'élève d'écrire une phrase correspondant à chaque étape d'un programme de calcul donné (cf. Figure 3-6). Dans cet exercice, le langage naturel est contraint, puisqu'il passe principalement par l'utilisation de termes préformés proposés à l'interface (l'élève peut cependant taper du texte librement en complément), ce qui incite les élèves à utiliser un lexique restreint et des tournures prédéfinies.

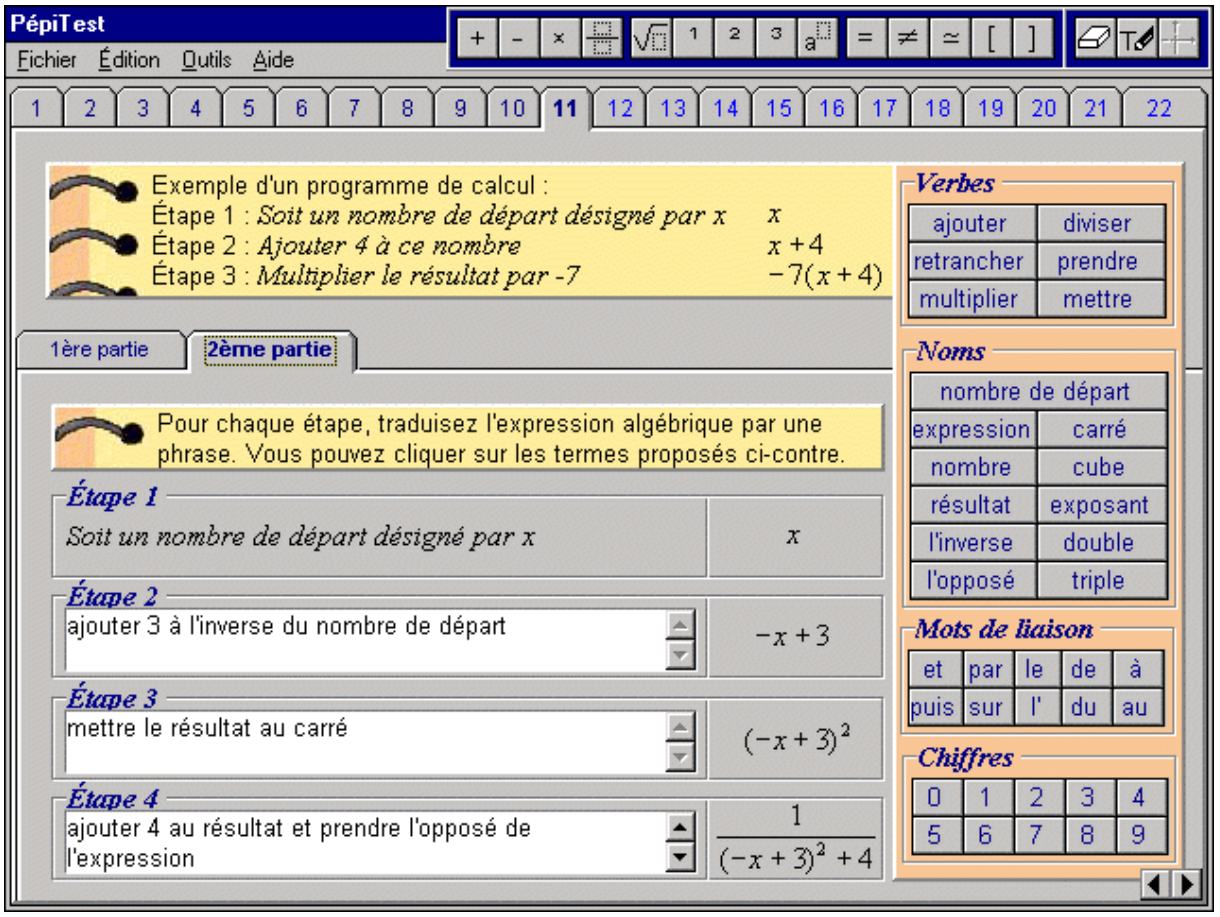


Figure 3-6 : Exercice donnant lieu à des réponses en langage naturel, la réponse d'Amandine.

	Exemple de réponses	Type de traitement et modes de fonctionnement associés par l'analyse a priori	Codes associés
Solution correcte	« Ajouter 3 à l'opposé du nombre »	– Traitement correct – Conversion correcte	T1 C1
Solutions incorrectes	« Retrancher 3 à x »	– Traitement incorrect – Conversion incorrecte – Règles de transformation non maîtrisées, mais identification correcte du rôle des opérateurs + et × (utilisation de règles de transformation fausses identifiées)	T3 C3 M33
	« Ajouter 3 à l'inverse de x »	– Traitement incorrect – Conversion incorrecte – Règles de transformation non maîtrisées, mais identification correcte du rôle des opérateurs + et × (utilisation de règles de transformation fausses identifiées)	T3 C3 M33
	« Ajouter 3 et prendre l'opposé» Confusion dans l'ordre des opérations	– Traitement incorrect – Conversion incorrecte – Règles de transformation non maîtrisées, mais identification correcte du rôle des opérateurs + et × (utilisation de règles de transformation fausses identifiées)	T3 C3 M33
Absence de solution		– Absence de réponse	T0

Figure 3-7 : L'analyse a priori pour une réponse en langage naturel, un exemple, l'étape 2 de l'exercice 11.

Dans cet exercice, il s'agit d'identifier l'ordre des opérations faites par l'élève ainsi que l'utilisation du terme inverse ou opposé. Dans l'exemple proposé, l'ordre des opérations est respecté (ajouter 3 à l'inverse), mais l'élève utilise le terme d'inverse au lieu d'opposé (deuxième cas des réponses incorrectes dans l'analyse a priori, cf. Figure 3-7). Cet exercice est un peu particulier puisqu'il propose une palette de termes permettant de construire les réponses. Ce dispositif a été mis en œuvre pour faciliter le diagnostic en limitant les erreurs de frappe et d'orthographe des élèves. Il s'agit dans ce cas d'analyser un langage naturel contraint. L'analyse de cette question donne de très bons résultats.

c) Les productions sous forme d'expressions algébriques

De nombreuses productions sont sous forme d'expressions algébriques, elles correspondent aux exercices pour lesquels la réponse de l'élève est le résultat de calculs, comme pour l'exercice 12 présenté dans la Figure 3-8.

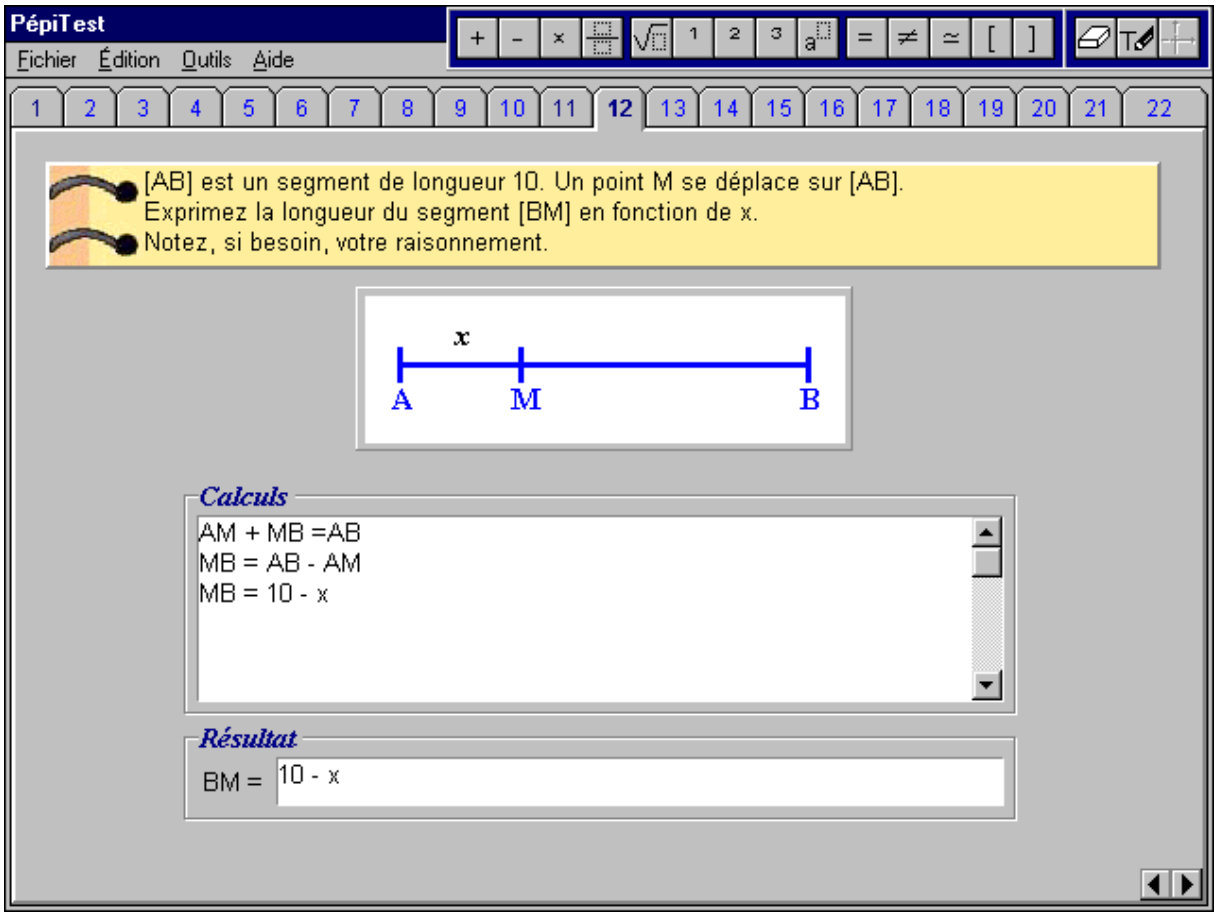


Figure 3-8 : Exercice donnant lieu à des réponses sous forme d'expressions algébriques, la réponse de Céline.

	Exemple de réponses	Type de traitement et modes de fonctionnement associés par l'analyse a priori	Codes associés
Solution correcte	AM + BM = 10 (écrit ou non) d'où BM = 10 - x	– Traitement correct – Conversion correcte	T1 C1
Solution partielle	AM + MB = AB x + MB = AB MB = AB-x	– Traitement correct partiel ou non attendu – Conversion correcte	T2 C1
Solutions incorrectes	Autres réponses	– Traitement correct – Conversion incorrecte	T3 C3
Absence de solution		– Absence de réponse	T0

Figure 3-9 : L'analyse a priori pour une réponse sous forme d'expressions algébriques, un exemple, l'exercice 12.

L'analyse de ces réponses commence par des pré-traitements sur les expressions algébriques (cf. ① Figure 3-10), les expressions sont ensuite représentées sous forme d'arbres d'expression (②). Les arbres sont normalisés (③) avant d'être comparés (④) aux arbres normalisés correspondant aux réponses attendues données par l'analyse a priori (cf. ❶ et ❷ Figure 3-10).

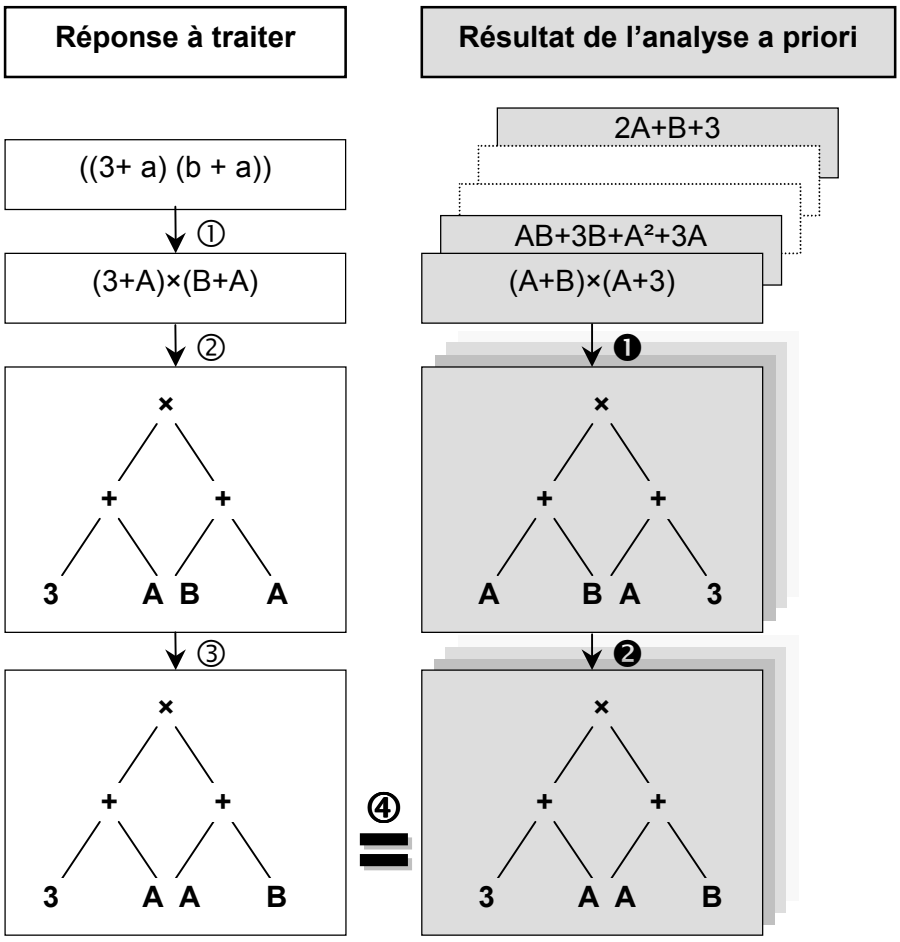


Figure 3-10 : Les étapes de l'analyse d'une réponse (fictive) sous forme d'expression algébrique.

♦ **Pré-traitements sur les expressions algébriques**

Les pré-traitements sur les expressions algébriques permettent de travailler sur des expressions sans caractères inutiles et sans implicites.

Ils consistent en une suppression de tous les espaces (a + b, doit être analysé de la même façon que a+b), ainsi que des parenthèses et crochets inutiles. Sont considérés comme inutiles les parenthèses ou crochets redondants sur une expression correctement parenthésée, par exemple l'expression ((a+b)) sera remplacée par (a+b), le dernier niveau de parenthèses étant conservé pour ne pas dénaturer la réponse de l'élève.

Le système procède ensuite à une « normalisation » de la représentation de l'expression en homogénéisant la représentation des opérateurs (en remplaçant par exemple ² par ^2, pour que le cas particulier d'exposant 2 soit écrit de la même façon que le cas général a^n, dont la représentation interne est a^n, cf. Figure 2.22 dans le chapitre 2). Lors de cette phase, des signes multipliés sont également ajoutés dans les cas où ce signe est implicite (ab est remplacé par a×b, (a+b)(a-b) par (a+b)×(a-b)). Enfin, le système procède à un parenthésage pour les expressions contenant des signes moins et des racines carrées (a-5+b est remplacé par a+(-5)+b et Rac2 est remplacé par Rac(2)).

Remarquons que ces pré-traitements ne sont pas utilisés systématiquement. En effet, dans les exercices où PÉPIDIAG cherche à étudier l'utilisation des parenthèses par l'élève, la suppression des parenthèses inutiles ainsi que le parenthésage des expressions contenant des signes moins et des racines carrées seraient particulièrement malvenus.

♦ **Représentation des expressions sous forme d'arbres d'expression**

Les expressions algébriques sont représentées sous forme d'arbres binaires étiquetés dont les nœuds internes sont les opérateurs et les sous-arbres gauches et droits sont les opérandes. L'étiquette des feuilles contient les symboles de variables (a, b, x, y…) ou de constantes (1, 2…). Ces constantes peuvent être aussi bien positives que négatives. Les opérateurs sont donc les opérateurs binaires plus, multiplié, divisé, exposant, l'opérateur unaire racine carrée ainsi que les signes différent et égal qui sont également considérés comme des opérateurs puisqu'ils peuvent être nœuds internes. Seuls les arbres correspondant à des expressions ne comportant pas de racine carrée (seul opérateur unaire) sont localement complets. Le signe moins n'est pas considéré comme opérateur, puisque c'est la feuille qui porte le signe.

La construction d'un arbre à partir d'une expression algébrique se fait linéairement en respectant les priorités opératoires. Par exemple, pour construire l'arbre correspondant à l'expression (a+b)×2+7+(c+b), PÉPIDIAG commence par construire l'arbre correspondant à la sous-expression (a+b)×2, sont ensuite ajoutées une à une les sous-expressions +7 et +(c+b).

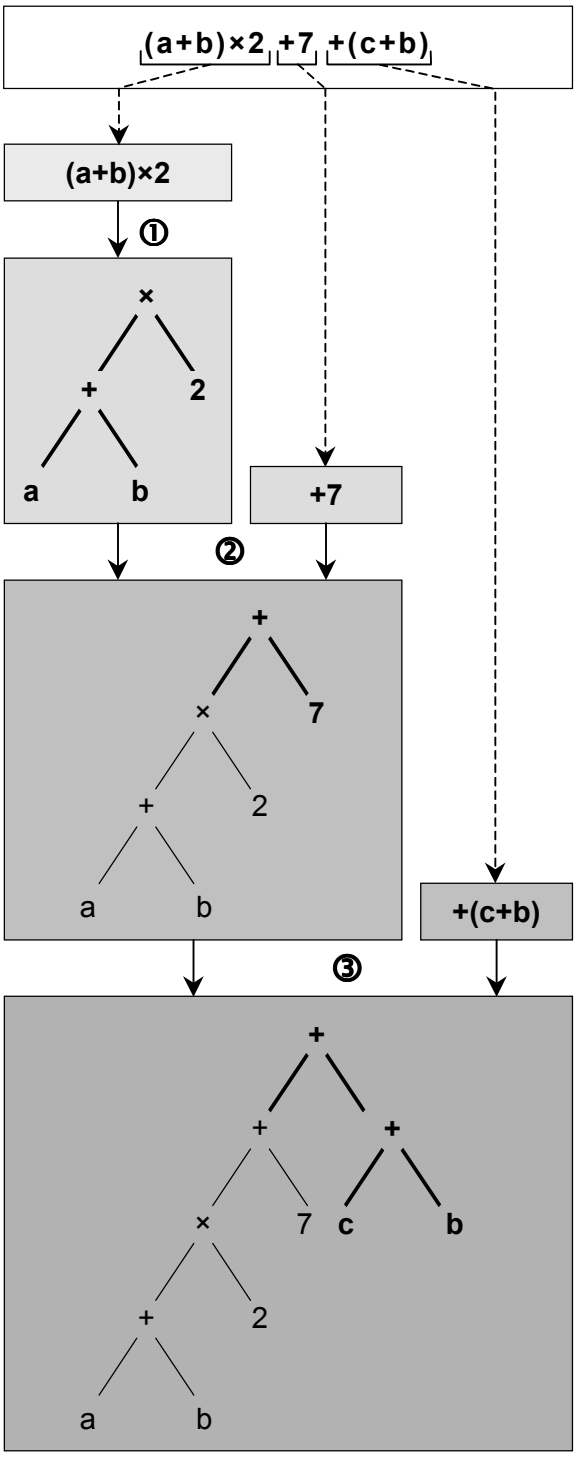


Figure 3-11 : Les étapes de la représentation d'une expression algébrique sous forme d'arbre.

♦ **Normalisation des arbres d'expression**

La normalisation des arbres d'expression a pour but de rendre comparables les arbres représentant plusieurs expressions. Cette normalisation consiste en l'application de plusieurs règles :

– La commutativité de l'addition, de la multiplication et de l'égalité (cf. Figure 3-12) ; appliquer cette règle revient à trier l'arbre selon l'ordre lexicographique, en autorisant les permutations entre les branches gauche et droite de l'arbre si les sommets sont des

opérateurs commutatifs. Le tri se fait sur des arbres non équilibrés. Si l'arbre est équilibré et si les règles de commutativité le permettent (cf. Figure 3-13), il est déséquilibré (①), puis à nouveau trié (②).

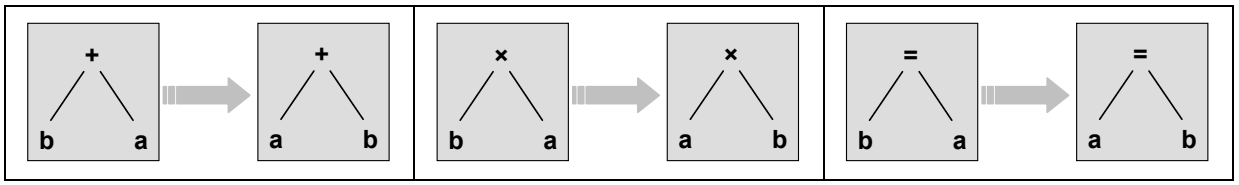


Figure 3-12 : Les règles de normalisation des arbres d'expression : la commutativité de l'addition, de la multiplication et de l'égalité.

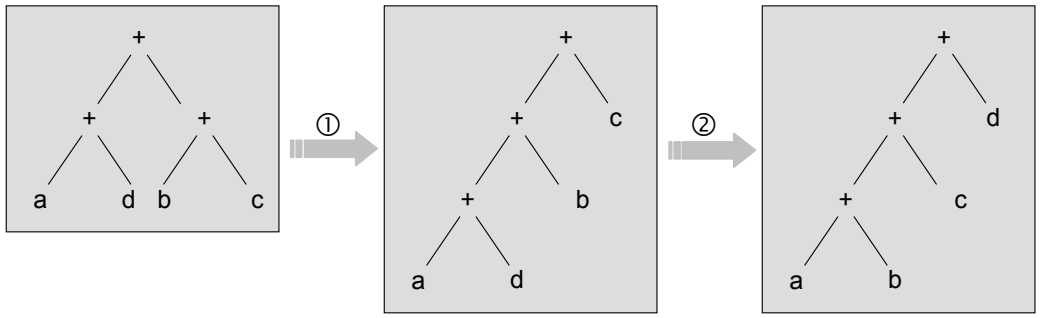
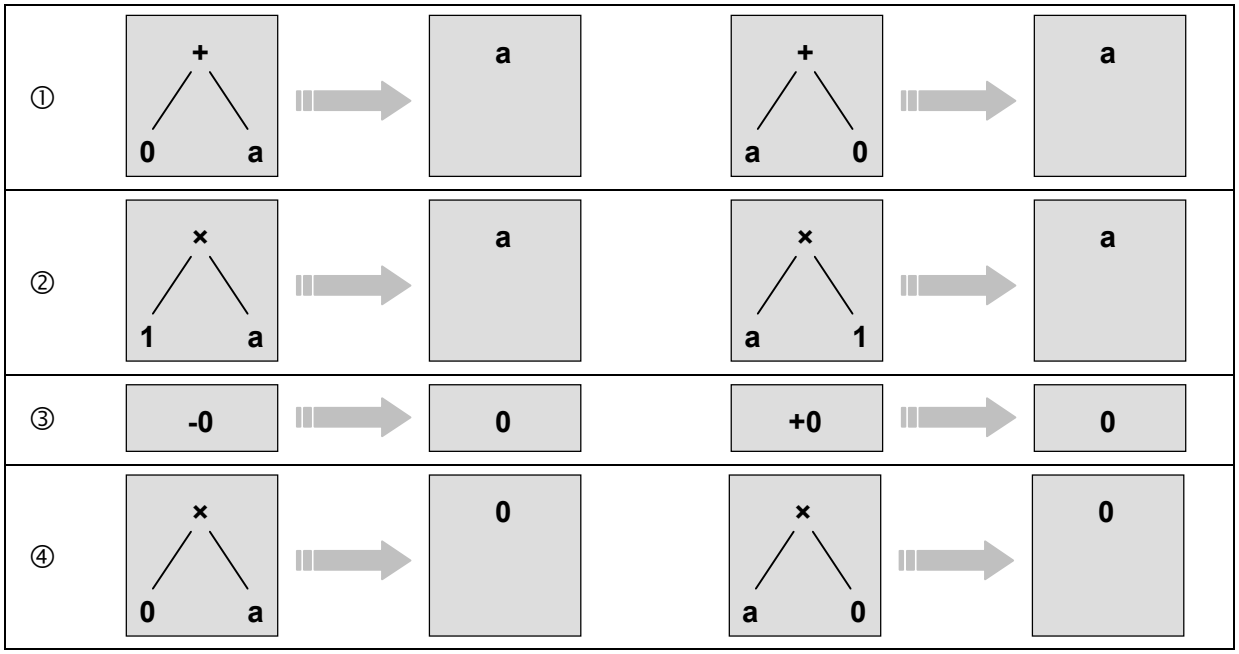


Figure 3-13 : Tri d'un arbre équilibré.

– La neutralité du zéro pour l'addition (0+a=a et a+0=a, cf. ① Figure 3-14), la neutralité de 1 pour la multiplication (1×a=a et a×1=a, cf. ② Figure 3-14) ainsi que plusieurs autres règles (-0=0 et +0=0, cf. ③, 0×a=0, a×0=0, cf. ④, et 0/a=0, cf. ⑤, -a×b=a×(-b) et -a×(-b)=a×b, cf. ⑥, -1×a=-a et a×(-1)=-a, cf. ⑦). L'application de ces règles se fait par simplification ou modification de l'arbre d'expression.



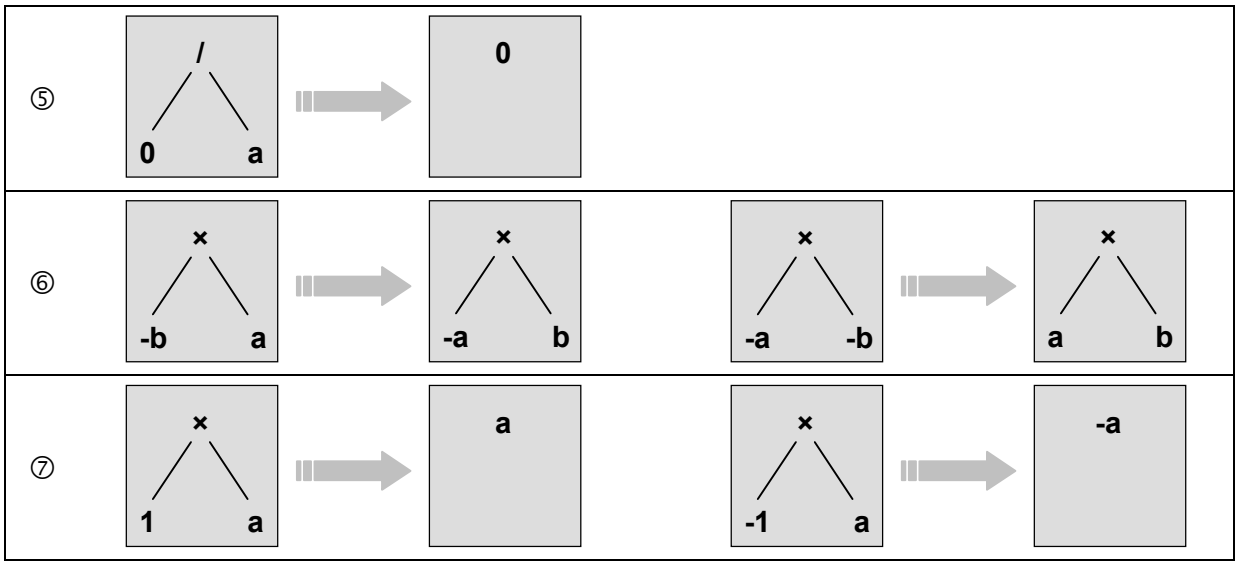


Figure 3-14 : Les règles de normalisation des arbres d'expression.

Comme pour les pré-traitements sur les réponses d'élèves, ces normalisations ne sont pas faites systématiquement, leur application peut dépendre des éléments à étudier. On n'applique par exemple pas des règles pouvant réduire des expressions (comme -1×a=-a) lorsque l'on cherche à identifier comment l'élève réduit une expression. Selon la question, on indique donc la liste des règles à appliquer. Les règles mises en œuvre dans PÉPIDIAG permettent une comparaison fiable pour les expressions algébriques rencontrées dans le test. Nous ne prétendons pas proposer une normalisation unique, adaptée à tous les types d'expressions algébriques.

d) Les productions en langage « informathurel »

Pour une grande partie des questions de PÉPITEST, les élèves sont totalement libres dans leur réponse. Ils peuvent entrer aussi bien des réponses en langage naturel que des expressions algébriques. Dans les justifications, avec PÉPITEST comme sur papier – crayon, ces deux types de réponses sont souvent combinés. La réponse de l'élève est alors sous une forme que nous appelons *langage « mathurel »*, mélange de langage naturel et de langage mathématique.
Par ailleurs, produire les réponses sur ordinateur est un facteur perturbant pour un élève. En effet, d'une part la production d'expressions algébriques est rendue difficile par le dispositif disponible (uniquement le clavier et la souris), d'autre part, des corpus de dialogue homme - machine [LUZZATI, 1995] montrent que certains utilisateurs ont tendance à modifier leur syntaxe en saisissant des phrases au clavier (que ce soit par appauvrissement ou par enrichissement), afin que l'ordinateur puisse « comprendre » leurs entrées. En fait, l'étude de corpus du test papier – crayon montre que dans leurs copies, les élèves ont plutôt tendance à utiliser une combinaison de langage naturel parlé (à la syntaxe et l'orthographe approximatives, auxquelles peuvent s'ajouter des fautes de frappe) et de langage pseudo-mathématique. Le *langage « mathurel »* utilisé habituellement dans un environnement papier - crayon par les élèves, devient donc *langage « informathurel »* lorsqu'il est médiatisé, c'est-à-dire lorsque les élèves doivent produire leurs réponses sur ordinateur.

a × a est une multiplication donc: 3+2= 5
c' est "a+a"qui est egal à 2a
L'expréssion a² équivaut à a×a et non pas à 2×a.
2a²=2×a² et non pas (2a)² car cela serait égal à 4a².
en mathématique un contre éxemple suffit à annuler une propriétée: on remplace "a" par "3" 3² = 9 n'est pas égale a 2 × 3 = 6
L'égalité est fausse, a² = a × a mais 2a = a + a

Figure 3-15 : L'expression $a^2 = 2a$ *est-elle vraie ? : exemples de justifications d'élèves en langage « informathurel ».*

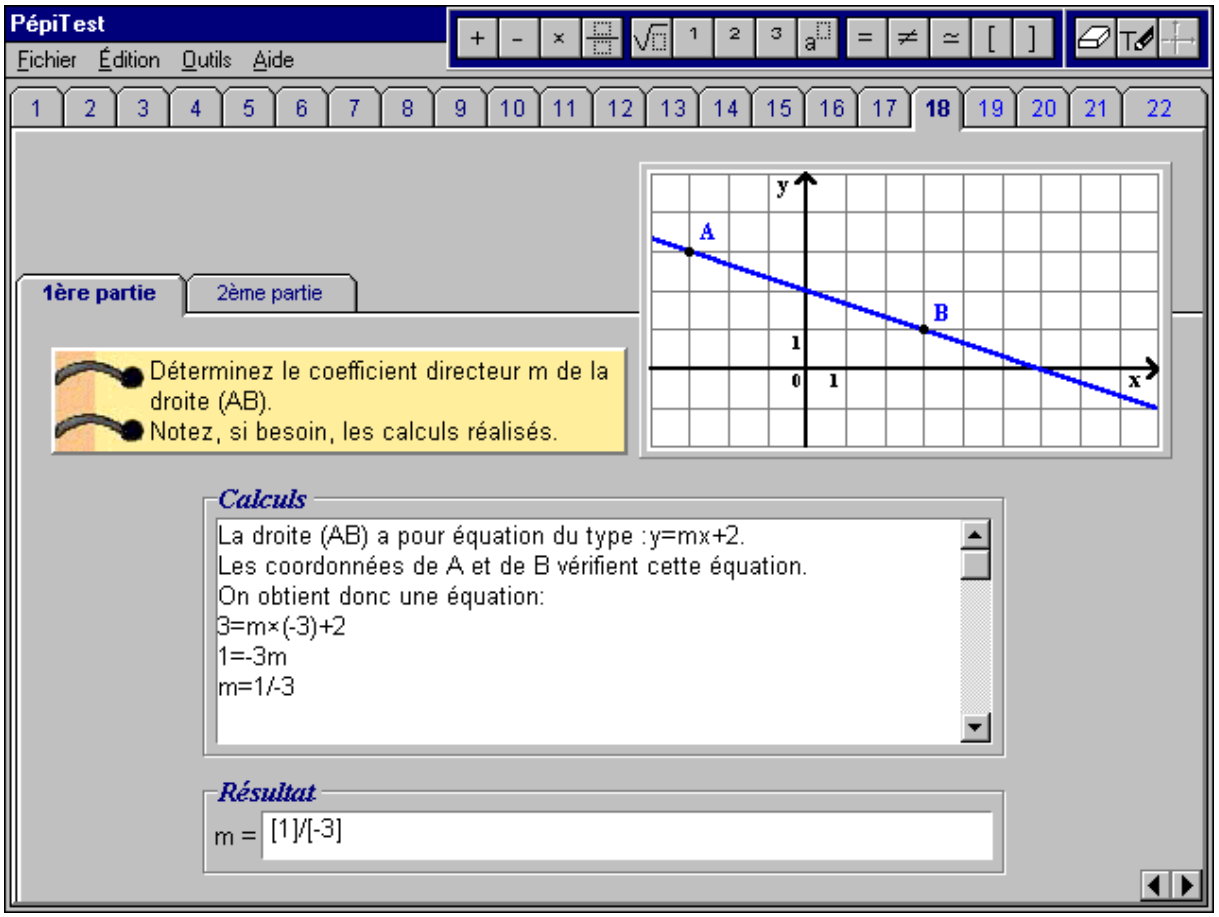


Figure 3-16: Un exemple de réponse en langage « informathurel », la réponse de Jean-Luc à l'exercice 18.

	Exemple de réponses	Type de traitement et modes de fonctionnement associés par l'analyse a priori	Codes associés
Solution correcte	Lecture graphique de l'accroissement des ordonnées et de l'accroissement des abscisses entre les points A et B pour obtenir le coefficient directeur –1/3	– Traitement correct – Conversion correcte – Utilisation correcte des lettres	T1 C1 L1
Autres solutions correctes	Calcul du coefficient directeur par substitution des valeurs des coordonnées de A et B dans la formule du coefficient directeur $\frac{yB-yA}{xB-xA}$	– Traitement correct partiel ou non attendu – Conversion correcte non attendue – Utilisation des lettres pour leur substituer des valeurs numériques	T2 C2 L2
	Calcul du coefficient directeur à partir de l'équation de la droite y = mx+p	– Traitement correct partiel ou non attendu – Conversion correcte non attendue – Utilisation correcte des lettres	T2 C2 L1
Solutions incorrectes	Formule du coefficient directeur incorrect, on inverse le numérateur et le dénominateur $\frac{xB-xA}{yB-yA}$	– Traitement incorrect – Utilisation des lettres pour faire du calcul algébrique avec des règles fausses	T3 L3
	On interprète incorrectement le tracé et sa pente en calculant le quotient de l'ordonnée du point d'abscisse nulle par l'abscisse du point d'ordonnée nulle.	– Traitement incorrect – Utilisation des lettres comme étiquettes ou abréviations	T3 L4
	Erreur dans le calcul du coefficient directeur à partir de l'équation de la droite y = mx+p, puis : ◆ $mx=\frac{y}{p}$ ou $mx=-\frac{y}{p}$ ◆ erreur dans les calculs ◆ mauvaise lecture des données	– Traitement incorrect – Conversion correcte non attendue – Utilisation correcte des lettres – Identification incorrecte du rôle des opérateurs + et × (les règles de transformation utilisées "assemblent" les termes) – Règles de transformation non maîtrisées, mais identification correcte du rôle des opérateurs + et × – Conversion incorrecte	T3 C2 L1 M42 M3 C3
Absence de solution		– Absence de réponse	T0

Figure 3-17 : L'analyse a priori pour une réponse en langage « informathurel », l'exemple de l'exercice 18.

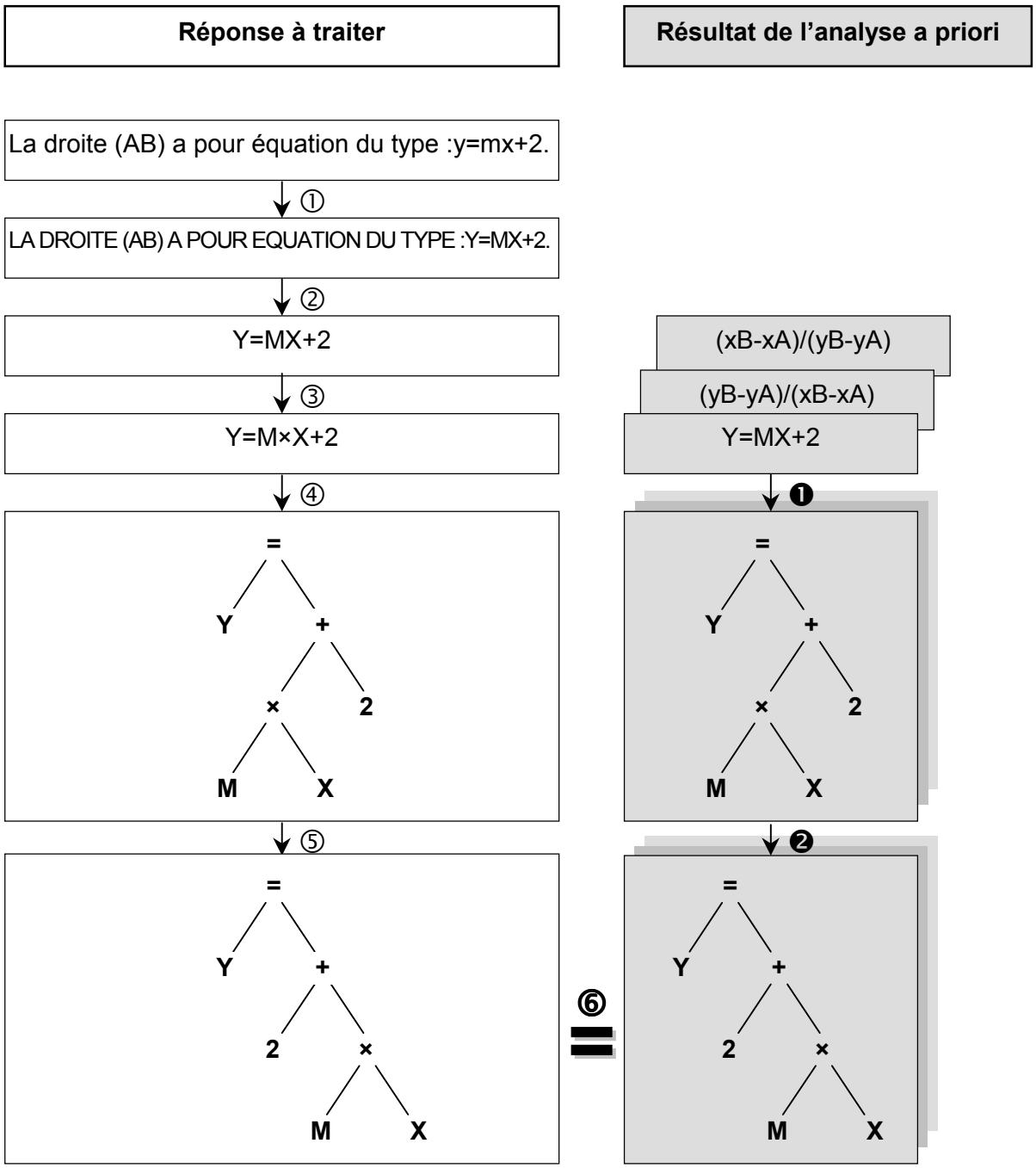


Figure 3-18 : Les étapes de l'analyse d'une réponse en langage « informathurel », la 1ère ligne des calculs de Jean-Luc pour l'exercice 18 (cf. Figure 3-16).

Lorsque PÉPIDIAG cherche à identifier des expressions algébriques dans une réponse en langage « informathurel », l'analyse comporte plusieurs étapes :

– La réponse, sous forme de chaîne de caractère, subit tout d'abord les pré-traitements de normalisation appliqués à toutes les réponses aux questions ouvertes, décrits au début de la section 3.4.2 (cf. ①, Figure 3-18).

– L'expression algébrique est ensuite extraite de la chaîne (cf. ②, Figure 3-18).

– L'expression extraite est elle-même normalisée (cf. ③, Figure 3-18).

– Elle est ensuite représentée sous forme d'un arbre d'expression (cf. ④, Figure 3-18).

– L'arbre d'expression est alors normalisé (cf. ⑤, Figure 3-18).

– L'arbre est enfin comparé (cf. ⑥, Figure 3-18) aux arbres d'expression (cf. ❶, Figure 3-18), normalisés eux aussi (cf. ❷, Figure 3-18), correspondant aux différentes réponses attendues données par l'analyse didactique a priori.
Cette démarche est la même que celle adoptée pour l'analyse des expressions algébriques, à l'extraction de l'expression algébrique dans la réponse de l'élève près. Nous ne détaillons donc ici que cette étape.

♦ **Extraction d'une expression algébrique**

L'extraction d'une expression algébrique à partir d'une réponse en langage « informathurel » est un problème non trivial. Dans le cas où seule l'expression algébrique doit être analysée, il s'agit d'identifier dans la réponse de l'élève, l'élément de la réponse qui doit être analysé, sans tenir compte des termes ajoutés qui peuvent être considérés comme du bruit. Dans l'exemple présenté ci-dessus (cf. Figure 3-18) la réponse de l'élève est « La droite (AB) a pour équation du type :y=mx+2. », les termes ajoutés par l'élève pour annoncer sa réponse (« La droite (AB) a pour équation du type : ») constituent du bruit, dans la mesure où seule l'expression algébrique y=mx+2 est analysée.
L'extraction consiste à ignorer les suites de mots qui précèdent l'expression. Sont considérées comme expressions algébriques, les expressions contenant au moins une parenthèse, un opérateur ou un chiffre.
Dans certains cas, en particulier pour l'exercice 3, demandant de calculer l'aire du rectangle bleu (cf. annexe 2), une modification de l'interface a permis de lever le problème de l'extraction de l'expression algébrique de la réponse de l'élève (en précisant devant la zone de saisie de la réponse « Aire du rectangle bleu : », les élèves tapent désormais directement l'expression algébrique). Cette question a été traitée du point de vue de l'interface dans le chapitre précédent (cf. § 2.5.2.b)).

♦ **Le cas de l'analyse des justifications**

L'analyse des justifications d'élèves (souvent faites en langage « informathurel ») dépend à la fois de la question et des éléments que PÉPIDIAG souhaite identifier : il peut s'agir d'éléments particuliers ou d'une démarche. Dans tous les cas, PÉPIDIAG ne cherche pas à comprendre le sens des réponses des élèves, mais à identifier des éléments qui permettent d'associer la réponse de l'élève à un des éléments de l'analyse a priori.

Identification d'éléments particuliers

Dans plusieurs questions, l'analyse des réponses des élèves consiste à identifier des éléments particuliers, qui peuvent être de natures très différentes. Nous prendrons l'exemple de l'exercice du prestidigitateur dont l'énoncé est présenté ci-dessous.

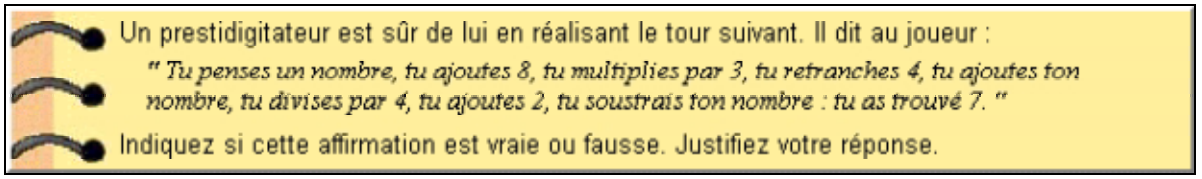


Figure 3-19 : Énoncé de l'exercice du prestidigitateur.

Un des éléments étudiés dans les réponses des élèves à cette question est le statut du signe égal : correspond-t-il à une relation d'équivalence ou à une annonce de résultat ?

①	[3(x+8)-4+x]/[4] + 2 - x = 7
② [3]	5 + 8 = 13 ; 13 × 3 = 39 ; 39 - 4 = 35 ; 35 + 5 = 40
③	[x+8] × 3 = 3x+24-4 = 3x+20 = 4x+20 = [4x+20]/4 = x+5 = x+5+2 = x+7 = x+7-x = 7

Figure 3-20 : L'exercice du prestidigitateur, trois exemples de réponses d'élèves.

	Exemple de réponses	Type de traitement et modes de fonctionnement associés par l'analyse a priori	Codes associés
Réponses attendues	Expression globale parenthésée traduisant l'enchaînement opératoire	– Statut du signe égal : relation d'équivalence	N11
	Résolution par expressions partielles traduisant pas à pas les résultats intermédiaires de l'enchaînement opératoire	– Statut du signe égal : relation d'équivalence	N11
Réponse non attendue	Écritures pas à pas enchaînées en succession d'opérations	– Statut du signe égal : Annonce de résultat	N12

Figure 3-21 : L'exercice du prestidigitateur, analyse a priori pour le statut du signe égal.

Dans les corpus donnés en Figure 3-20, le premier cas (cf. ① Figure 3-20) correspond à une écriture sous forme d'expression globale parenthésée traduisant l'enchaînement opératoire, dans laquelle le signe égal a une valeur de relation d'équivalence entre le premier membre de l'égalité et le second. Le statut de relation d'équivalence du signe égal peut être mis en évidence par le fait qu'il n'y a qu'un seul symbole « égal » sur toute la ligne. Le deuxième cas (cf. ② Figure 3-20) est un exemple de résolution par expressions partielles traduisant pas à pas les résultats intermédiaires de l'enchaînement opératoire. Le signe égal a, là aussi, un statut de relation d'équivalence, mais il y a cette fois plusieurs symboles « égal » sur la ligne. Le statut de relation d'équivalence du signe égal est alors mis en évidence par le fait qu'il n'y a qu'un seul signe égal par expression, les expressions étant séparées par des points-virgules. Le troisième cas (cf. ③ Figure 3-20) donne un exemple d'écritures pas à pas enchaînées en succession d'opérations. Dans ce cas, le signe égal a un statut d'annonce de résultat. Ce statut peut être mis en évidence par le fait que la ligne constitue une unique expression qui comporte plusieurs symboles « égal ».

Dans cet exemple, la recherche du nombre de symboles « égal » dans une expression nous permet d'identifier le statut du signe égal. Il ne s'agit cependant pas uniquement de recherche de mots clés, la distinction entre le deuxième et le troisième cas de l'exemple (cf. ② et ③ sur la Figure 3-20) ne peut se faire qu'en travaillant expression par expression, un simple dénombrement des symboles « égal » dans la ligne ne suffit pas.

L'utilisation de ce type de technique nous permet d'obtenir des informations intéressantes sur le fonctionnement de l'élève sans pour autant mettre en œuvre des techniques de

[3] La résolution de l'élève est dans ce cas incomplète.

diagnostic trop lourdes. Dans le cas précis de cet exercice, l'analyse n'est pas mise en œuvre dans la version actuelle de PÉPIDIAG (cet exercice met en jeu de nombreuses modalités, son analyse est donc très complexe : c'est le seul exercice qui n'est, à l'heure actuelle, pas du tout analysé).

Identification d'une démarche

Dans d'autres cas, ce ne sont plus des éléments particuliers du fonctionnement des élèves qui nous intéressent, mais au contraire l'identification de la démarche qu'il a adoptée.

Pour de nombreuses justifications, il s'agit en particulier d'identifier, nous l'avons vu précédemment, si l'élève propose une réponse en langage naturel ou une réponse sous forme algébrique. On cherche ensuite à identifier si l'élève fait appel au légal (dans le cas d'une réponse en langage naturel), s'il utilise une règle (dans le cas d'une réponse sous forme algébrique) ou s'il utilise un exemple pour prouver (dans tous les cas).

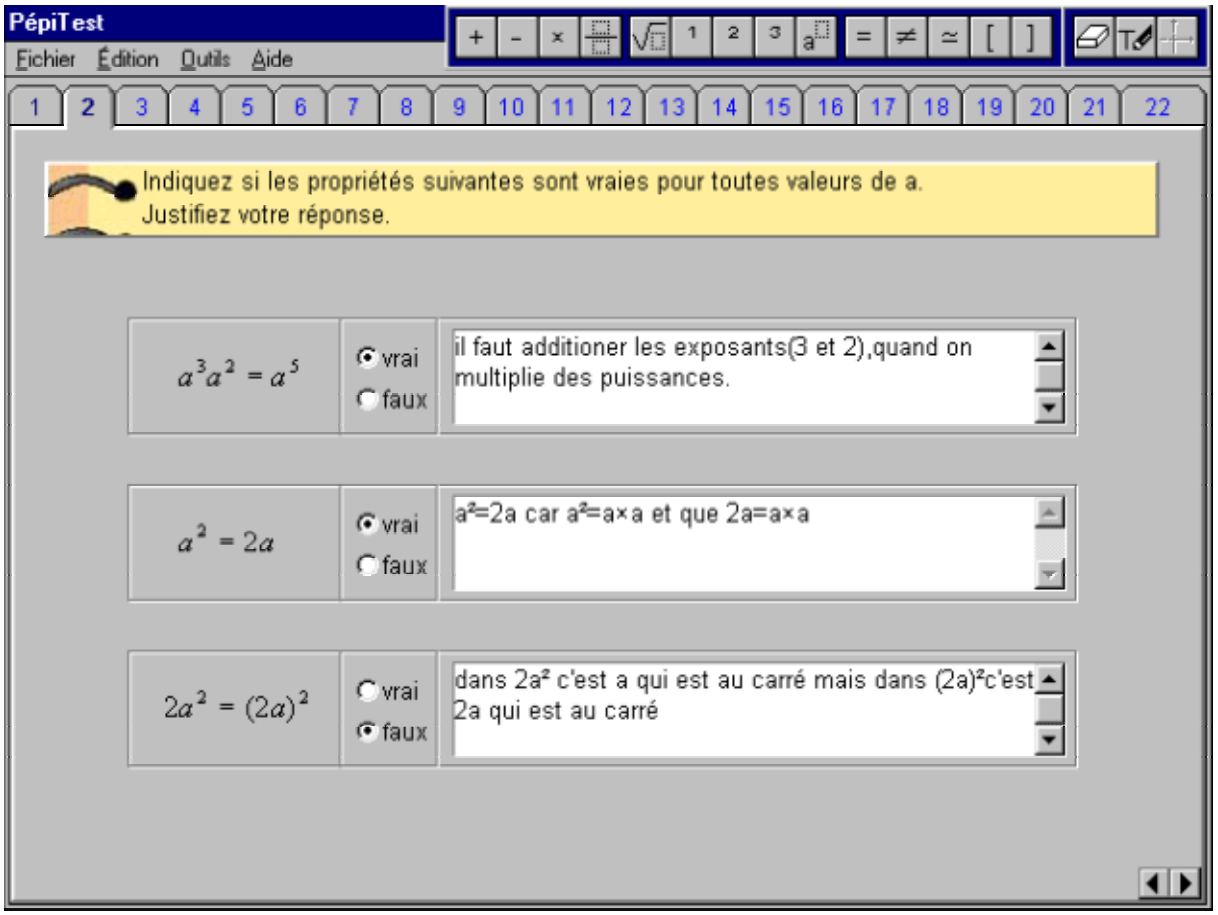


Figure 3-22 : Un exemple d'exercice demandant des justifications, la réponse de Cédric.

	Exemple de réponses	Type de traitement et modes de fonctionnement associés par l'analyse a priori	Codes associés
Solutions correctes	La propriété est jugée **Vraie** Justification :	– Traitement correct	T1
	- preuve pour toutes valeurs de a	– Bonne maîtrise des règles de transformation – Justification par l'algèbre	M1 R1
	- application de règles algébriques	– Bonne maîtrise des règles de transformation – Justification par l'algèbre – Justification de type scolaire	M1 R1 R3
	- exemple	– Bonne maîtrise des règles de transformation – Justification par l'exemple numérique	M1 R2
	- langage naturel	– Bonne maîtrise des règles de transformation – Justification de type scolaire (justification en langage naturel par argumentation)	M1 R32
	– appel au légal	– Bonne maîtrise des règles de transformation – Justification de type scolaire (justification s'appuyant sur des formulations d'ordre légal)	M1 R33
	- aucune justification	– Pas de justification	R0
Solutions incorrectes	La propriété est jugée **Fausse** Justification :	– Traitement incorrect	T3
	- application de règles algébriques	– Règles de transformation non maîtrisées (utilisation de règles de transformation fausses identifiées) – Justification de type scolaire (justification reposant sur l'application de règles incorrectes)	M33 R31
	- contre-exemple	– Règles de transformation non maîtrisées (utilisation de règles de transformation fausses identifiées) – Justification par l'exemple numérique	M33 R2
	- langage naturel	– Règles de transformation non maîtrisées (utilisation de règles de transformation fausses identifiées) – Justification de type scolaire (justification en langage naturel par argumentation)	M33 R32
	– appel au légal	– Règles de transformation non maîtrisées (utilisation de règles de transformation fausses identifiées) – Justification de type scolaire (justification s'appuyant sur des formulations d'ordre légal)	M33 R33
	- aucune justification	– Pas de justification	R0
Absence de solution		– Absence de réponse	T0

Figure 3-23 : L'analyse a priori de la première partie de l'exercice 2.

La réponse de Cédric nous offre un cas d'étude intéressant, ses trois justifications sont en effet de type différent (cf. Figure 3-22). La première justification est en langage naturel avec appel au légal, la deuxième utilise des expressions algébriques et la troisième est en langage naturel sans appel au légal. À titre d'exemple, une justification est considérée comme étant du registre du langage naturel si elle ne comporte pas d'expression algébrique, c'est-à-dire plus précisément, si elle ne comporte pas plus d'un opérateur. Quant à'appel à un exemple, il peut être identifié par l'utilisation de termes tels que « par exemple », « je prends », « pour x = » ou « avec x = » suivi d'une valeur numérique.

Même si les fonctions d'identification d'un type de preuve peuvent être améliorées (en particulier en utilisant un système de traitement automatique du langage naturel robuste, comme nous l'avons vu dans la section consacrée à l'analyse des réponses faites en langage naturel, cf. § 3.4.2.a)), cette analyse peut globalement s'adapter à d'autres justifications sans modifications du diagnostic.

3.4.3. BILAN SUR LE FONCTIONNEMENT DE PÉPIDIAG

La Figure 3-24 récapitule les techniques d'analyse mises en œuvre dans PÉPIDIAG, par types de réponses.

Type de réponse	Technique d'analyse mise en œuvre
Questions fermées	Association à chaque réponse ou chaque ensemble de réponse, les modes de fonctionnement mis en œuvre par l'élève.
Langage naturel	Recherche de mots clés pour identifier des points particuliers. Mise en place d'un langage naturel contraint pour faciliter le diagnostic.
Expressions algébriques	Pré-traitements sur les expressions, représentation sous forme d'arbres d'expression, normalisation des arbres et comparaison aux arbres normalisés correspondant aux réponses attendues données par l'analyse a priori.
Langage « informathurel »	Extraction de l'expression algébrique contenue dans la réponse de l'élève, puis traitement de cette expression selon la méthode décrite précédemment.

Figure 3-24 : Les techniques d'analyse mises en œuvre dans PÉPIDIAG, par types de réponses.

Pour tous les types de réponses, mais aussi pour tous les modes de fonctionnement étudiés dans le test, PÉPIDIAG propose une analyse. Toutefois, tous les exercices ne sont pas encore entièrement analysés.

Commençons par rappeler que le test comporte 55 questions, qui se décomposent en 91 items. Nous entendons par item, élément de réponse (un ensemble de cases à cocher, une zone de saisie pour une justification ou un résultat, etc.), une question pouvant comporter plusieurs items (par exemple des boutons radio pour répondre par vrai ou faux et une zone de saisie pour les justifications).

	Questions fermées	Questions ouvertes		
		Langage naturel contraint	Expressions algébriques	Langage « informathurel »
Répartition des items	42%	3%	23%	32%
Taux d'analyse	100%	100%	100%	45%

Figure 3-25 : Tableau récapitulatif des types de réponses analysés par PÉPIDIAG et de leur importance relative dans PÉPITEST.

Le tableau donné en Figure 3-25 présente la répartition des 91 items du test entre les différents types de réponse, et, pour chaque type de réponse, le taux d'analyse obtenu par PÉPIDIAG.
Globalement, ce sont 83% des items qui sont entièrement analysés, ce qui correspond à 71% des questions. Les items partiellement analysés donnent toutefois également des informations intéressantes. Une dernière approche va nous permettre de prendre en compte ce facteur. Du point de vue des enseignants, l'information la plus pertinente est en effet le taux d'analyse en termes de modes de fonctionnement : 87% des modes de fonctionnement sont attribués.

3.5. ÉVALUATION DE PÉPIDIAG

La validation du module de diagnostic consiste à vérifier l'exactitude et la pertinence du diagnostic établi par PÉPIDIAG. Elle se prête parfaitement aux critères de validation établis d'après le modèle de l'élève proposé par Nicolas BALACHEFF, c'est pourquoi nous nous appuyons sur ces critères pour notre validation (cf. chapitre 1).

3.5.1. LE CRITÈRE DE VALIDATION

Pour valider PÉPIDIAG, nous cherchons à montrer que les profils construits automatiquement par PÉPIDIAG à partir des productions de PÉPITEST, sont équivalents aux profils construits manuellement à partir des mêmes productions de PÉPITEST, c'est-à-dire que nous cherchons à montrer l'équivalence du diagnostic papier - crayon et du diagnostic de PÉPIDIAG (cf. Figure 3-26).
En reprenant le modèle de BALACHEFF présenté au chapitre 1, la validation de PÉPIDIAG consiste donc à démontrer *l'épistémomorphisme* puisqu'elle « permet de mettre en évidence que le modèle épistémique construit par la machine rend compte des propriétés conceptuelles et structurelles décrites par la conception attribuée par ailleurs à l'élève au terme de l'analyse didactique » [BALACHEFF, 1994]. Nous pouvons préciser en indiquant que cette équivalence correspond à un épistémomorphisme procédural, puisqu'elle concerne uniquement l'équivalence des modèles épistémiques procéduraux.

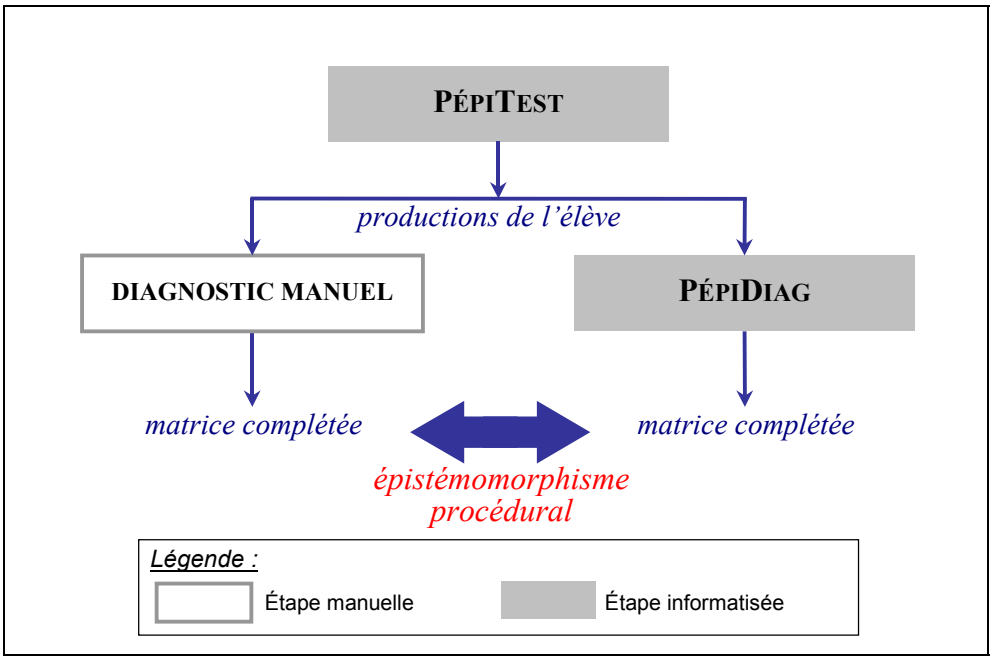


Figure 3-26 : Critère de validation de PÉPIDIAG, l'épistémomorphisme procédural.

3.5.2. L'ÉVALUATION EFFECTUÉE

Techniquement, l'évaluation que nous avons effectuée a consisté à comparer la matrice de diagnostic proposée par PÉPIDIAG à celle, construite à la main, proposée par un expert, en l'occurrence, la didacticienne de notre projet.

Étant donné la charge de travail demandée par l'analyse manuelle des productions d'élèves, une comparaison à grande échelle était impossible, nous avons donc procédé à quelques études de cas. Nous avons fait cette comparaison pour les productions de cinq élèves sélectionnés dans notre corpus de tests faits avec PÉPITEST. Nous avons choisi des élèves de niveaux différents afin de pouvoir identifier les écarts d'analyse pour différents types de productions. Nous avons donc sélectionné un bon élève, deux élèves moyens et deux élèves faibles, d'après les indications données par leur enseignant. Un exemple de comparaison de matrices de diagnostic est donné en annexe 13.

3.5.3. LES RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION

Globalement, les différences entre matrices complétées automatiquement et matrices complétées manuellement sont faibles. Les différences constatées sont de trois types :

– L'expert propose un diagnostic, mais pas PÉPIDIAG. Ceci correspond aux cas où PÉPIDIAG n'analyse pas encore (par exemple pour l'exercice du prestidigitateur) ou ne réussit pas à analyser la production de l'élève (PÉPIDIAG propose alors un codage de type « non identifié », pour le mode de fonctionnement concerné).

– Des différences non significatives apparaissent entre l'analyse de l'expert et celle de PÉPIDIAG, elles correspondent à des modes de fonctionnement proches (réponse correcte / réponse correcte non attendue ; utilisation de règles de transformation fausses identifiées / erreur de transformation liée à certaines tâches algébriques). Le mode de fonctionnement

« erreur de transformation liée à certaines tâches algébriques » a d'ailleurs, depuis cette évaluation, été fusionné avec « utilisation de règles de transformation fausses identifiées », les deux modes ayant été jugés trop similaires d'un point de vue didactique. Par ailleurs, la recherche didactique menée par Agnès LENFANT dans le cadre de son stage de DEA [LENFANT, 1997] a montré qu'à partir des productions d'un même élève, le diagnostic établi manuellement peut varier sensiblement d'un enseignant à l'autre. Les variations correspondent à des différences d'appréciation entre les enseignants. Les profils construits par analyse transversale des différentes matrices de diagnostic sont pourtant quasiment identiques. Ceci montre la tolérance de l'outil de diagnostic vis-à-vis de certaines variations dans le diagnostic.

– Des erreurs sont identifiées dans le diagnostic de PÉPIDIAG, elles correspondent à des incohérences entre le programme et l'analyse a priori. Les différences mises en évidence par cette évaluation ont permis dans les quelques cas où l'analyse de PÉPIDIAG s'est avérée erronée, de corriger le programme.

Globalement, l'épistémomorphisme procédural n'est donc que partiellement assuré.

Une évaluation à plus grande échelle serait souhaitable, notamment pour déterminer si d'autres différences d'appréciation sont identifiables, mais une telle évaluation est difficile à mettre en œuvre. La procédure pourrait cependant être légèrement automatisée en demandant à l'expert de procéder à l'analyse des productions en utilisant le mode « analyse manuelle » de PÉPIPROFIL, son analyse, mais surtout la comparaison des matrices serait alors simplifiée.

3.6. BILAN

Pour la conception du module de diagnostic de notre système, nous avons adopté une démarche incrémentale, qui replace le diagnostic dans le contexte de l'ensemble du dispositif d'évaluation des connaissances, dispositif qui inclut l'interface élève. Cette démarche incrémentale nous permet de tester, de compléter et d'améliorer le diagnostic, étape après étape dans notre projet.

L'existence du prototype actuel et les premiers résultats que nous obtenons montrent déjà la faisabilité du diagnostic. PÉPIDIAG sait en effet attribuer 87% des modes de fonctionnement pour l'ensemble du test. Il peut analyser, non seulement les réponses aux questions fermées, mais également une partie des réponses à des questions entièrement ouvertes.

Rappelons enfin que les résultats du diagnostic rassemblés dans la matrice de diagnostic ne peuvent naturellement pas être utilisés tels quels par les enseignants, ils doivent d'abord faire l'objet d'une analyse transversale qui permet de construire les profils qui seront présentés aux enseignants ; cette étape est présentée dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 4

~

LE CALCUL ET LA PRÉSENTATION DES PROFILS

PLAN DU CHAPITRE

4.1. INTRODUCTION 145

4.2. LES OUTILS POUR LES ENSEIGNANTS 146

4.3. LES PROFILS COGNITIFS DE PÉPITE 146

4.4. LE CALCUL DES PROFILS 147

4.4.1. LES TAUX DE RÉUSSITE 147
a) Taux de réussite global 148
b) Taux de réussite par types d'exercices 148

4.4.2. LES TRAITEMENTS 148
a) Traitement 148
b) Traitements maîtrisés 149

4.4.3. LES MODES DE FONCTIONNEMENT 149

4.4.4. LE DIAGRAMME D'ARTICULATION ENTRE LES CADRES 150

4.4.5. L'APPLICATION DE SEUILS 151
a) Les traitements 151
b) Les modes de fonctionnement 152
c) Le diagramme d'articulation 152

4.5. LA PRÉSENTATION DES PROFILS 152

4.5.1. PRÉSENTATION GLOBALE DU PROFIL 153
a) Les taux de réussite et les traitements maîtrisés 153
b) Les modes de fonctionnement 155
c) Le diagramme d'articulation entre les cadres 157
d) Le résumé 158

4.5.2. PRÉSENTATION DÉTAILLÉE DU PROFIL 159

4.5.3. DES PROFILS PARAMÉTRABLES 160

4.5.4. DIFFÉRENTS NIVEAUX D'IMPLICATION DE L'ENSEIGNANT 161
a) Visualisation du profil et du résumé 161
b) Consultation du détail du diagnostic 161
c) Complétion du diagnostic 161
d) Modification du diagnostic 161
e) Paramétrisation / personnalisation PÉPIPROFIL 162
f) Conclusion sur les différents niveaux d'implication de l'enseignant 162

4.5.5. QUESTIONNEMENT SUR L'UTILISATION DE PÉPIPROFIL 163

4.6. LES UTILISATIONS POSSIBLES DE PÉPITE ET DE SES PROFILS 163

4.6.1. UTILISATION DES PROFILS EN CLASSE 164

4.6.2. UTILISATION DES PROFILS EN CLASSE, AVEC L'AIDE DE PÉPICLASSE 164

4.6.3. UTILISATION DES PROFILS DANS UN EIAO 166

4.6.4. INTÉGRATION DES PROFILS À L'ÉVALUATION NATIONALE EN SECONDE 166
a) L'évaluation nationale en seconde 166
b) Comment PÉPITE pourrait s'intégrer dans l'évaluation nationale en seconde 166

4.6.5. UTILISATION DES PROFILS PAR LES ÉLÈVES 167

4.6.6. UTILISATION DES PROFILS COMME BILAN 167
a) Bilan en fin de 3ème 167
b) Test d'orientation 168

4.6.7. UTILISATION DE PÉPITE EN FORMATION DES MAÎTRES 169
4.6.8. AMÉLIORATION DU DIAGNOSTIC 169
4.6.9. AMÉLIORATION DE L'ANALYSE DIDACTIQUE A PRIORI 169
4.7. ÉVALUATION DE PÉPIPROFIL 170
4.7.1. CRITÈRE DE VALIDATION DE PÉPIPROFIL 170
4.7.2. ÉVALUATION DE L'INTERFACE 171
a) Test informel 171
b) Expérimentation à plus grande échelle 171
4.7.3. RÉSULTATS 173
a) Résultats concernant le calcul des profils 173
b) Résultats concernant la soumission des profils à l'enseignant 173
4.8. BILAN 173

4.1. INTRODUCTION

La matrice de diagnostic remplie par PÉPIDIAG rassemble un grand nombre d'informations très précises sur le comportement de l'élève. Cette description très fine n'est pas utilisable telle quelle par les enseignants. Afin de rendre ces informations utilisables, il est nécessaire d'en faire une synthèse. Il s'agit d'établir une description qui donne un modèle global et intelligible des compétences de l'élève en algèbre : le profil cognitif. Cette description est obtenue par analyse transversale des informations fournies par le module de diagnostic, sur trois types d'exercices (exercices techniques, exercices de mathématisation, et exercices de reconnaissances), selon six composantes d'analyse (traitement, utilisation des lettres, calcul algébrique, conversion, type de justification et connaissances numériques). Les profils (cf. annexe 15 pour un exemple de profil) comportent trois niveaux de description :

– une description quantitative des compétences algébriques en termes de *taux de réussite* par rapport au niveau attendu par les enseignants,

– une description qualitative des cohérences de fonctionnement, composante par composante, en terme de *modes de fonctionnement*. Cette description est obtenue par recoupement des modes de fonctionnement sur l'ensemble des exercices,

– une description de la flexibilité entre le cadre algébrique et les autres cadres étudiés dans le test (cadre numérique, cadre graphique, cadre géométrique et langage naturel), représentée par un *diagramme*.

PÉPIPROFIL est le logiciel enseignant de PÉPITE. Ce module assure deux fonctions distinctes. Il établit tout d'abord les profils d'élèves. Il présente ensuite les profils ainsi conçus aux utilisateurs.

En ce qui concerne la première tâche de ce module, l'objectif est de construire des profils fiables, qui correspondent aux profils qu'un expert construirait manuellement à partir d'une même matrice de PÉPIDIAG. Nous cherchons à savoir s'il est possible d'identifier des cohérences dans le fonctionnement de l'élève afin de construire son profil, à partir de la matrice de diagnostic uniquement.

Pour la partie de présentation des profils aux enseignants (ou aux chercheurs), l'objectif est de rendre le profil à la fois accessible et acceptable pour les enseignants. Le profil doit être tout d'abord facilement compréhensible. L'enseignant doit pouvoir avoir, aussi bien une vue globale du profil ,que l'ensemble des informations disponibles sur le diagnostic. De plus, l'enseignant doit pouvoir adapter le logiciel à ses besoins, à ses habitudes de travail. Nous cherchons donc à savoir comment proposer le profil de l'élève à l'enseignant, de façon suffisamment lisible, claire et adaptable pour qu'il puisse s'approprier ce profil.

La méthodologie que nous avons adoptée pour la conception de PÉPIPROFIL est liée à notre souci d'intégration à l'enseignement et d'adaptation aux pratiques des enseignants. Nous avons en effet beaucoup travaillé avec des didacticiens et des enseignants, selon la méthode de conception différenciée présentée dans le chapitre 1.

Pour faciliter l'utilisation des profils de PÉPITE par les enseignants, nous proposons un module supplémentaire, PÉPICLASSE, qui calcule un profil de classe et propose des thèmes de travails adaptés aux connaissances des élèves. Ce module est présenté dans la section consacrée aux utilisations des profils.

Dans ce chapitre, nous présentons le logiciel enseignant de PÉPITE. Nous décrivons PÉPIPROFIL, du point de vue du calcul des profils, puis du point de vue de la présentation des profils. Nous présentons ensuite les différentes utilisations des profils de PÉPITE que nous pouvons d'ors et déjà envisager. Nous abordons la validation du logiciel enseignant avant de conclure.

4.2. LES OUTILS POUR LES ENSEIGNANTS

L'originalité de PÉPIPROFIL par rapport à la majorité des EIAO, est de s'adresser directement à l'enseignant. Les EIAO s'adressent généralement aux enseignants comme prescripteur auprès des élèves et non comme utilisateurs finals.
Ceci ne signifie pas que les enseignants ne sont pas pris en compte dans les EIAO. Dès 1990, Martial VIVET insistait sur la place à donner à l'enseignant dans la relation élève – système [VIVET, 1990]. Depuis, plusieurs systèmes ont été conçus en tenant compte du rôle de l'enseignant, parmi ces systèmes, on peut citer ROBOTEACH [LEROUX, 1995] et COCA [MAJOR & REICHGELT, 1993]. La prise en compte de l'enseignant consiste le plus souvent en un paramétrage du système destiné aux élèves par l'enseignant, voire en des systèmes auteurs.
L'enseignant est désormais souvent également pris en compte dans le processus de conception, cette prise en compte pouvant aller jusqu'à l'intégration d'enseignants à l'équipe de conception. Plusieurs chercheurs prônent en effet la conception participative, parmi lesquels [MURRAY & WOOLF, 1992] [VAN LABEKE, 1999].
Dans PÉPITE, nous prenons en compte l'enseignant non seulement en l'intégrant à notre équipe de conception et en lui donnant la possibilité de paramétrer les profils et même de les modifier, mais aussi, et c'est l'originalité de PÉPITE de ce point de vue, en nous adressant directement à lui comme utilisateur final d'un logiciel spécifique.

4.3. LES PROFILS COGNITIFS DE PÉPITE

Les profils cognitifs de PÉPITE comportent à la fois des informations quantitatives et des informations qualitatives sur le fonctionnement cognitif des élèves.
Le profil donne tout d'abord les pourcentages de traitements corrects, de traitements corrects partiels ou corrects non attendus (c'est-à-dire correct mais ne correspondant pas aux attentes des enseignants pour un élève de ce niveau scolaire), de traitements incorrects et d'absence de réponse. Il donne ensuite le taux de réussite global de l'élève, ainsi que les taux de réussite par types d'exercices.
D'un point de vue plus qualitatif, le profil indique les traitements maîtrisés par l'élève, ainsi que les modes de fonctionnement mis en œuvre par l'élève, composante par composante. Il présente enfin, sous forme d'un diagramme, les articulations entre cadres maîtrisées par l'élève.
Ces différentes parties sont présentées dans les annexes 15 et 16.

4.4. LE CALCUL DES PROFILS

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, la matrice de diagnostic complétée par PÉPIDIAG est un modèle épistémique procédural : elle donne des informations sur les procédures appliquées par les élèves mais ne rend pas compte de leurs conceptions. Ces informations ne sont donc pas directement exploitables par un enseignant. Afin de rendre ces informations opérationnelles en mettant en évidence les cohérences dans le fonctionnement de l'élève, il est indispensable d'effectuer une analyse transversale du contenu de la matrice de diagnostic sur l'ensemble des exercices. Les données nécessaires à ce calcul sont contenues dans la matrice de diagnostic, ainsi que dans un fichier des caractéristiques des questions, qui contient, pour chaque question, le ou les types d'exercices auxquels elle appartient, les types de traitement et les articulations entre cadres concernés (l'annexe 14 présente le contenu de ce fichier). Ce calcul est indépendant des modules de test et de diagnostic. La Figure 4-1 montre le fonctionnement général de ce calcul.

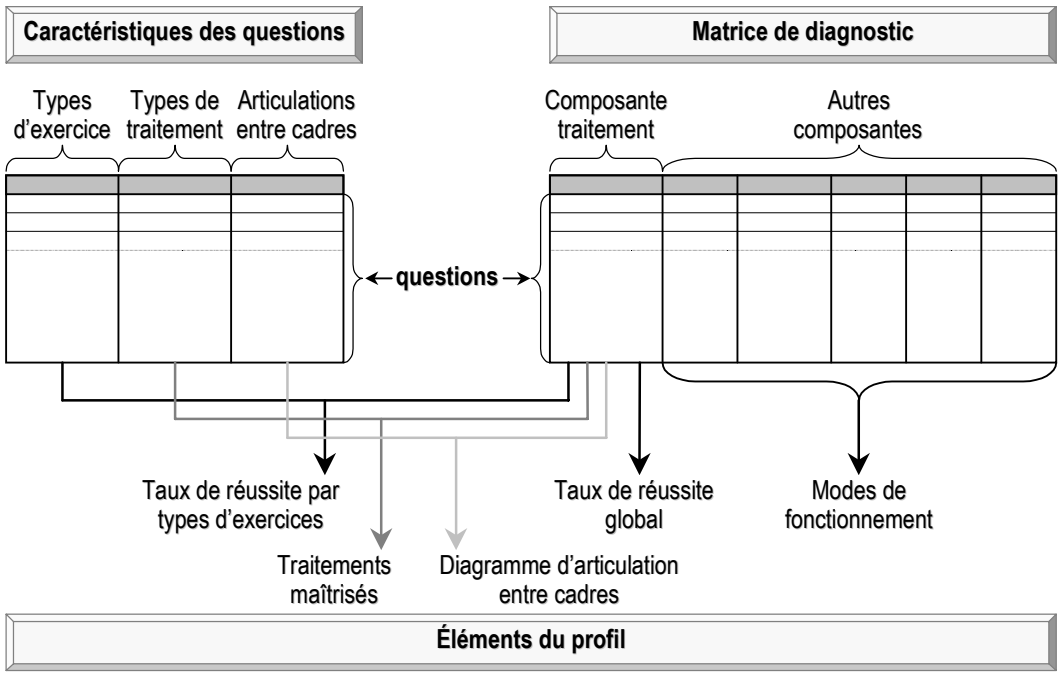


Figure 4-1 : Calcul des différents éléments du profil à partir du fichier des caractéristiques des exercices et de la matrice de diagnostic.

Les paragraphes suivants donnent les méthodes de calcul utilisées pour cette analyse transversale. Notons que la spécification de ces méthodes a nécessité un important travail d'explicitation de l'expertise de Brigitte GRUGEON.

4.4.1. LES TAUX DE RÉUSSITE

Le profil présente tout d'abord une description quantitative, exprimée par un taux de réussite global et des taux de réussite par types d'exercices.

a) Taux de réussite global

Le taux de réussite ne prend en compte que les questions traitées par l'élève (c'est-à-dire pour lesquelles il a proposé une réponse). Il est donné par la formule ci-dessous.

$$\frac{\text{Nombre de réponses} \left\langle \begin{array}{l} \text{correctes} \\ \text{correctes partielles ou correctes non attendues} \end{array} \right.}{\text{Nombre de questions traitées}} \times 100$$

Équation 4-1 : Méthode de calcul du taux de réussite global.

b) Taux de réussite par types d'exercices

Les types d'exercices étudiés dans le test sont :
– Les *exercices techniques*, mettant en œuvre l'application de procédures algébriques ou numériques enseignées : exercices 6 à 10 et 16 à 22.
– Les *exercices de reconnaissance*, mettant en œuvre la modélisation, la mise en équation, la recherche d'une propriété, la traduction algébrique : exercices 1 à 9, 11, 12, 14, 15 et 17 à 20.
– Les *exercices de mathématisation*, mettant en œuvre la reconnaissance d'un objet dans deux registres ou dans un même registre : exercices 3, 11, 13, 15 à 17, 20 et 21.
Certaines questions relèvent de plusieurs types d'exercices. Les taux de réussite par types d'exercices ne prennent en compte que les questions traitées par l'élève. Pour un type d'exercices donné, le taux de réussite est donné par la formule ci-dessous.

$$\frac{\text{Nombre de réponses} \left\langle \begin{array}{l} \text{correctes} \\ \text{correctes partielles ou non attendues} \end{array} \right. \text{pour le type d' exercices concerné}}{\text{Nombre de questions traitées pour le type d' exercices concerné}} \times 100$$

Équation 4-2 : Méthode de calcul des taux de réussite par types d'exercices.

4.4.2. LES TRAITEMENTS

Le profil donne ensuite des informations sur les traitements utilisés par l'élève : la répartition des réponses de l'élève selon la correction de ses réponses, ainsi que son degré de maîtrise des traitements étudiés dans le test.

a) Traitement

PÉPIPROFIL établit la répartition des réponses de l'élève entre absence de réponse, traitement correct, traitement correct partiel ou correct non attendu et traitement incorrect. Cette description se fait en deux temps. PÉPIPROFIL établit tout d'abord la somme des éléments de la matrice pour chaque type de traitement (cf. Équation 4-3), ce qui correspond au nombre de réponses de chaque type pour l'ensemble des questions de PÉPITEST.

$$\text{Nombre de réponses correspondant au type de traitement} = \sum_{\text{question}=1}^{55} \text{Matrice de diagnostic[question, type de traitement]}$$

Équation 4-3 : Somme des éléments de la matrice pour chaque type de traitement.

Dans un second temps, PÉPIPROFIL établit la répartition des types de traitements, en commençant par calculer le nombre total de questions. La répartition à proprement parler est alors calculée selon la formule ci-dessous.

$$\frac{\text{Nombre de réponses faisant intervenir le type de traitement}}{\text{Nombre de questions}} \times 100$$

Équation 4-4 : Méthode de calcul de la répartition des réponses.

b) Traitements maîtrisés

Le test étudie la maîtrise de sept traitements chez l'élève (parmi lesquels : effectuer des calculs numériques, interpréter des expressions numériques ou algébriques).
À chaque question est associée le ou les type(s) de traitement(s) concerné(s) (l'annexe 14 en donne la liste). Chaque traitement est lié à l'un des types d'exercices du test (exercices techniques, de mathématisation ou de reconnaissance).
Dans la plupart des questions, plusieurs types de traitements sont étudiés. Les taux de réussite par types de traitements ne prennent en compte que les questions traitées par l'élève (cf. Équation 4-5 pour la méthode de calcul).

$$\frac{\text{Nombre de réponses} \left\langle \begin{array}{l}\text{correctes} \\ \text{correctes partielles ou non attendues}\end{array}\right. \text{pour le type de traitements concerné}}{\text{Nombre de questions traitées pour le type de traitements concerné}} \times 100$$

Équation 4-5 : Méthode de calcul du taux de réussite pour les traitements maîtrisés.

4.4.3. LES MODES DE FONCTIONNEMENT

La construction de la description en termes de cohérences de fonctionnement se fait en deux temps. Dans un premier temps, PÉPIPROFIL calcule le nombre total de mises en œuvre de chaque mode de fonctionnement par l'élève. Pour faire ce calcul, PÉPIPROFIL établit la somme des éléments de la matrice pour chacun des 40 modes de fonctionnement. Le résultat correspond au nombre de mises en œuvres du mode de fonctionnement pour l'ensemble des questions de PÉPITEST (cf. Équation 4-6).

$$\text{Nombre de réponses faisant intervenir le mode de fonctionnement} = \sum_{\text{question}=1}^{55} \text{Matrice de diagnostic}[\text{question}, \text{mode}]$$

Équation 4-6 : Méthode de calcul du nombre de mises en œuvre de chaque mode de fonctionnement.

Dans un second temps, pour chaque composante, PÉPIPROFIL établit la répartition des modes de fonctionnement dans la composante, en commençant par calculer le nombre total de mises en œuvre de tous les modes de fonctionnement pour une composante, selon la formule ci-dessous.

$$\text{Nombre de mises en oeuvre pour une composante} = \sum_{\text{modalité}=1}^{n} \text{Nombre de réponses faisant intervenir le mode de fonctionnement}$$

Équation 4-7 : Méthode de calcul du nombre total de mises en œuvre de l'ensemble des modes de fonctionnement pour une composante.

La répartition à proprement parler est alors établie selon la formule donnée dans l'Équation 4-8.

$$\frac{\text{Nombre de réponses faisant intervenir le mode de fonctionnement}}{\text{Nombre de mises en oeuvres des modes de fonctionnement dans la composante}} \times 100$$

Équation 4-8 : Méthode de répartition des modes de fonctionnement dans une composante.

4.4.4. LE DIAGRAMME D'ARTICULATION ENTRE LES CADRES

Pour chaque articulation présentée dans le diagramme, PÉPIPROFIL donne le niveau de maîtrise de l'élève. Ce niveau est donné en appliquant des seuils aux valeurs calculées par la formule donnée dans l'Équation 4-9.

$$\frac{\text{Nombre de réponses correspondant aux contraintes définies pour les questions concernées}}{\text{Nombre de questions concernées}} \times 100$$

Équation 4-9 : Méthode de calcul du taux de maîtrise des articulations et des cadres.

La Figure 4-2 indique pour chaque articulation, la liste des questions concernées ainsi que les contraintes que la réponse de l'élève doit vérifier pour être prise en compte.

Gestion dans le cadre numérique	5 questions
1a, 1b, 1c, 1d 22	M1 T1
Gestion dans le cadre algébrique	15 questions
2 : propriétés vraies, réponse de l'élève : "vrai", 2a 5a, 5b 6a, 6b, 6c 9a, 9b, 9c, 9d 15P3 19P2a, 19P2b 20P3 21	M1 T1+T2 T1+T2 T1M1+T2M1 T1M1 T1 T1 T1
Articulation du cadre numérique vers le cadre algébrique	1 question
16 : exemple puis généralisation	L5R2R3R1
Articulation du cadre algébrique vers le cadre numérique	13 questions
2 : propriétés fausses, réponse de l'élève : "faux", 2b, 2c 4 : propriétés fausses, réponse : "faux", contre-exemple, 4b, 4c, 4d, 4e 8a, 8b 17a, 17b, 17c 19P1a, 19P1b	T1 T1R1 T1+T2 T1 et ≠R0 T1
Articulation du cadre algébrique vers le cadre géométrique	2 questions
3P2 13	T1+T2 T1
Articulation du cadre géométrique vers le cadre algébrique	5 questions
3P1 3P2 12 15P1 15P2	C1 T1+T2 T1+T2 T1C1 T1C1

Articulation du cadre algébrique vers le langage naturel	3 questions
11P2a, 11P2b, 11P2c	T1C1
Articulation du langage naturel vers le cadre algébrique	7 questions
10 11P1a, 11P1b, 11P1c 16 20P2a, 20P2b	T1C1 T1C1 T1C1+T2C2 T1
Articulation du cadre algébrique vers le cadre graphique	1 question
7	T1
Articulation du cadre graphique vers le cadre algébrique	1 question
18P2	T1C1+T2C1
Articulation du cadre graphique vers le cadre numérique	1 question
18P1	T1C1+T2C1
Articulation du langage naturel vers le cadre graphique	3 questions
20P1 20P2a, 20P2b	T1 T2

Légende :
La colonne de gauche donne la liste des questions concernées par l'articulation (1a pour exercice 1 question a, 11P1a pour exercice 11 partie 1 question a…) avec éventuellement une précision sur les réponses d'élèves à prendre en compte.
La colonne de droite donne, pour chaque question, les contraintes à appliquer pour que la réponse de l'élève soit considérée comme valide du point de vue de l'articulation. Par exemple, T1C1+T2C2 signifie que la réponse doit être prise en compte si PÉPIDIAG a associé les codes T1 et C1 ou les codes T2 et C2 à la réponse de l'élève.

Figure 4-2 : Représentation des connaissances pour la construction du diagramme

4.4.5. L'APPLICATION DE SEUILS

À chacun des éléments calculés (traitements maîtrisés, modes de fonctionnement, articulations entre cadres), sont appliqués des seuils indiquant le niveau de maîtrise de l'élève pour cet élément. Ces seuils sont paramétrables, chaque enseignant a donc la possibilité d'adapter ces seuils à ses exigences. Il pourrait également être intéressant de déterminer les paramètres par défaut selon des résultats statistiques, établis à partir des résultats au test, d'un nombre conséquent d'élèves appartement au public visé.
Les seuils que nous présentons ici sont les seuils par défaut, déterminés par les didacticiens et les enseignants impliqués dans le projet.

a) Les traitements

Un traitement est considéré comme partiellement maîtrisé si au moins 40 % des réponses aux questions concernant ce traitement sont correctes, il est considéré comme maîtrisé si au moins 70 % des réponses aux questions concernant ce traitement sont correctes. Les traitements pour lesquels moins de 40 % des réponses sont correctes sont considérés comme non maîtrisés.

b) Les modes de fonctionnement

Les seuils à partir desquels un mode de fonctionnement est considéré comme le mode de fonctionnement privilégié de l'élève sont différents selon les modes de fonctionnement. Ils correspondent à 60 % des réponses de l'élève pour la composante *utilisation des lettres*, la *conversion* et le *type de justification*, à 70 % des réponses pour le *calcul algébrique* et à 75 % des réponses pour les *connaissances numériques*.

c) Le diagramme d'articulation

Une articulation entre registres est considérée comme fragile si de 40 à 69 % des réponses aux questions concernant cette articulation sont correctes, elle est considérée comme confirmée si au moins 70 % des réponses le sont. Les articulations pour lesquelles moins de 40 % des réponses sont correctes sont considérées comme très fragiles.
Le travail dans un cadre est considéré comme partiellement maîtrisé si au moins 40 % des réponses aux questions concernant ce cadre sont correctes, il est considéré comme maîtrisé si au moins 70 % des réponses aux questions concernant ce cadre sont correctes. Si dans un cadre moins de 40 % des réponses sont correctes, le travail dans ce cadre est considéré comme non maîtrisé.

4.5. LA PRÉSENTATION DES PROFILS

La deuxième tâche de PÉPIPROFIL, après le calcul du profil, consiste à présenter ce profil à l'enseignant. Il s'agit en fait bien plus que d'un simple module de présentation, l'objectif est de permettre à l'enseignant non seulement de voir le profil, mais aussi de l'appréhender et de se l'approprier. PÉPIPROFIL ne fait donc pas que présenter le profil à l'enseignant, il le lui transmet (le logiciel enseignant peut être considérée comme le passage de témoin du système à l'humain), il le lui soumet (PÉPIPROFIL n'impose pas un profil, mais le propose à l'enseignant, qui peut l'accepter ou non tel quel, le modifier). PÉPIPROFIL aide l'enseignant à se construire son propre modèle de l'élève, en confortant ou modifiant l'image que l'enseignant avait de l'élève.
Pour que l'enseignant puisse facilement s'approprier le profil, il faut naturellement que celui-ci soit clair et compréhensible, le profil doit pouvoir être expliqué à l'enseignant, justifié, en particulier en donnant le détail du diagnostic sous forme intelligible et non sous forme de matrice. Mais cela ne suffit pas, il faut également qu'il soit acceptable, c'est-à-dire qu'il corresponde aux besoins de l'enseignant, et que l'enseignant puisse l'adapter à ses habitudes (en changeant les seuils ou même en modifiant le diagnostic). Le premier point est assuré par la méthode de conception différenciée utilisée pour PÉPIPROFIL : l'outil est issu des recherches en didactique, mais des enseignants ont également participé à sa conception, en pensant à l'intégration de PÉPIPROFIL dans leurs pratiques. Pour le second point, il s'agit de rendre le logiciel adaptable par l'enseignant à ses pratiques, non seulement en rendant le logiciel paramétrable, mais aussi en proposant plusieurs niveaux de description (vue globale du profil / vue détaillée du diagnostic), en utilisant différents modes de représentation pour présenter le profil (représentation textuelle, numérique et graphique), en proposant surtout

plusieurs degrés d'implication de l'enseignant dans l'utilisation de PÉPIPROFIL (visualisation du profil, consultation du diagnostic, paramétrisation et même modification du diagnostic).
Notons par ailleurs que les termes utilisés dans la description des profils ont été reformulés afin d'être adaptés au vocabulaire utilisé par les enseignants. C'est pourquoi les termes utilisés dans le profil de PÉPITE ne sont pas les mêmes que ceux utilisés dans l'outil de diagnostic papier – crayon présenté au chapitre 1.

4.5.1. PRÉSENTATION GLOBALE DU PROFIL

Le premier niveau de description de PÉPIPROFIL propose une vision globale du profil à travers quatre parties : les taux de réussite et les traitements maîtrisés, les modes de fonctionnement, le diagramme d'articulation entre les cadres mis en jeu dans le test et un résumé du profil sous forme textuelle. Les trois premières parties présentent les éléments du profil sous forme à la fois graphique et numérique. Cette présentation globale visuelle permet à l'enseignant d'appréhender rapidement le profil de l'élève.
Notons que les différents points de cette vue globale du profil peuvent être imprimés (cf. annexe 16).

a) Les taux de réussite et les traitements maîtrisés

L'objectif de cette partie du profil est de donner à l'enseignant un aperçu rapide des compétences algébriques de l'élève à l'aide d'indicateurs quantitatifs, ainsi que la liste des traitements maîtrisés par l'élève.

♦ **Taux de réussite**

La première partie du profil donne la répartition des réponses de l'élève entre traitements corrects, traitements corrects mais partiels ou non attendus, traitements incorrects et absence de réponse, sous forme d'un graphique en barres empilées (cf. partie supérieure de la Figure 4-3). Cette représentation visuelle est renforcée par le jeu de couleurs utilisé (réponses correctes en vert et réponses incorrectes en rouge, correspondant aux associations recommandées pour les couleurs [KOLSKI, 1993]). Les couleurs correspondant aux réponses correctes et aux réponses correctes partielles ou correctes non attendues sont différentes pour permettre leur distinction, tout en étant proches pour permettre à l'enseignant d'assimiler les deux types de réponses.
Cet écran indique également le taux de réussite de l'élève pour les questions traitées (c'est-à-dire sans tenir compte des questions auxquelles l'élève n'a pas répondu). Ce taux est de 73% dans le cas de Jean-Luc T. donné sur la Figure 4-3.
Ce premier écran de PÉPIPROFIL donne ensuite le taux de réussite de l'élève pour chaque type d'exercices (exercices techniques, exercices de mathématisation et exercices de reconnaissance), dont la définition est également donnée dans cette partie. Ce taux est par exemple de 27% pour les exercices techniques dans le cas de Jean-Luc. Cette information concerne uniquement les questions auxquelles l'élève a répondu, comme le taux de réussite et comme les traitements maîtrisés (cf. paragraphe suivant), mais à l'inverse de la répartition sous forme de diagramme en barres. Cette différence entre la première partie et le reste de

cet écran est indiquée visuellement par un polygone plus clair qui part de la partie du diagramme en barres correspondant aux questions auxquelles l'élève a répondu et qui englobe ensuite toutes les autres informations affichées : cette mise en œuvre permet d'indiquer graphiquement que les informations inscrites dans cette zone concernent uniquement les questions pointées par le sommet du polygone.

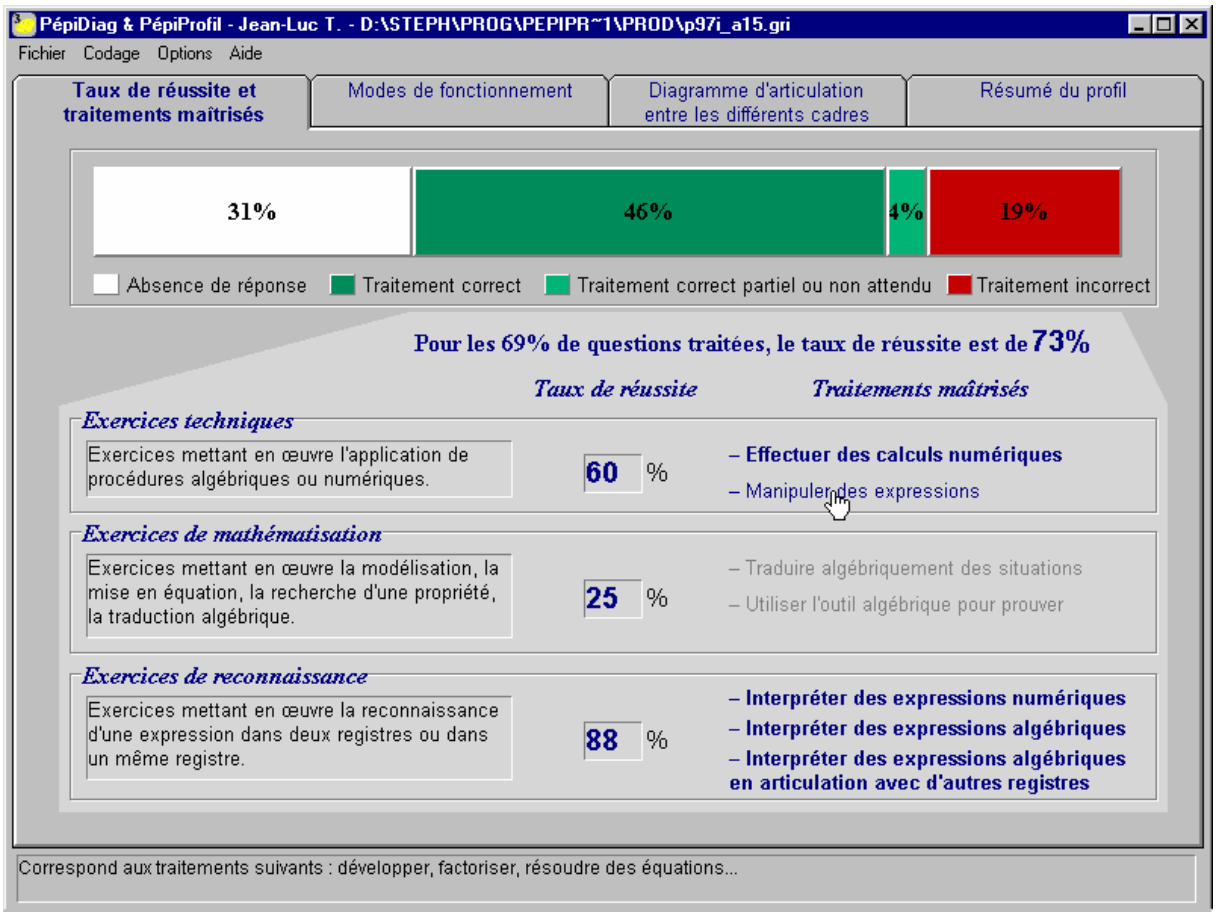


Figure 4-3 : PÉPIPROFIL, première partie du profil : taux de réussite et traitements maîtrisés.

♦ **Traitements maîtrisés**

Les sept traitements étudiés dans le test sont les suivants :
– Effectuer des calculs numériques (pour les exercices techniques),
– Manipuler des expressions (pour les exercices techniques),
– Traduire algébriquement des situations (pour les exercices de mathématisation),
– Utiliser l'outil algébrique pour prouver (pour les exercices de mathématisation),
– Interpréter des expressions numériques (pour les exercices de reconnaissance),
– Interpréter des expressions algébriques (pour les exercices de reconnaissance),
– Interpréter des expressions algébriques en articulation avec d'autres registres (pour les exercices de reconnaissance).

Pour chaque type d'exercice, PÉPIPROFIL indique les traitements que l'élève maîtrise, ceux qui sont partiellement maîtrisés et ceux que l'élève ne maîtrise pas. Ces différents niveaux de maîtrise sont indiqués visuellement par des variations dans le format des caractères : gris pour les traitements non maîtrisés, bleu pour les traitements partiellement maîtrisés et bleu

gras pour les traitements maîtrisés (cf. partie droite de la copie d'écran de la Figure 4-3). Par exemple, Jean-Luc sait interpréter des expressions numériques, sait partiellement interpréter des expressions algébriques, mais n'utilise pas l'algèbre pour prouver.
La barre d'état située en bas de l'écran donne la définition du traitement pointé par le curseur. Ce dernier point est valable pour tous les éléments du profil.

b) Les modes de fonctionnement

Pour les cinq composantes étudiées dans le test, autres que *traitement* (*utilisation des lettres*, *calcul algébrique*, *conversion*, *type de justification* et *connaissances numériques*), cette partie indique les modes de fonctionnement privilégiés de l'élève, c'est-à-dire qu'elle cherche à identifier une dominante dans le fonctionnement de l'élève (cf. Figure 4-4 et Figure 4-5).
Pour chaque composante, cette partie du profil présente les modes de fonctionnement mis en œuvre par l'élève. À chaque composante correspond une couleur. Prenons l'exemple de la composante calcul algébrique (en bleu sur la Figure 4-4).



Figure 4-4 : PÉPIPROFIL, deuxième partie du profil : les modes de fonctionnement.

À droite, dans le prolongement du titre, une barre de progression indique le nombre de questions auxquelles l'élève a répondu sur le nombre total de questions concernées par la composante (le nombre de rectangles correspond au nombre total de questions concernées par la composante, les rectangles colorés correspondent aux questions auxquelles l'élève a répondu, les rectangles gris, aux questions auxquelles l'élève n'a pas répondu). Par exemple, Jean-Luc a répondu à 20 questions sur les 42 concernant le calcul algébrique. Ces

informations sont disponibles sous forme numérique (20 réponses sur 42 questions) dans une bulle d'aide associée à la barre de progression. Cette indication, ajoutée à la demande des enseignants, permet à l'utilisateur de PÉPIPROFIL de connaître la représentativité des informations données sur la composante.

Pour chaque composante, PÉPIPROFIL donne, de plus, la répartition des réponses de l'élève entre les différents modes de fonctionnement possibles. Pour chaque mode de fonctionnement, une barre colorée indique la proportion de ce mode de fonctionnement par rapport à l'ensemble de la composante (le pourcentage est disponible dans la bulle d'aide). La barre grise indique le complément à 100%. La valeur affichée à gauche de la barre colorée, indique le nombre de réponses de l'élève pour ce mode de fonctionnement. Par exemple Jean-Luc a mis en œuvre une bonne maîtrise des règles de transformation dans 75% de ses réponses (correspondant à 15 questions), il a utilisé des règles de transformation non maîtrisées, mais avec identification correcte du rôle des opérateurs + et × dans 5% des cas et 20% de ses réponses n'ont pu être analysées par PÉPIDIAG pour la composante calcul algébrique.

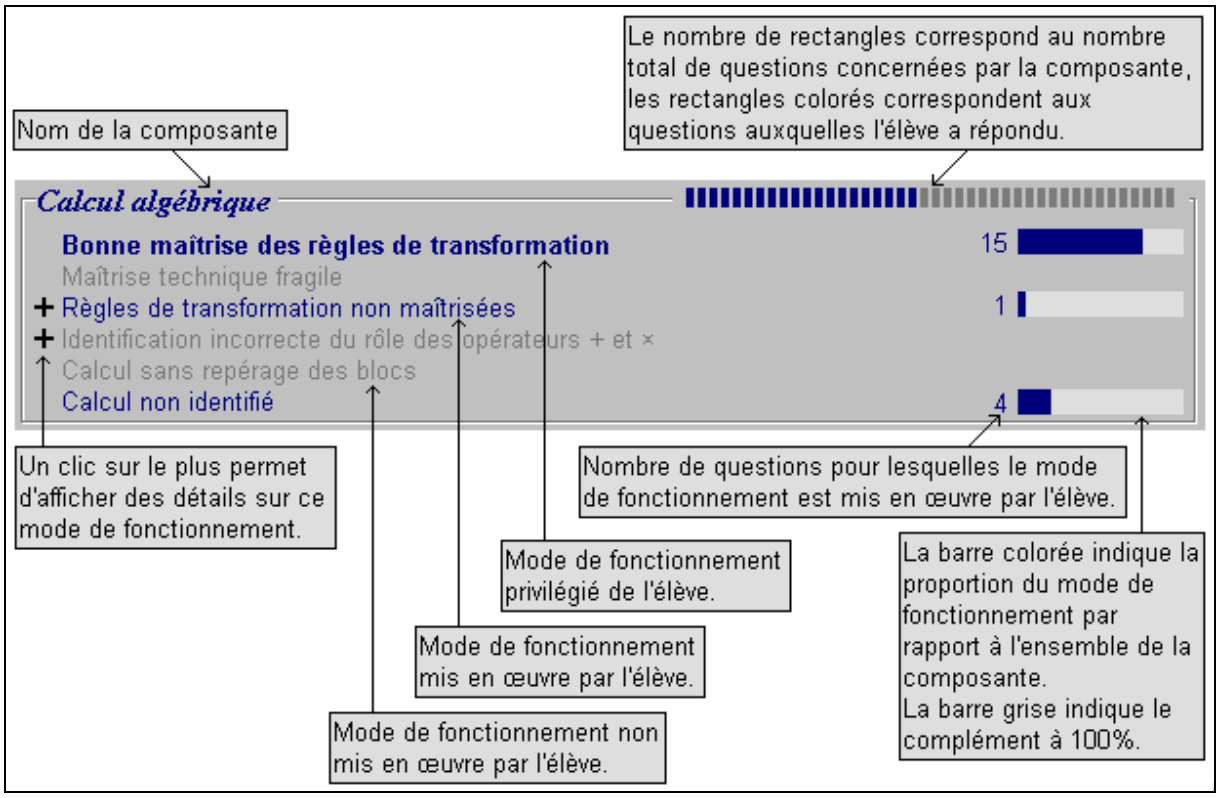


Figure 4-5 : Explication de la représentation des modes de fonctionnement pour une composante.

Le mode de fonctionnement considéré comme privilégié chez l'élève est indiqué en couleur et en gras (bonne maîtrise des règles de transformation pour Jean-Luc pour la composante calcul algébrique), les modes mis en œuvre par l'élève sont en couleur et les modes non mis en œuvre par l'élève sont affichés en gris.

Cette représentation graphique permet à l'enseignant d'avoir un rapide aperçu de modes de fonctionnement privilégiés de l'élève pour l'ensemble les composantes, mais les données numériques lui permettent également d'avoir des informations plus précises.

c) Le diagramme d'articulation entre les cadres

Cette troisième partie du profil (cf. Figure 4-6) présente le diagramme d'articulation entre les différents cadres mis en jeu dans le test (cadre algébrique naturellement puisqu'il s'agit du thème principal du test, mais aussi cadre numérique, cadre graphique, cadre géométrique et langage naturel). Les articulations sont représentées par des flèches sur le diagramme.

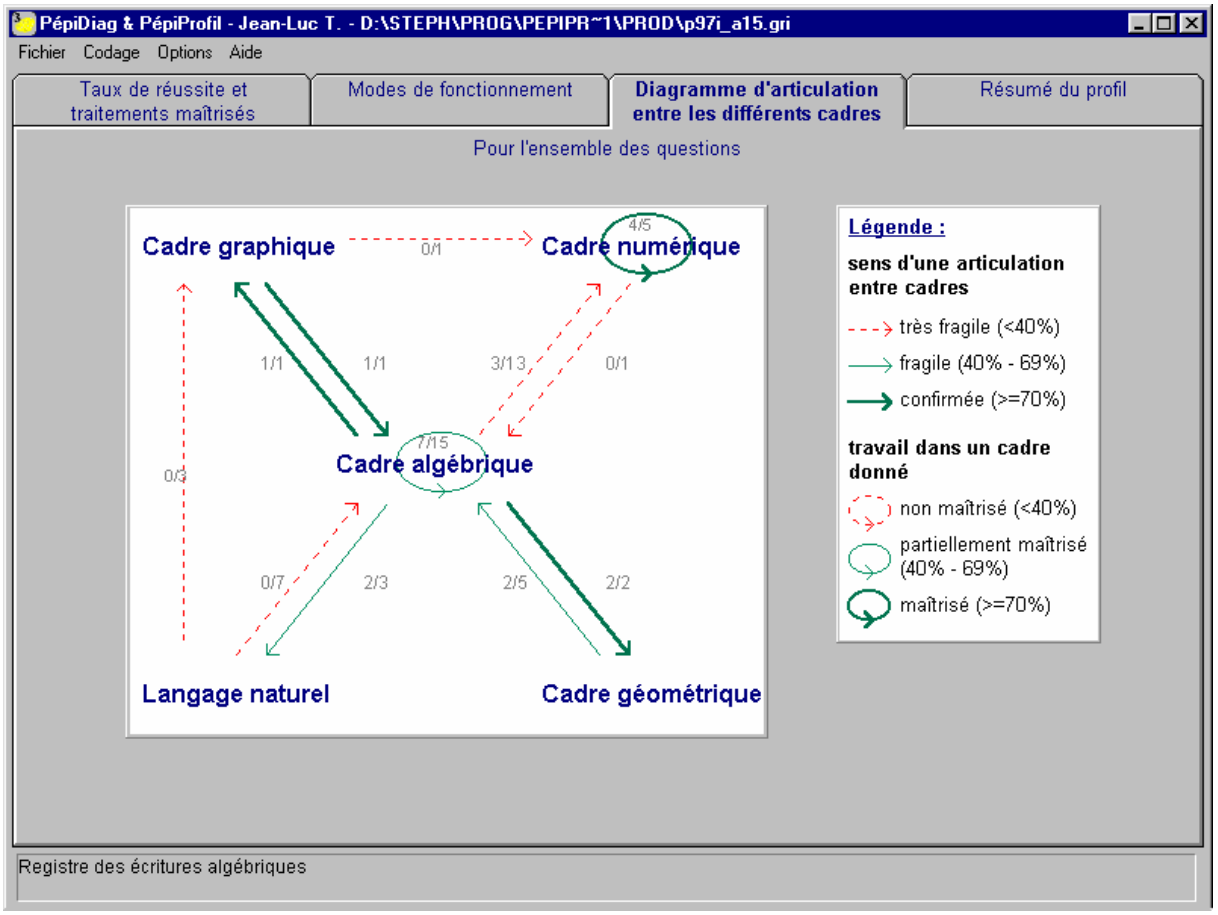


Figure 4-6 : Le diagramme d'articulation entre les différents cadres.

Le diagramme comporte deux types de flèches. Les liaisons fléchées donnent le sens d'une articulation entre deux cadres, les boucles symbolisent la gestion dans un cadre (seuls les cadres algébrique et numérique sont concernés).

Comme pour les traitements maîtrisés et les modes de fonctionnement, cette représentation indique trois niveaux de maîtrise, symbolisés par trois styles de flèches :

– Les flèches en pointillés rouges indiquent un travail dans un cadre non maîtrisé ou une articulation inexistante,

– Les flèches au trait continu fin vert indiquent un travail dans un cadre partiellement maîtrisé ou une articulation fragile,

– Les flèches au trait continu gras et vert indiquent un travail dans un cadre maîtrisé ou une articulation confirmée.

Par exemple, Jean-Luc maîtrise partiellement le travail dans le cadre algébrique, l'articulation entre le cadre algébrique et le cadre géométrique est maîtrisée, mais l'articulation dans le sens contraire, du cadre géométrique vers le cadre algébrique reste

fragile, quant à l'articulation entre le langage naturel et le cadre graphique, elle est très fragile.
À côté de chaque flèche est indiqué le nombre de questions auxquelles l'élève a répondu correctement et le nombre total de questions concernées par l'articulation.
Cette représentation graphique est fortement appréciée par les enseignants qui y trouvent très rapidement les points importants du fonctionnement de l'élève.
Une légende rappelle les seuils choisis pour distinguer articulations non maîtrisées, articulations partiellement maîtrisées et articulations maîtrisées.

d) Le résumé

En plus de ces trois parties qui correspondent au profil papier - crayon, PÉPIPROFIL propose une partie supplémentaire présentant un résumé du profil sous forme textuelle. Le résumé est généré par le système à partir de phrases pré-enregistrées comportant des variables à instancier.
Ce résumé est une aide apportée à l'enseignant dans l'interprétation du profil, puisqu'il reprend les points significatifs du profil. Mais notre but en proposant ce résumé, est également de présenter plusieurs représentations pour une même information : l'enseignant peut alors choisir la représentation qu'il préfère, ou en utiliser plusieurs.

Profil de Jean-Luc T. établi d'après le test effectué avec PÉPITEST le 12/06/1997, selon les paramètres sélectionnés dans PÉPIPROFIL.

31% des questions n'ont pas été traitées.
46% des questions ont été traitées correctement, 4% l'ont été partiellement ou de façon non attendue.
Dans 19% des questions, les réponses de Jean-Luc T. sont incorrectes.

Pour les exercices traités, les résultats sont les suivants :

Le taux de réussite de Jean-Luc T. est de 73%.
Pour les exercices techniques, 60% des réponses sont correctes. Jean-Luc effectue des calculs numériques et réussit partiellement à manipuler des expressions.
Pour les exercices de mathématisation, 25% des réponses sont correctes. Jean-Luc ne maîtrise aucun traitement.
Pour les exercices de reconnaissance, 88% des réponses sont correctes. Jean-Luc interprète des expressions numériques, interprète des expressions algébriques et interprète des expressions algébriques en articulation avec un autre registre d'écriture.

Les principaux modes de fonctionnement repérés chez Jean-Luc T. sont :
Utilisation correcte des lettres dans 100% des réponses.
La maîtrise du calcul algébrique reste insuffisante (maîtrise correcte dans seulement 48% des questions). Les difficultés sont liées à :
- Règles de transformation non maîtrisées, mais identification correcte du rôle des opérateurs + et × dans 5% des réponses (utilisation inadaptée des parenthèses qui conduit à un résultat incorrect).
Conversion correcte dans 73% des réponses.
Pas de justification dans 50% des réponses.
Aucune information n'a été obtenue concernant les connaissances numériques.

Articulations entre les différents cadres pour l'ensemble des exercices (traités ou non) :
Travail dans un cadre donné :
Le cadre numérique est maîtrisé.
Le cadre algébrique est partiellement maîtrisé.

Articulations entre cadres :
5 articulations sont inexistantes, mais les articulations suivantes existent :
Relation du registre graphique vers le registre algébrique
Relation du registre algébrique vers le registre numérique
Relation du registre numérique vers le registre algébrique
Relation du registre du langage naturel vers le registre algébrique
Relation du registre algébrique vers le registre du langage naturel

Figure 4-7 : Le résumé du profil, l'exemple de Jean-Luc T.

Ce résumé (cf. Figure 4-7) reprend les points principaux du profil :
– les taux de traitements corrects, partiels, incorrects et absences de réponse,
– les taux de réussite,
– les traitements maîtrisés et partiellement maîtrisés,
– les principales modalités mises en œuvre par l'élève, ainsi que le pourcentage de réponses correspondant ; pour le calcul algébrique, le niveau de maîtrise de l'élève ainsi que les modes de fonctionnement qui rendent compte des difficultés qu'il rencontre,
– le travail dans les cadres algébrique et numérique,
– les articulations notables entre les différents cadres, c'est-à-dire les articulations existantes si elles sont minoritaires ou les articulations inexistantes dans le cas contraire.

4.5.2. PRÉSENTATION DÉTAILLÉE DU PROFIL

La présentation globale du profil peut être complétée, si l'enseignant le souhaite, par une présentation des détails du diagnostic proposé par PÉPIDIAG.
Que ce soit pour les traitements maîtrisés, les modes de fonctionnement ou les articulations entre les différents cadres, un clic sur l'élément pour lequel l'enseignant souhaite visualiser les détails du diagnostic ouvre une fenêtre présentant, question par question, l'énoncé, la réponse de l'élève et son éventuelle justification, ainsi que le diagnostic proposé par PÉPIDIAG (sous forme plus accessible que la matrice de diagnostic), composante par composante (cf. Figure 4-8). L'accès à ce détail du diagnostic est également possible grâce au menu, en consultation et en modification, par exercice, par traitement, par mode de fonctionnement et par articulation.

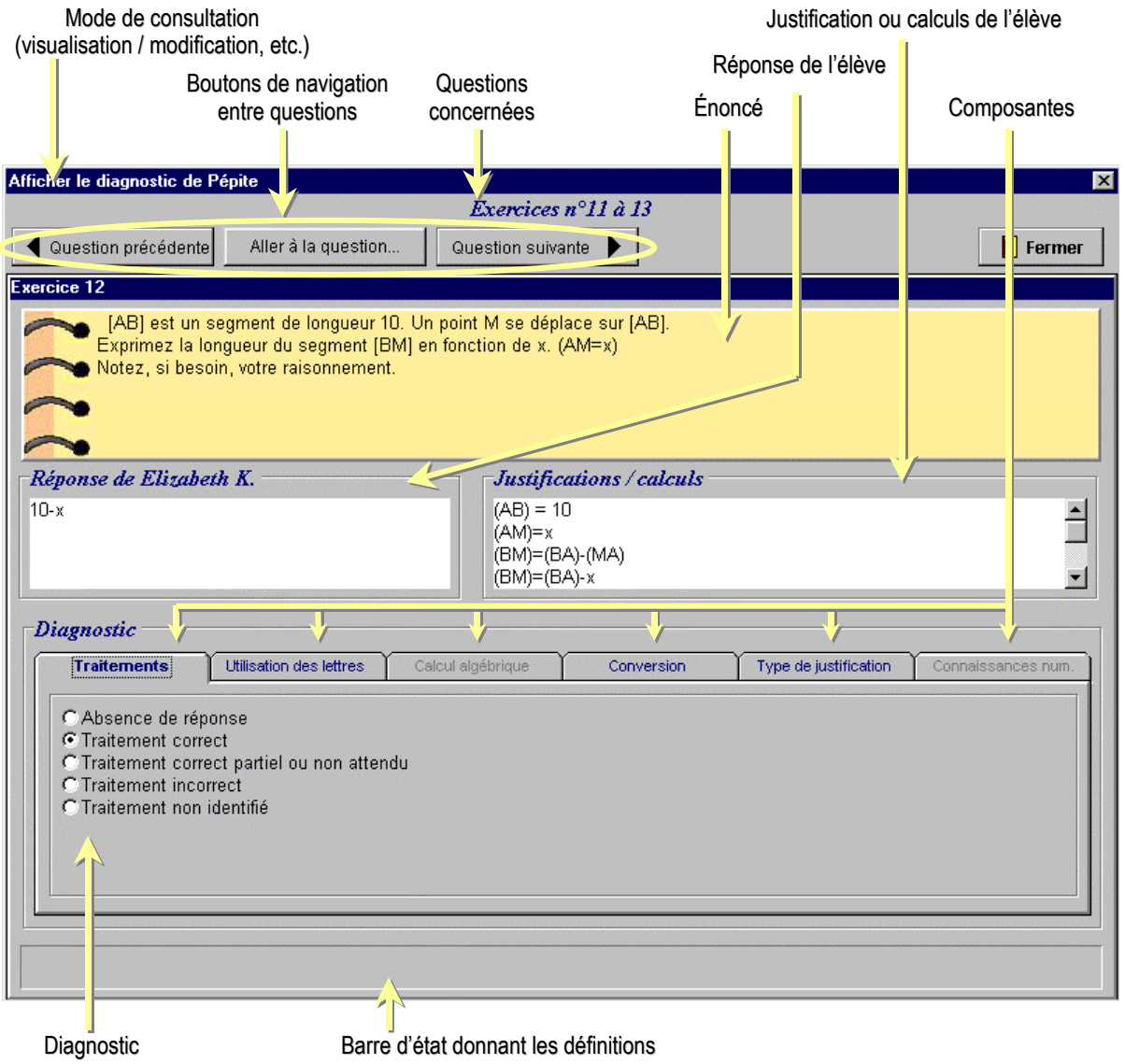


Figure 4-8 : PÉPIPROFIL, le détail du diagnostic.

4.5.3. DES PROFILS PARAMÉTRABLES

Les enseignants sont amenés à utiliser PÉPIPROFIL plusieurs fois, au moins une fois par an, à chaque rentrée, éventuellement pour plusieurs classes de seconde. Chaque enseignant a naturellement ses propres habitudes de travail et souvent des exigences particulières vis-à-vis des élèves. C'est pourquoi la plupart des éléments du profil sont paramétrables : les seuils, nous l'avons vu dans la section 4.4.5, mais aussi de façon plus anecdotique, les couleurs (les paramètres sont présentés dans l'annexe 14). L'enseignant peut donc personnaliser PÉPIPROFIL pour l'adapter à ses usages et à ses exigences. Par exemple, il peut baisser le seuil à partir duquel les traitements sont considérés comme maîtrisés, ce qui revient à être moins exigeant vis-à-vis des élèves concernant ces traitements.
Cette possibilité de personnalisation est l'un des facteurs facilitant l'intégration de PÉPITE aux pratiques des enseignants.

4.5.4. DIFFÉRENTS NIVEAUX D'IMPLICATION DE L'ENSEIGNANT

En proposant à l'enseignant différents niveaux d'implication dans l'appréhension des profils, PÉPIPROFIL aide l'enseignant à se construire son propre modèle de l'élève, en s'adaptant aux besoins de chaque enseignant, mais aussi, l'usage évoluant dans le temps, à chaque période. En permettant aux enseignants de choisir leur rôle dans le système, l'existence de ces différents niveaux d'implication facilite l'intégration du système aux pratiques des enseignants.
Les paragraphes suivants présentent les différents modes d'appréhension des profils, par niveau croissant d'implication de l'enseignant. Cette notion de niveau croissant d'implication est en partie arbitraire, car il peut être difficile de juger par exemple, si comprendre le profil uniquement en le visualisant demande réellement moins d'implication que de compléter le diagnostic.

a) Visualisation du profil et du résumé

L'utilisation la plus élémentaire de PÉPIPROFIL consiste à visualiser les trois parties du profil : taux de réussite et traitements maîtrisés, modes de fonctionnement, diagramme d'articulation entre les différents cadres, ainsi que le résumé du profil. Cette utilisation est celle, parmi les différentes utilisations proposées, qui demande le moins d'implication de l'enseignant. Toutefois, l'appropriation des différentes parties du profil demande déjà un travail important à l'enseignant, qui doit comprendre les différentes représentations utilisées (notons qu'une aide explique ces représentations).

b) Consultation du détail du diagnostic

La consultation du détail du diagnostic (cf. § 4.5.2) permet à l'enseignant de voir, question par question, les réponses de l'élève et le diagnostic que leur a associé PÉPIDIAG. Ces informations expliquent, pour chaque élément du profil, les raisons du résultat proposé. Cette utilisation correspond à la situation d'un l'enseignant qui cherche à comprendre le processus de construction du profil ou à vérifier le diagnostic.

c) Complétion du diagnostic

PÉPIPROFIL comporte un mode de complétion du diagnostic proposé par PÉPIDIAG. En effet, pour certaines réponses d'élèves, PÉPIDIAG ne réussit pas à proposer de diagnostic. Dans ces cas, PÉPIPROFIL fait appel à l'enseignant en lui proposant de compléter lui-même le diagnostic. Ce mode demande une plus grande implication de l'enseignant : celui-ci doit non seulement lire le profil, mais aussi comprendre suffisamment le fonctionnement du diagnostic pour compléter le diagnostic.

d) Modification du diagnostic

L'enseignant peut également demander à visualiser le détail du diagnostic en mode modification. Dans ce cas, l'enseignant consulte et vérifie le diagnostic proposé par PÉPIDIAG et éventuellement le modifie s'il est en désaccord avec PÉPIDIAG. L'implication de

l'enseignant est alors à son maximum, pour utiliser ce mode il doit maîtriser suffisamment le fonctionnement du diagnostic pour remettre les propositions de PÉPIDIAG en question.

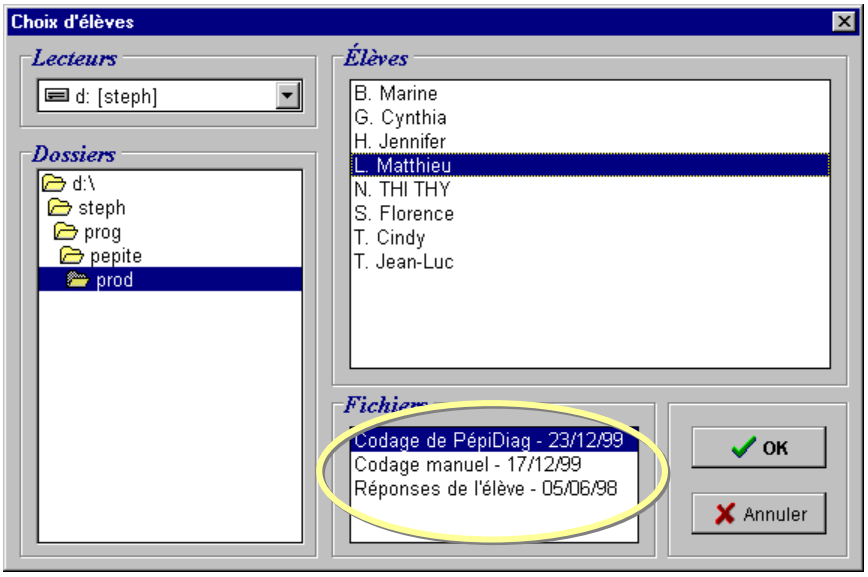


Figure 4-9 : Choix du fichier à l'origine du calcul et de l'affichage des profils.

Si l'enseignant modifie le diagnostic, la nouvelle matrice est enregistrée dans un fichier distinct. Au moment de la consultation du profil, l'enseignant peut donc choisir de visualiser le profil, d'après le diagnostic automatique, ou d'après son propre diagnostic (cf. Figure 4-1).

e) Paramétrisation / personnalisation PÉPIPROFIL

Un autre mode d'utilisation de PÉPIPROFIL à forte implication de l'enseignant, consiste à personnaliser le logiciel. En modifiant les paramètres, et en particuliers la valeur des seuils, l'enseignant peut adapter les profils à ses propres exigences vis-à-vis des élèves (cf. § 4.5.3).

f) Conclusion sur les différents niveaux d'implication de l'enseignant

La Figure 4-10 résume les différents niveaux d'implication de l'enseignant dans l'utilisation de PÉPIPROFIL en les classant sur une échelle d'implication.

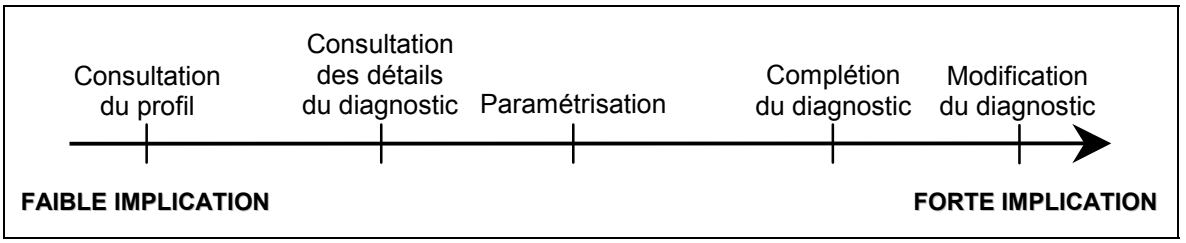


Figure 4-10 : Les différentes utilisations de PÉPIPROFIL selon le degré d'implication de l'enseignant.

Selon nous, l'implication des enseignants dans l'utilisation de PÉPITE évoluera dans le temps. Il semble en effet naturel que les premières utilisations servent d'apprentissage du système. Après cette phase de familiarisation, l'enseignant souhaitera peut-être mieux comprendre le profil et la façon dont il a été construit et désirera donc voir le détail du diagnostic, puis progressivement le compléter et même le modifier. Une fois que les enseignants auront pris confiance en PÉPITE en consultant à plusieurs reprises le détail du

diagnostic, ils accepteront sans doute les profils tels quels, sans systématiquement chercher à voir le profil détaillé, ce qui demande plus de temps. Cette mise en œuvre est capitale : de ces possibilités pour l'enseignant de remettre en cause le diagnostic dépend en partie son acceptation du système.

4.5.5. QUESTIONNEMENT SUR L'UTILISATION DE PÉPIPROFIL

Les tests auprès d'enseignants non impliqués dans le projet étant à leurs débuts, beaucoup des questions que nous nous posons concernant l'usage effectif de PÉPIPROFIL restent en suspens.

Dans les premiers tests effectués, les enseignants à qui nous avons présenté le logiciel étaient plus intéressés par les profils de leurs élèves que par la façon dont les profils avaient été construits. C'est pourquoi nous pensons que les possibilités de consultation et de modification des détails du profil mises en œuvre dans le système serviront en fait assez peu.

Globalement, nous nous donc interrogeons sur l'usage que les enseignants feront du logiciel qui leur est réservé. Nous nous demandons en particulier dans quelle mesure les enseignants utiliseront les possibilités de consultation et de modification du diagnostic qui ont été mise en place. Les enseignants utiliseront peut-être très peu ces fonctionnalités assez complexes, ou au contraire, ils les utiliseront systématiquement pour vérifier le diagnostic établi par PÉPIDIAG. Par ailleurs, le résumé n'existant pas dans la forme papier – crayon des profils, nous n'avons pas d'indication quant à son utilisation par les enseignants.

Nous nous interrogeons également sur l'usage qui sera fait des profils. Dans la section suivante, nous détaillons les utilisations que nous envisageons dès maintenant.

4.6. LES UTILISATIONS POSSIBLES DE PÉPITE ET DE SES PROFILS

Afin de faciliter l'intégration de PÉPITE aux pratiques des enseignants, nous avons souhaité prévoir ses utilisations, en essayant de déterminer le rôle de l'enseignant dans ces utilisations [VIVET, 1990] [VIVET, 1991]. L'importance de la définition et de la proposition d'usages est mise en évidence dans le cas de l'évaluation nationale en seconde, par l'existence d'un stage d'IUFM proposant de former les enseignants à l'utilisation de cette évaluation et de les aider à en utiliser les résultats : l'existence d'un outil d'évaluation, même de qualité, ne garantit pas qu'il sera utilisé, il faut expliquer à l'utilisateur comment il peut l'utiliser.

Nous avons conscience que les usages que nous prévoyons seront sans aucun doute adaptés par les enseignants, ou même ignorés ou remplacés par d'autres. Jacques PERRIAULT indique que « le comportement des usagers est souvent en décalage par rapport au mode d'emploi d'un appareil. Il n'est pas unique non plus. Il y a de grandes variétés d'attitudes et de comportements. ». Il ajoute que « l'usage se fixe plus ou moins vite » [PERRIAULT, 1989].

Nous considérons donc les usages que nous proposons comme des propositions d'utilisations, pas comme des impératifs à suivre.

Par ailleurs, les enseignants se forgeront leurs propres usages de PÉPITE, à partir, ou non, des usages que nous proposons. Ils devront s'approprier le logiciel : en s'adaptant à ses possibilités et à ses contraintes, mais aussi en l'adaptant à leurs besoins et habitudes de travail. Wendy MACKAY indique que l'utilisation de la technologie est co-adaptative : la technologie modifie les habitudes de travail et les attentes des utilisateurs ; les utilisateurs adaptent la technologie à leurs besoins, l'interprètent et la modifient [MACKAY & FAYARD, 1997]. Plus précisément, Pierre RABARDEL décrit ce processus, comme procédant de la genèse instrumentale, par laquelle un utilisateur s'approprie un instrument, à la fois par une instrumentation et par une instrumentalisation (cf. chapitre 1) [RABARDEL, 1995].
Cette approche permet de revoir la notion de détournement d'usage comme activité « noble » du sujet, faisant partie du processus de conception.
Dans la suite de cette section, nous présentons les différents usages que nous prévoyons dès maintenant, qu'il s'agisse d'usages prévus dès le début du projet, ou d'usages imaginés ensuite en travaillant avec des enseignants.

4.6.1. UTILISATION DES PROFILS EN CLASSE

L'utilisation « classique » des profils de PÉPITE, c'est-à-dire l'usage prévu à l'origine du projet, correspond à l'utilisation des profils par l'enseignant en classe, au début de la classe de seconde.
Le principe est le suivant : les élèves passent le test avec PÉPITEST en salle informatique, puis l'enseignant utilise PÉPIPROFIL (en salle des professeurs ou chez lui) pour construire et imprimer les profils de ses élèves. L'enseignant utilise les profils, que ce soit directement sur écran avec PÉPIPROFIL ou sous forme de fiches imprimées, pour identifier les connaissances et compétences des élèves en début d'année, et éventuellement pour former des groupes d'élèves fondés non plus sur les notes d'un devoir de rentrée, mais sur les connaissances des élèves. Les fiches lui permettent de garder une trace des profils de ses élèves en début d'année, trace utilisable tout au long de l'année (en particulier pour voir l'évolution des compétences des élèves).

4.6.2. UTILISATION DES PROFILS EN CLASSE, AVEC L'AIDE DE PÉPICLASSE

Dans le projet PÉPITE, nous souhaitons apporter une aide aux enseignants dans l'utilisation des profils d'élèves dans leurs classes, c'est le rôle de PÉPICLASSE : le logiciel construit le profil de la classe et aide l'enseignant à constituer des groupes des élèves.

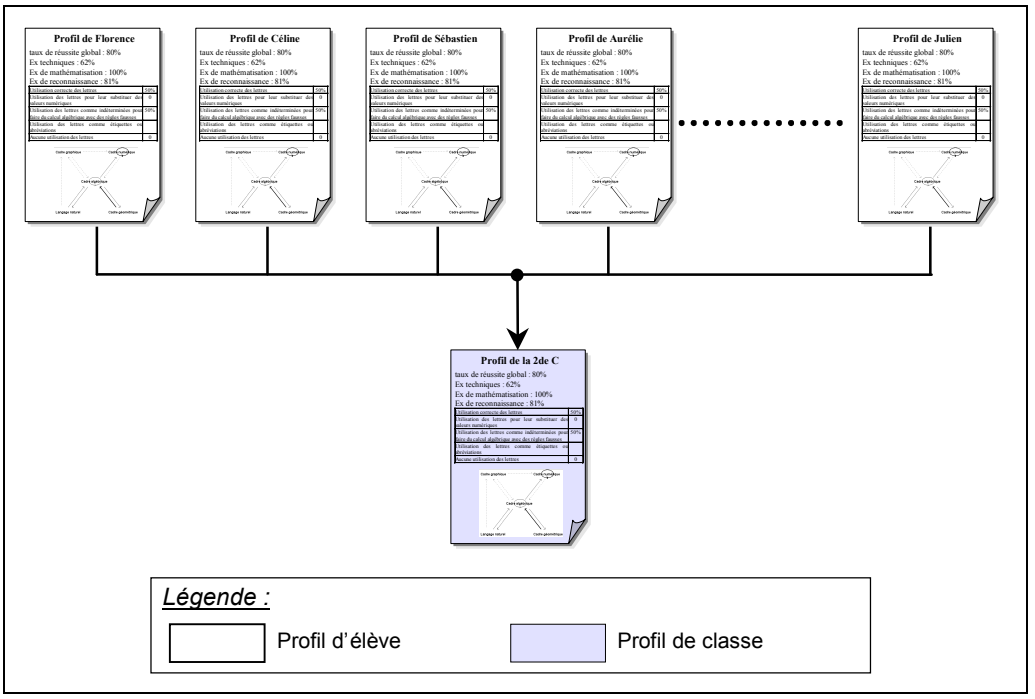


Figure 4-11 : Construction du profil de la classe à partir des profils d'élèves.

PÉPICLASSE construit tout d'abord le profil de la classe à partir de l'ensemble des profils des élèves (cf. Figure 4-11). Ce profil de classe comporte les mêmes éléments que les profils d'élèves.

Pour les éléments numériques (les taux de réussites), le profil de classe est calculé en faisant la moyenne des profils des élèves. Pour les éléments non numériques (traitements maîtrisés, modes de fonctionnement et articulations entre cadres), le profil de classe donne le nombre d'élèves (et à la demande, la liste des élèves) qui maîtrisent le fonctionnement.

Une fois le profil de classe construit, l'enseignant peut sélectionner un ou plusieurs critère(s) sur le(s)quel(s) il souhaite fonder la définition des groupes d'élèves. Les critères peuvent être n'importe quels éléments du profil (taux de réussite, traitements maîtrisés, modes de fonctionnement ou articulations entre cadres). Selon le critère choisi, l'enseignant spécifie ensuite un ou des seuil(s) déterminant la séparation des élèves en plusieurs groupes.

À partir des critères choisis, PÉPICLASSE établit des groupes d'élèves aux profils voisins du point de vue des critères sélectionnés et propose enfin des thèmes de travail adaptés aux critères.

C'est ensuite l'enseignant qui détermine lui-même les groupes d'élèves, à partir des indications fournies par PÉPICLASSE. Il peut décider de faire travailler d'une part, les élèves qui ne maîtrisent pas un traitement et d'autre part, ceux qui maîtrisent partiellement ou correctement ce traitement. Il peut au contraire composer des binômes associant un élève qui ne maîtrise pas un traitement, à un élève qui le maîtrise. L'idée est d'assister l'enseignant dans son travail pédagogique, mais surtout pas de prendre sa place de pédagogue au sein de la classe.

La conception de PÉPICLASSE est en cours, la construction du profil de classe est déjà réalisée.

4.6.3. UTILISATION DES PROFILS DANS UN EIAO

Une des façons d'exploiter la richesse des profils de PÉPITE, est d'utiliser les informations qu'ils donnent, comme initialisation d'un modèle de l'apprenant dans un EIAO. Le projet LINGOT, prolongement du projet PÉPITE, a pour objectif de concevoir un EIAO proposant des activités, des aides et des explications adaptées aux connaissances et compétences de l'élève, en s'appuyant sur le profil donné par PÉPITE. L'idée est de s'appuyer sur les connaissances de l'élève (les *pépites*), pour en construire de nouvelles (les *lingots*).

4.6.4. INTÉGRATION DES PROFILS À L'ÉVALUATION NATIONALE EN SECONDE

Depuis plusieurs années, les enseignants de mathématiques des classes de seconde procèdent à une évaluation nationale obligatoire en début d'année. L'objectif est de former des groupes d'élèves pour les enseignements en modules. Dans cette section nous présentons brièvement l'évaluation nationale en seconde, puis nous indiquons comment PÉPITE pourrait s'insérer dans ce cadre.

a) L'évaluation nationale en seconde

« […]L'évaluation de début de seconde est nationale et obligatoire dans toutes les classes de seconde des lycées professionnels et des lycées d'enseignement général et technologique publics et privés sous contrat. [Elle] fait partie du dispositif d'accompagnement pédagogique et est destinée à aider les enseignants à apprécier les compétences des jeunes face aux objectifs du lycée. C'est une évaluation diagnostique qui permet d'identifier les besoins de chaque élève par rapport à des capacités mises en œuvre dans les enseignements du lycée. Les professeurs disposent ainsi d'éléments objectifs pour adapter à leurs élèves leur progression pédagogique, et arrêter l'organisation et le contenu des différentes structures à effectif réduit. » [BO n°29, 22 juillet 1999].

b) Comment PÉPITE pourrait s'intégrer dans l'évaluation nationale en seconde

Comme l'indiquent les textes officiels (cf. section précédente), les objectifs de PÉPITE et ceux de l'évaluation nationale en seconde sont très proches. En fait, les informations fournies par l'évaluation nationale en seconde sur les connaissances et compétences des élèves sont assez limitées, les profils de PÉPITE, au moins en ci qui concerne l'algèbre, sont plus riches. Ceci tient, non pas aux activités proposées, qui sont similaures, mais à l'analyse qui en est faite. Il semble naturel de penser à un rapprochement. L'annexe 18 donne un exemple d'exercice de l'évaluation nationale de septembre 1997, ainsi que le bilan du test.
Il serait possible, en formatant les profils de PÉPITE de façon à ce qu'ils correspondent aux informations demandées par l'évaluation nationale, de faire passer le test avec PÉPITEST, puis de produire les profils correspondants avec PÉPIDIAG et PÉPIPROFIL et enfin d'« injecter » une partie des informations de ces profils dans les résultats de l'évaluation nationale.

4.6.5. UTILISATION DES PROFILS PAR LES ÉLÈVES

Une des attentes des élèves qui utilisent PÉPITEST, est d'avoir une correction du test. Leur frustration est compréhensible. Une solution simple serait de leur proposer une correction imprimée du test ainsi qu'une impression de leur solution, comme cela est pratiqué habituellement en environnement papier – crayon. Une version améliorée de cette correction intégrerait une « explication » des éventuelles erreurs de l'élève qui consisterait à leur présenter le diagnostic proposé par PÉPIDIAG pour les réponses. Plus qu'une explication, il s'agirait plutôt d'un bref descriptif de l'erreur et de son origine, si elle est identifiée, ainsi qu'une présentation de la solution (par exemple « le carré du double de x s'écrit $(2x)^2$. Sans parenthèses, le carré ne porte que sur x, $2x^2$ correspond donc au double du carré de x »).
Le profil proposé par PÉPIPROFIL est cependant plus riche qu'une simple correction. Il semble donc intéressant de proposer aux élèves une version adaptée du profil. Cette adaptation demande un travail de reformulation des éléments du profil, qui devrait être faite par les didacticiens et les enseignants du projet, ainsi qu'une refonte de la présentation des profils. PAIVA, SELF et HARTLEY mettent en évidence la difficulté d'utiliser le modèle de l'élève d'un EIAO pour le présenter à l'élève [PAIVA et al., 1995]. Dans notre cas, le travail est tout de même un peu plus simple, puisque le profil s'adresse déjà à un humain, l'enseignant, et non pas seulement à un logiciel.
Ce profil pourrait même devenir un moyen de communication entre l'enseignant et l'élève : l'élève se construit une représentation de ce que pensent le système et l'enseignant de lui, il peut éventuellement exprimer son désaccord vis à vis de certains points. Cette démarche peut être rapprochée de celle adoptée avec certains modèles de l'élève qui sont inspectables et modifiables par l'élève lui-même [PAIN & BULL, 1995]. Le diagnostic est alors considéré comme un processus collaboratif et mutuel [DILLENBOURG, 1994]. L'existence d'un tel profil pourrait par ailleurs permettre une utilisation de PÉPITE en auto-évaluation. Une telle utilisation peut être envisagée pour le diplôme d'accès à l'Université, dans le cadre du campus virtuel de l'Université du Maine.

4.6.6. UTILISATION DES PROFILS COMME BILAN

PÉPITE proposant une possibilité d'évaluation qualitative des connaissances des élèves peu coûteuse en temps pour les enseignants, certains enseignants ont dès maintenant des idées d'utilisations qui vont au-delà des utilisations prévues à l'origine. Cette section présente la proposition faite par des enseignants d'utiliser les profils de PÉPITE comme bilan en fin de troisième et comme test d'orientation en fin de seconde.

a) Bilan en fin de 3ème

PÉPITE est conçu pour correspondre aux attentes des enseignants en début de seconde (évaluer rapidement les connaissances des élèves en début d'année, afin de mieux les connaître, pouvoir, dès le début de l'année, former des groupes de niveaux, fondés sur les connaissances des élèves et proposer aux élèves des activités adaptées à leurs connaissances). Le test n'est, à l'origine, pas conçu pour les enseignants de classes de troisième. Un usage a cependant été proposé par une enseignante de troisième intéressée par

un diagnostic cognitif automatique : elle a présenté le test à ses élèves comme un bilan de connaissances avant l'examen du Brevet des Collèges, qui permettrait aux élèves d'identifier leurs lacunes et de savoir ce qu'ils doivent réviser en priorité pour le brevet. Cette même enseignante souhaiterait également utiliser des versions partielles du test, permettant de construire des profils partiels, à différents moments clefs de l'année (à la fin des différents trimestres), comme bilan des compétences des élèves à ces périodes.
On peut alors même imaginer la réalisation d'un EIAO, LINGOT-BREVET, permettant aux élèves de faire des révisions pour le Brevet des Collèges, en fonction de l'évaluation fournie par PÉPITE.

b) Test d'orientation

Lors d'une des réunions pluridisciplinaires de conception, pendant notre réflexion sur les paramètres de PÉPIPROFIL, une enseignante a proposé une utilisation détournée de ces paramètres : l'enseignant pourrait non seulement utiliser ces paramètres pour adapter les profils à ses exigences, mais aussi pour les faire varier selon ses objectifs. L'idée est de choisir des paramètres plus exigeants que ceux proposés par défaut, pour identifier, en fin de seconde, quels élèves peuvent passer en première scientifique. Ce nouvel usage pourrait, si son utilité est confirmée par d'autres enseignants et si l'idée en est acceptée, être intégré à PÉPIPROFIL en ajoutant par exemple au bouton « paramètres par défaut », un bouton « paramètres pour le passage en 1ère S ». L'activation de ce bouton provoquerait le remplacement des seuils par ceux identifiés comme permettant d'évaluer les capacités des élèves à suivre dans ces classes.
C'est d'ailleurs cette même utilisation qui a été imaginée par un journaliste du journal « Le Monde » : « "Votre niveau n'est pas encore suffisant pour le passage en seconde." Marc est déçu. Il vient de recevoir les résultats de son contrôle automatique de mathématiques. Sur l'écran d'ordinateur, les commentaires ne sont pas fameux : "Vous ne maîtrisez pas les changements de représentation, c'est-à-dire le lien entre l'algébrique et le numérique." » [ALBERGANTI, 1999].
L'utilisation de PÉPITE comme test d'orientation va à l'encontre de la philosophie du test. Même si nous ne cautionnons pas cet usage, il correspond sans doute à une attente des enseignants et il faut garder à l'esprit que les détournements d'usage font partie de la vie d'un outil. Jacques PERRIAULT signale que « l'instrument connaît des détournements. On l'emploie pour un projet autre que le projet initial en lui conférant une autre fonction. » [PERRIAULT, 1989]. POCHON et GROSSEN indiquent pour leur part que « l'usager n'utilise pas toujours la machine de la manière prévue par les concepteurs et que l'usage effectif d'un logiciel peut s'écarter de l'ordonnancement présupposé dans la mise en œuvre de ses fonctionnalités. » [POCHON & GROSSEN, 1997b].
Ne souhaitant pas mettre cette possibilité d'utilisation en avant, nous ne mettrons en place aucun moyen de la faciliter (la création d'un bouton « paramètres pour le passage en 1ère S »), tout en sachant que rien n'empêche une telle utilisation.

4.6.7. UTILISATION DE PÉPITE EN FORMATION DES MAÎTRES

Même s'il ne s'agit pas de son objectif initial, PÉPITE a rapidement été perçu comme un outil intéressant en formation des maîtres, pour les futurs professeurs de mathématiques. Différentes utilisations sont d'ors et déjà envisagées.

Les enseignants stagiaires peuvent tout d'abord étudier les différents éléments du profil, c'est-à-dire tout ce qu'un enseignant peut identifier à partir des productions des élèves. L'utilisation de PÉPITE, avec les corpus qui sont disponibles[4], permet également de convaincre les futurs enseignants que les réponses des élèves présentent des régularités que l'on peut apprendre à repérer. Ils peuvent ensuite étudier le diagnostic proposé par PÉPIDIAG pour différentes productions d'élèves (l'étude de corpus peut être également très intéressante), ce qui peut permettre de voir comment associer un mode de fonctionnement à une réponse d'élève. Les stagiaires peuvent enfin, pour apprendre à diagnostiquer les modes de fonctionnement des élèves, analyser manuellement des productions d'élèves et comparer ensuite leur diagnostic manuel et le diagnostic proposé par PÉPIDIAG. Des formateurs maîtrisant PÉPITE, l'utilisent déjà en formation des maîtres.

Par ailleurs, l'intégration de tels usages de PÉPITE dans la formation des maîtres est le sujet d'un projet dans le cadre du développement de ressources multimédia pour la formation des enseignants. L'objectif est d'intégrer ces usages de PÉPITE à un cours multimédia sur la compétence algébrique dans les IUFM de Créteil et d'Amiens.

4.6.8. AMÉLIORATION DU DIAGNOSTIC

PÉPIPROFIL permet une analyse manuelle des productions d'élèves. Cette possibilité peut permettre, en comparant le diagnostic fait manuellement par un expert, au diagnostic automatique de PÉPIDIAG, d'évaluer le diagnostic de PÉPIDIAG. Il est ensuite possible d'utiliser les différences identifiées pour faire évoluer PÉPIDIAG en lui permettant de corriger ou d'étendre l'analyse. Cette évolution correspond au fonctionnement incrémental de la conception de PÉPIDIAG.

Cette possibilité peut être facilitée par la conception d'un utilitaire de comparaison de matrices.

4.6.9. AMÉLIORATION DE L'ANALYSE DIDACTIQUE A PRIORI

L'existence dans PÉPIDIAG de codes correspondants pour chaque composante à un mode de fonctionnement non identifié (c'est-à-dire non prévu dans l'analyse a priori ou que PÉPIDIAG n'a pas pu identifier) peut permettre de lister les questions et réponses d'élèves conduisant à la mise en œuvre de tels codes, c'est-à-dire toutes les questions pour lesquelles PÉPIDIAG n'a pas réussi à diagnostiquer la réponse de l'élève. Il peut alors s'agir d'une insuffisance de l'analyse a priori ou de l'analyse de PÉPIDIAG. Dans le premier cas, cette liste permettrait, si c'est nécessaire, c'est-à-dire si l'insuffisance correspond à un élément significatif du

[4] Afin de faciliter le travail sur les corpus, nous avons développé un utilitaire permettant de regrouper les corpus, exercice par exercice.

comportement des élèves, de compléter l'analyse a priori. Dans le second cas, cette liste permettrait d'identifier les éléments de PÉPIDIAG à améliorer.

4.7. ÉVALUATION DE PÉPIPROFIL

L'évaluation de PÉPIPROFIL, comme celle de PÉPITEST, comporte deux parties. Pour la partie de calcul des profils, nous définissons des critères de validation permettant de vérifier la validité des profils construits. Pour la partie de soumission des profils à l'enseignant, c'est-à-dire pour l'interface PÉPIPROFIL, l'évaluation consiste en des tests avec des enseignants.

4.7.1. CRITÈRE DE VALIDATION DE PÉPIPROFIL

Contrairement à l'évaluation de PÉPIDIAG qui peut mettre en évidence des différences entre diagnostic automatique et diagnostic manuel, l'évaluation de la partie de calcul des profils de PÉPIPROFIL ne doit laisser la place à aucune différence entre calcul manuel et calcul automatique. En effet, si PÉPIDIAG fait une interprétation des observables, PÉPIPROFIL applique « seulement » un algorithme de calcul. La validation de cette partie de PÉPIPROFIL consiste donc à vérifier la validité de cet algorithme. Les critères de validation issus du modèle proposé par Nicolas BALACHEFF nous permettent de spécifier cette vérification.

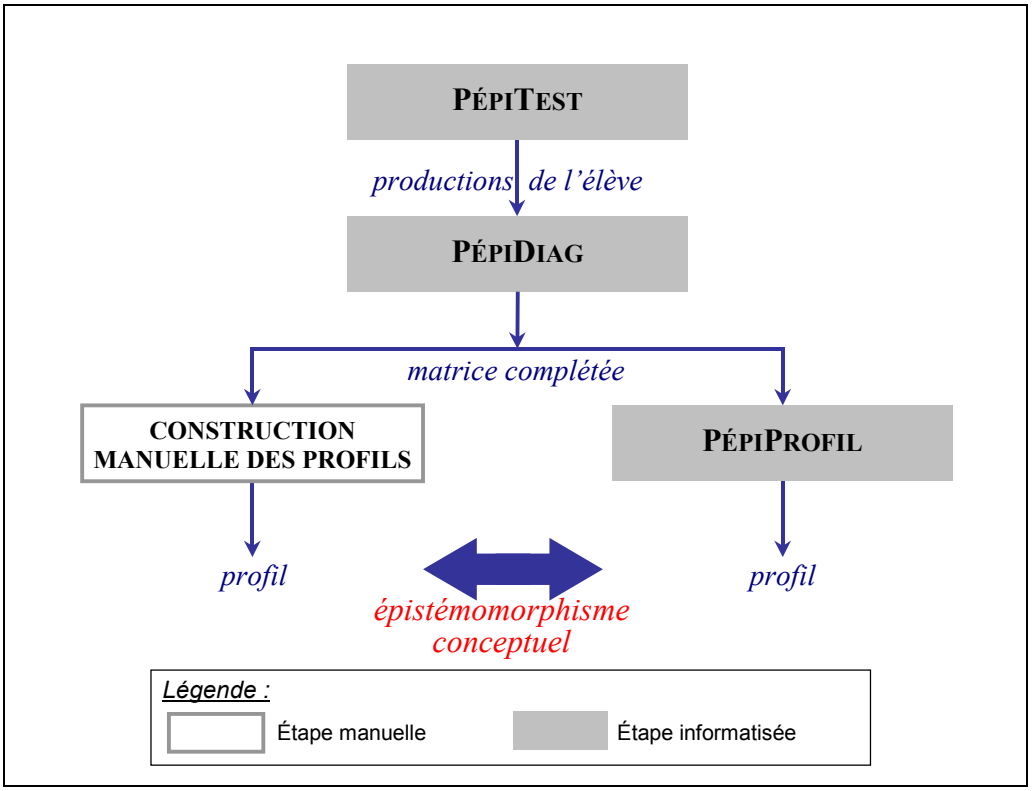


Figure 4-12 : Critère de validation de PÉPIPROFIL : l'épistémomorphisme conceptuel.

Pour l'évaluation de la partie de calcul des profils de PÉPIPROFIL, nous cherchons donc à montrer que les profils construits automatiquement par PÉPIPROFIL à partir de la matrice complétée par PÉPIDIAG sont équivalents aux profils construits manuellement à partir de la même matrice de PÉPIDIAG, c'est-à-dire que nous cherchons à montrer l'équivalence de la construction manuelle des profils et de la construction automatique des profils par

PÉPIPROFIL (cf. Figure 4-12). La validation de PÉPIPROFIL consiste donc à démontrer la seconde partie de *l'épistémomorphisme* (l'épistémomorphisme conceptuel), celle qui correspond à l'équivalence des modèles épistémiques conceptuels.
Techniquement, la comparaison entre les profils construits manuellement et les profils construits automatiquement par PÉPIPROFIL, s'est faite en comparant, pour tous les éléments du profil (taux de réussite – global et par types d'exercices-, puis taux de réussite pour les traitements, les modes de fonctionnement et les articulations entre cadres), la valeur calculée par l'expert à la valeur donnée par PÉPIPROFIL.

4.7.2. ÉVALUATION DE L'INTERFACE

L'évaluation de la partie « soumission des profils à l'enseignant » de PÉPIPROFIL, nous avons adopté des méthodes d'évaluation d'IHM. L'évaluation de l'interface du logiciel enseignant à été faite d'abord pendant la conception, en particulier en respectant les critères ergonomiques et par des jugements d'experts. Nous avons également procédé à plusieurs tests avec des didacticiens, puis avec des enseignants concernés par le projet PÉPITE, dans le cadre de notre méthode de conception différenciée. Enfin, nous avons des premiers tests avec des enseignants non impliqués dans le projet. De telles expérimentations sont particulièrement importantes pour tester, non seulement l'utilisabilité de l'interface, mais également l'utilité du logiciel.

a) Test informel

Nous avons fait un premier test avec une enseignante ne faisant pas partie du projet et ignorant tout de PÉPITE.

♦ **Les conditions d'expérimentation**

Ce test a eu lieu au Collège du VIEUX COLOMBIER, au MANS le 18 juin 1999, de 10h à 12h.
Lors de ce test, nous avons présenté à l'enseignante les profils des élèves de sa classe, construits avec PÉPIPROFIL, les élèves ayant fait le test avec PÉPITEST quelques jours auparavant.

♦ **Les résultats**

Ce test a tout d'abord permis de mettre en évidence un grand intérêt, à la fois pour le test et pour les profils construits. L'enseignante a immédiatement souhaité voir les profils de ses élèves afin de confronter ces profils à l'image qu'elle avait des compétences de ces élèves. Elle n'a pas manifesté d'intérêt vis-à-vis des détails du diagnostic.
Par ailleurs, la compréhension des représentations proposées n'a pas posé de problème.

b) Expérimentation à plus grande échelle

PÉPIPROFIL a été testé avec 15 enseignants, non pas en situation réelle, mais dans le cadre d'une formation de formateurs dans un Institut Universitaire de Formation des Maîtres (IUFM).

♦ **Les objectifs**

L'objectif de cette expérimentation était de tester à la fois l'utilité et l'utilisabilité de PÉPIPROFIL.

♦ **Les conditions d'expérimentation**

Cette expérimentation a eu lieu le 5 janvier 2000 à l'IUFM de Créteil, de 9h à 17h, au cours d'un stage intitulé « Utiliser l'ordinateur dans les formations de mathématiques : approfondissement », avec 15 enseignants de mathématiques, formateurs dans des IUFM.
PÉPIPROFIL a tout d'abord été présenté aux formateurs, ils l'ont ensuite utilisé pour étudier le profil d'un élève dont ils avaient préalablement établi manuellement le profil.
À la suite de ces utilisations de PÉPITE, nous avons effectué une synthèse, où chacun a dit ce qu'il pensait du logiciel.
Notons que ces utilisateurs ne correspondent pas tout à fait au public cible de PÉPIPROFIL, dans la mesure où ils abordaient le logiciel de leur point de vue de formateur, et non d'enseignant.

♦ **Les observateurs**

Les observateurs, informaticiens, étaient trois pour cette expérimentation : Stéphanie JEAN, Élisabeth DELOZANNE et Pierre JACOBONI).

♦ **Les données recueillies**

Nous avons recueilli trois types de données :
– Des questionnaires portant sur l'utilisation de PÉPITE, remplis par les enseignants.
– Un texte contenant le profil construit manuellement par les enseignants à partir de l'étude des réponses d'un élève à PÉPITEST.
– Un enregistrement des conversations des enseignants pendant qu'ils utilisaient PÉPITE.

♦ **Les résultats**

Les données recueillies, n'ont pas été entièrement analysées. Nous pouvant toutefois dès maintenant identifier plusieurs résultats.
Tout d'abord, les représentations proposées sont efficaces. Après une nécessaire phase d'appropriation des représentations, elles ont permis aux enseignants de comprendre le profil de l'élève et de se l'approprier.
Toutefois, les termes employés pour décrire les compétences des élèves ont quasi-unanimement été jugées inaccessibles pour des enseignants, et ce malgré le travail d'adaptation qui a déjà été effectué.
Enfin, contrairement à ce qu'avait montré le premier test, la possibilité d'étudier le détail du diagnostic a été beaucoup appréciée et très employée.

4.7.3. RÉSULTATS

Dans l'état actuel des tests effectués, nous obtenons déjà des résultats intéressants, du point de vue du calcul des profils et du point de vue de la soumission des profils aux enseignants.

a) Résultats concernant le calcul des profils

Les différentes expérimentations de PÉPITEST en classe, en nous permettant de constituer un corpus de réponses d'élèves au test informatisé, nous ont également permis de tester PÉPIDIAG et PÉPIPROFIL. La validité du calcul des profils ne peut en effet être réellement testée, qu'à partir de matrices de diagnostic complétées. Les tests effectués ont montré que la construction automatique des profils est possible. Il y a correspondance entre les profils construits manuellement et les profils construits par PÉPIPROFIL, ce qui assure l'épistémomorphisme conceptuel.

b) Résultats concernant la soumission des profils à l'enseignant

Les premiers tests de PÉPIPROFIL ont montré que les représentations proposées sont efficaces, même si une adaptation des termes employés est indispensable. Nous pouvons d'ors et déjà affirmer que PÉPIPROFIL est utilisable par des enseignants, même non impliqués dans le projet. Cependant des expérimentations en situation réelle avec des enseignants, correspondant à notre public cible, doivent être faites, afin d'étudier de façon plus approfondie l'utilisation qui est faite des possibilités de modification du diagnostic. Nous nous attendons en effet à des différences entre les utilisations que nous avons prévues et les utilisations effectives par les enseignants. « Lorsqu'on se procure une machine, le projet d'emploi est souvent très vaste. Puis, au fil des échecs, de l'expérience, les ambitions se restreignent. » [PERRIAULT, 1989]

4.8. BILAN

Le logiciel enseignant est particulièrement important pour l'intégration de PÉPITE à l'enseignement. La démarche de conception que nous avons adoptée, prenant en compte didacticiens et enseignants, nous a permis de correspondre aux attentes des enseignants. Par ailleurs, la diversité des représentations proposées pour les profils, ainsi que la mise en œuvre de la possibilité pour les enseignants de s'impliquer plus ou moins et de différentes façons dans le logiciel, sont pour nous des facteurs importants, facilitant l'intégration du logiciel aux pratiques des enseignants.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

PLAN DU CHAPITRE

RÉSULTATS **179**
LIMITES **180**
PERSPECTIVES **180**
CONCEPTION D'UN SYSTÈME AUTEUR 181
UTILISATION DE SYSTÈMES DE DIAGNOSTIC EXISTANTS 181
INTÉGRATION DES TRACES AU DIAGNOSTIC 182
UTILISATION DES PROFILS DE PÉPITE PAR D'AUTRES SYSTÈMES 183
LES APPORTS DE NOTRE TRAVAIL **183**
MÉTHODE DE CONCEPTION 183
APPROCHE ADOPTÉE POUR LE DIAGNOSTIC 184
CONCLUSION **185**

Dans le cadre de cette thèse, nous souhaitions étudier comment concevoir un environnement capable d'aider les enseignants dans l'évaluation des compétences des élèves en algèbre élémentaire. Afin d'obtenir une modélisation cognitive des connaissances des élèves, nous avons fait appel à une expertise didactique existante. Cette approche nous a conduit à automatiser un outil papier – crayon, mais également a adopter une démarche de conception interdisciplinaire, faisant intervenir, non seulement des didacticiens, mais aussi des enseignants et des élèves. L'outil que nous proposons ne prétend pas être un système de diagnostic automatique, remplaçant l'enseignant dans sa tâche, mais au contraire un système d'*assistance* au diagnostic, aidant l'enseignant dans son travail d'évaluation des compétences des élèves.
Pour terminer, nous rappelons les résultats que nous avons obtenus, les limites de notre travail, ainsi que les perspectives que nous envisageons. Nous présentons ensuite les apports de notre recherche, avant de conclure.

RÉSULTATS

Le système que nous avons réalisé comporte trois parties, toutes développées : un logiciel élève, un module de diagnostic et un logiciel enseignant. Les différents modules sont fiables, ils ont été testés à plusieurs reprises et donnent des résultats satisfaisants.
La réalisation de ce système a montré que les objectifs que nous nous étions fixés ont été atteints. Nous avons pu recueillir des observables fiables et représentatifs du fonctionnement des élèves. Nous avons également montré, en réalisant un prototype du module de diagnostic, que l'analyse multidimensionnelle automatique est possible pour des réponses d'élèves à différents types de questions, incluant des questions ouvertes. Nous avons enfin proposé un logiciel enseignant facilitant l'appropriation des profils par l'enseignant. Détaillons maintenant ces différents points.
PÉPITEST, le logiciel élève est entièrement réalisé, il a été expérimenté plusieurs fois, dans quatre classes avec un total de 90 élèves. Les résultats obtenus sont très satisfaisants, aussi bien au niveau de l'interface, qu'au niveau du respect des critères de validation. Les différentes expérimentations ont en effet, d'une part, permis de valider l'interface du point de vue de son l'utilisabilité, d'autre part, elles ont montré qu'il n'y a pas de réduction du spectre des réponses (on retrouve tous les types de réponses prévus dans l'analyse a priori) et que les observables recueillis sont représentatifs des connaissances des élèves. De plus, les observables fournis par PÉPITEST sont suffisamment riches et fiables pour permettre le diagnostic.
Concernant le module de diagnostic, un premier prototype partiel de PÉPIDIAG est réalisé, il analyse 71% des questions, c'est-à-dire 83% des items, correspondant aux questions fermées et à une partie des questions ouvertes (les réponses sous forme d'expressions algébriques, les réponses en langage naturel, mais pas toutes les réponses produites en langage « informathurel »). Ce diagnostic couvre au moins partiellement toutes les composantes d'analyse et 87 % des modes de fonctionnement sont attribués par PÉPIDIAG. Des études de cas ont par ailleurs montré qu'il y a peu de différences entre les matrices complétées par

PÉPIDIAG et celles complétées manuellement par un expert (les différences sont dues au diagnostic incomplet de PÉPIDIAG et à des différences locales qui disparaissent lors de l'analyse transversale). De plus, la matrice complétée par PÉPIDIAG est utilisable par PÉPIPROFIL.

Concernant la fonction de calcul des profils de PÉPIPROFIL, la construction automatique des profils est tout d'abord possible. Ensuite, il y a correspondance entre les profils construits manuellement et les profils construits automatiquement par PÉPIPROFIL. Concernant la fonction de PÉPIPROFIL de soumission des profils à l'enseignant, les représentations proposées dans le logiciel sont efficaces et utilisables par des enseignants. Nous devons cependant poursuivre les tests pour étudier comment PÉPITE sera réellement utilisé dans les classes. Les contextes d'usage que nous envisageons actuellement pour PÉPITE sont beaucoup plus vastes que ceux qui étaient prévus au départ. Ainsi, PÉPITE est déjà utilisé en formation des maîtres, et nous envisageons de proposer une version des profils destinés aux élèves. Ces deux nouveaux usages nécessiteront la conception de nouvelles interfaces, adaptées à ces nouvelles situations. Mais nous sommes consciente que les usages iront au-delà de ceux que nous avons imaginés. Les usages vont se créer progressivement, sans que nous ayons vraiment de prise sur eux.

LIMITES

Nous avons fait le choix de concevoir un prototype du module de diagnostic permettant une analyse, même grossière, de tous les types de productions, en tenant compte de la spécificité de chaque exercice. Les limites concernant ce module résident dans le manque de généricité des techniques employées. Ces techniques nous permettent certes d'obtenir un diagnostic pour la plupart des questions, mais elles sont très liées à chaque type d'exercice et même, dans certains cas, à chaque exercice. La méthode adoptée conduit donc à un diagnostic dépendant du test. Par ailleurs, en raison de la complexité de l'analyse à établir, le diagnostic reste incomplet et est en partie ad hoc.

PERSPECTIVES

Les principales perspectives de recherche qui apparaissent à l'issue de cette thèse concernent la réutilisabilité de notre travail, à travers la conception d'un système auteur, ainsi que l'amélioration du module de diagnostic, en faisant appel à des systèmes de diagnostic existants. À plus court terme, nous pouvons envisager de compléter le diagnostic en intégrant les informations fournies par le fichier de trace. Enfin, nous pouvons adapter les profils, pour qu'ils puissent être utilisés par d'autres systèmes.

CONCEPTION D'UN SYSTÈME AUTEUR

L'expertise didactique que nous utilisons nous permet d'obtenir des informations sur le comportement des élèves, plus riches que celles fournies habituellement par les EIAO. Mais cet avantage a un coût : le système conçu est très lié aux exercices et au diagnostic.
Dans la situation actuelle, concevoir un nouveau test, adapté à un autre niveau ou plus simplement comportant de nouveaux exercices, demanderait à nouveau un travail interdisciplinaire important : il faudrait en effet dans un premier temps que les didacticiens conçoivent les exercices et la grille d'analyse a priori associée, puis que les informaticiens réalisent le nouveau test. Toutefois, le travail de conception demanderait moins de collaboration que le travail initial : le savoir-faire acquis et le travail d'explicitation effectué faciliteraient considérablement la conception. Même si des exercices types n'ont pas été définis, les exercices conçus peuvent être assez facilement adaptés et modifiés.
Il serait souhaitable de proposer une solution permettant de modifier de façon assez simple les exercices proposés dans l'interface élève. L'idéal serait la réalisation d'un système auteur, permettant à des didacticiens (il semble délicat d'imaginer que les enseignants pourront créer eux-mêmes des tests), de créer de nouveaux tests à partir d'exercices types à paramétrer.
Pour le module de diagnostic, il faudrait alors adopter des représentations des connaissances explicites pour tous les éléments à identifier dans les exercices du test. Une telle représentation est déjà proposée pour les types d'exercices, pour les traitements maîtrisés et pour les articulations entre cadres (cf. chapitre 3 et annexe 14). Il reste à systématiser cette approche pour les modes de fonctionnement, ce qui n'est pas trivial. Cela nécessite en effet l'association d'une technique adaptée à chaque mode de fonctionnement à identifier, tenant compte du contexte de l'exercice. Cette technique existe déjà pour l'identification d'un type de justification (preuve par l'algèbre, par l'exemple, en langage naturel, appel au légal, etc.), mais elle semble difficile à généraliser.
Ce travail nécessiterait également une explicitation plus approfondie de l'expertise didactique, pour faciliter l'association d'un diagnostic à chaque question, indiquant les types d'exercices, les traitements et les articulations concernés par la question, ainsi que les différentes réponses prévues et les modes de fonctionnement associés à ces réponses.

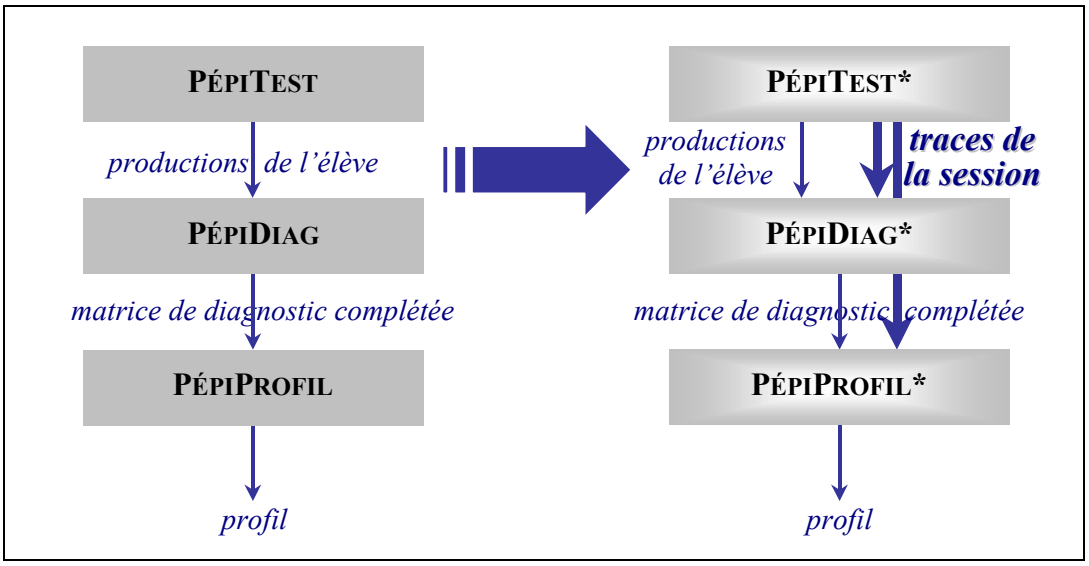
UTILISATION DE SYSTÈMES DE DIAGNOSTIC EXISTANTS

Nous l'avons dit, le diagnostic mis en œuvre dans PÉPITE est en partie ad hoc. Il serait intéressant d'essayer de généraliser ce diagnostic en utilisant différents systèmes existants (produits commerciaux, ou issus de la recherche), spécialistes chacun d'un domaine : analyse de QCM, analyse d'expressions algébriques, analyse de langage naturel. Nous serions alors confrontée à des problèmes de réutilisabilité, d'intégration et d'interfaçage de modules hétérogènes, ainsi qu'à des questions de paramétrage de composants. Une telle approche est très intéressante, aussi bien du point de vue de la généricité qu'elle peut apporter au diagnostic, que du point de vue de la valorisation des systèmes existants. C'est le point de vue adopté par Marilyne ROSSELLE dans sa thèse [MACRELLE, 1999].

À plus court terme, il est intéressant de voir s'il est possible d'améliorer la reconnaissance du langage naturel en faisant appel à des techniques d'analyse plus évoluées que la recherche de mots clés utilisée actuellement. C'est l'objectif d'un projet actuellement à l'étude entre le LIUM et le GREYC de Caen.

INTÉGRATION DES TRACES AU DIAGNOSTIC

Si notre méthode de conception et surtout nos critères de validation nous ont conduit à proposer un outil informatisé proche de l'outil papier – crayon, nous ne renonçons pas à utiliser les possibilités nouvelles apportées par l'introduction de l'informatique.
Après validation complète de PÉPITE, nous envisageons de modifier les différents modules de PÉPITE (PÉPITEST*, PÉPIDIAG* et PÉPIPROFIL* sur la figure ci-dessous), pour enrichir les observables contenant les réponses des élèves, d'éléments pertinents pour le diagnostic contenus dans la trace.



L'utilisation de la trace dans PÉPIDIAG.

Le diagnostic pourrait par exemple tenir compte des différentes étapes qui ont conduit l'élève à proposer sa réponse, en intégrant les éventuels changements de réponse, les effacements, ainsi que le temps passé sur chaque exercice. De telles modifications devraient toutefois s'accompagner de nouvelles études faites avec les didacticiens, il faudrait en effet :
– déterminer quelles informations sont pertinentes,
– modifier la grille d'analyse, afin qu'elle prenne en compte ces nouvelles informations,
– ensuite seulement, répercuter les modifications sur les différents modules.
Identifier l'utilisation qui est faite par l'élève des outils, peut par exemple faciliter l'identification de sa démarche de résolution : « s'il a utilisé l'outil de représentation graphique, il a sans doute adopté une démarche de résolution graphique ». La prise en compte de cet élément de la trace dans le diagnostic, nécessite une modification de PÉPIDIAG, mais également éventuellement de PÉPITEST, pour que la trace contienne tous les éléments nécessaires. Quant à PÉPIPROFIL, il pourrait être modifié si l'on décide d'introduire des éléments de la trace directement dans les profils, sans les intégrer au diagnostic. Ce

serait le cas, si nous intégrions le temps passé par exercices, directement dans le profil, comme nous l'ont demandé plusieurs enseignants. Ce dernier point demanderait de faire appel à un module d'analyse de trace, ce dispositif est décrit dans la section consacrée à l'architecture du système dans le chapitre 1.

UTILISATION DES PROFILS DE PÉPITE PAR D'AUTRES SYSTÈMES

Nous avons présenté, à la fin du chapitre 4, les utilisations de PÉPITE que nous avons envisagées dès le début du projet ou pendant la conception. Un autre usage possible, serait d'interfacer les profils de PÉPITE avec un autre EIAO, sans lien avec le projet PÉPITE. Il faudrait alors adopter une représentation des connaissances des élèves suffisamment générale pour être partagée avec d'autres logiciels. La définition de normes de représentation des connaissances permettrait d'utiliser les modèles de l'apprenant proposés par différents systèmes dans les différents EIAO existants. Ce travail correspond au courant de recherche sur les ontologies pédagogiques. Toutefois, il n'existe pas, à l'heure actuelle, d'ontologie pour l'algèbre [MURRAY & MIZOGUCHI, 1999]. Une solution réaliste, envisageable à court terme, serait d'utiliser les items proposés actuellement dans l'enseignement, dans le cadre de l'évaluation nationale en seconde. Pour PÉPITE, la conversion des profils en une liste de tels items est possible, elle permettrait d'ailleurs d'employer un langage commun aux différents systèmes d'évaluation des connaissances, utilisés en classe par les enseignants.

LES APPORTS DE NOTRE TRAVAIL

Les apports de notre travail concernent à la fois la modélisation de l'apprenant et l'intégration des logiciels aux pratiques des enseignants. Nous commençons par une présentation de la méthode de conception que nous proposons, puis nous exposons les apports liés à l'approche adoptée pour le diagnostic.

MÉTHODE DE CONCEPTION

La méthode de conception que nous avons adoptée, allie réutilisation d'expertise, conception différenciée et définition précoce de critères de validation.

Nous proposons une méthode de conception interdisciplinaire adaptant différentes méthodes issues du génie logiciel, des recherches en IHM et en EIAO. Dans la méthode de conception différenciée, nous proposons en effet d'adopter une conception centrée utilisateur avec les élèves, informative avec les enseignants et participative avec les didacticiens. Cette méthode nous permet de nous adresser de façon adaptée aux différents membres de l'équipe de conception interdisciplinaire.

La méthode de conception que nous avons adoptée accorde une place très importante à la validation. Nous avons déterminé des critères de validation pour les différents modules de notre système dès le début du projet, et l'évaluation a été conduite à toutes les étapes de la conception.

APPROCHE ADOPTÉE POUR LE DIAGNOSTIC

Dans PÉPITE, nous avons travaillé à partir d'une expertise didactique validée. La réutilisation d'expertise nous permet de proposer une représentation multidimensionnelle des connaissances des élèves en algèbre et de construire des profils cognitifs riches en informations. En nous appuyant sur une expertise validée et en automatisant un outil papier - crayon, nous acquérons aussi les moyens de valider notre travail, en comparant les résultats obtenus par le système, aux résultats obtenus par un expert utilisant l'outil papier - crayon. L'utilisation d'un outil existant validé et testé, nous permet également de disposer de corpus de réponses d'élèves, dès le début du projet.

Une des originalités de PÉPITE est de considérer l'interface élève comme faisant partie intégrante du diagnostic. Le travail rigoureux que nous avons mené concernant l'interface élève, nous a permis d'obtenir des observables fiables pour le module de diagnostic. Nous avons d'ailleurs caractérisé le transfert qui correspond à l'automatisation du test papier - crayon. Pour certains exercices, nous proposons un transfert qui facilite le recueil des observables ainsi que le diagnostic. Pour améliorer encore la qualité des observables, nous avons conçu un éditeur d'expressions algébriques, dont l'objectif est de permettre aux élèves d'exprimer leurs connaissances de façon compatible à la façon dont ils le font dans leur environnement habituel. Cet outil informatique a été réalisé sous forme d'un composant réutilisable.

Dans PÉPITE, pour pouvoir proposer une représentation multidimensionnelle des connaissances des élèves en algèbre, nous ne nous limitons pas à l'analyse de réponses à des questions fermées. PÉPIDIAG analyse également des réponses à des questions ouvertes. Le module d'analyse propose une méthode de diagnostic pragmatique, permettant d'analyser les différents types de réponses, de façon en partie ad hoc. Nous avons en particulier identifié trois types de réponses : les réponses en langage naturel, les réponses sous forme d'expressions algébriques et les réponses mixtes, que nous qualifions de réponses en langage « informathurel ».

Une autre originalité de PÉPITE est de s'adresser aux enseignants comme utilisateurs finals d'un logiciel. Nous pensons avoir favorisé l'intégration de PÉPITE aux pratiques des enseignants en proposant dans PÉPIPROFIL, plusieurs représentations des profils et plusieurs niveaux d'implication de l'enseignant dans l'utilisation du logiciel. Enfin, nous proposons non pas un système de diagnostic automatique, mais un système d'assistance au diagnostic, ce qui est, de notre point de vue, un facteur d'acceptation du système par les enseignants.

CONCLUSION

Notre thèse confirme l'intérêt des recherches interdisciplinaires. Tout d'abord, les échanges entre didacticiens et informaticiens ont permis d'explorer de nouvelles pistes, aussi bien en didactique qu'en informatique. Ensuite, la réalisation d'un système fiable est intéressant d'un point de vue recherche, d'une part, en didactique, car cette réalisation permet de valider un outil de recherche et donne des moyens pour utiliser cet outil à plus grande échelle, d'autre part en informatique, où cette réalisation atteste de l'importance des observables dans le processus de diagnostic, montre la faisabilité d'un diagnostic multidimensionnel et de l'analyse de réponses ouvertes en algèbre.
Ces conclusions ne peuvent que réaffirmer le rôle central de l'interdisciplinarité dans les recherches en EIAO.

RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE

A

[ALBERGANTI, 1999]
Michel ALBERGANTI, *Les « profs en silicium » au banc d'essai*, Le Monde, 28 septembre 1999.

[ANDERSON et al., 1990]
John R. ANDERSON, C. Franklin BOYLE, Albert T. CORBETT et Matthew W. LEWIS, *Cognitive Modeling and Intelligent Tutoring*, Artificial Intelligence, n°42, pp.7-49, 1990.

[ANJANEYULU et al., 1997]
K.S.R. ANJANEYULU, R. CHANDRASEKAR et S. RAMANI, *Veda: An on line generative testing system*, Official Journal of the IFIP Committee on Education, Education and Information Technologies, n°2, Chapman et Hall, pp 219-234, 1997.

[ARSAC, 1989]
Gilbert ARSAC, *La transposition didactique en mathématiques*, in G. ARSAC, M. DEVELAY, A. TIBERGHIEN, La transposition didactique en mathématiques, en physique, en biologie, IREM-LIRDIS, Université Claude Bernard, Lyon I, pp. 3-36, 1989.

[ARTIGUE & DOUADY, 1990a]
Michèle ARTIGUE et Régine DOUADY, *La didactique des mathématiques en France,* Revue Française de Pédagogie, n°76 juillet-août-septembre1986, pp. 69-88, 1986.

[ARTIGUE, 1990a]
Michèle ARTIGUE, *Analyse des processus d'enseignement en environnement informatique,* Actes de l'Université d'été informatique et enseignement de la géométrie, IREM de Toulouse, pp. 125-150, 1990.

[ARTIGUE, 1990b]
Michèle ARTIGUE, *Ingénierie didactique,* Recherches en Didactique des Mathématiques, Vol. 9, n°3, pp. 281-308, La pensée sauvage éditions, 1990.

[ARTIGUE, 1990c]
Michèle ARTIGUE, *Épistémologie et didactique,* Recherches en Didactique des Mathématiques, Vol. 10, n°2.3, pp. 241-286, La pensée sauvage éditions, 1990.

[ARTIGUE, 1995]
Michèle ARTIGUE, *Une approche didactique de l'intégration des EIAO à l'enseignement,* in D. GUIN, J.-F. NICAUD et D. PY, EIAO, Tome 2, pp. 17-28, Eyrolles, Paris, 1995.

B

[BALACHEFF & FIGUE-HENRIC, 1995]
Nicolas BALACHEFF et L. FIGUE-HENRIC, *Evaluation of ITS Design: the Case of Shiva-Géographe*, In: Chamussy H. (ed.) Intelligent Learning Environments in Geography, (NATO ASI Series), Berlin: Springer Verlag, 1995.

[BALACHEFF & SUTHERLAND, 1994]
Nicolas BALACHEFF et Rosamund SUTHERLAND, *Epistemological Domain of Validity of Microworlds : The Case of Logo and Cabri-géomètre*, In : Lewis, Mendelshon (eds.) Proceedings of the IFIP TC3/WG3.3: Lessons from learning, pp.137-150, 1994.

[BALACHEFF & VIVET, 1994]
Nicolas BALACHEFF et Martial VIVET, *Didactique et intelligence artificielle*, La pensée sauvage éditions, 1994.

[BALACHEFF et al., 1997]
Nicolas BALACHEFF, Monique BARON, Cyrille DESMOULINS, Monique GRANDBASTIEN et Martial VIVET, *Conception d'environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur, tendances et perspectives*, In : Actes des 6èmes journées nationales du PRC-GDR Intelligence Artificielle 1997, Hermès, pp. 315-337, 1997.

[BALACHEFF, 1992]
Nicolas BALACHEFF, *Exigences épistémologiques des recherches en EIAO*, Génie éducatif, n°4-5, pp. 4-14, septembre - décembre 1992.

[BALACHEFF, 1994a]
Nicolas BALACHEFF, *Didactique et intelligence artificielle*, in N. BALACHEFF et M. VIVET, Didactique et intelligence artificielle, pp. 7-42, La pensée sauvage éditions, 1994.

[BALACHEFF, 1994b]
Nicolas BALACHEFF, *Advanced Educational Technology : Knowledge Revisited*, Journal of Educational Technology Systems, 23 (2), pp. 98-106, 1994.

[BALACHEFF, 1994c]
Nicolas BALACHEFF, *La transposition informatique, un nouveau problème pour la didactique des mathématiques*, In Artigue et al. (eds.), Vingt ans de didactique des mathématiques en France, pp. 364-370, La pensée sauvage éditions, Grenoble, 1994.

[BALACHEFF, 1998]
Nicolas BALACHEFF, *Éclairage didactique sur les EIAH en mathématique*, In : Actes du Colloque annuel de la Société de Didactique des mathématiques du Québec, Montréal, 1998.

[BALBO, 1994]
Sandrine BALBO, *Évaluation ergonomique des interfaces utilisateur : un pas vers l'automatisation*, Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, septembre 1994.

[BARON & BRUILLARD, 1996]
Georges-Louis BARON et Éric BRUILLARD, *L'informatique et ses usagers dans l'éducation*, PUF, 1996.

[BARON & VIVET, 1995]
Monique BARON et Martial VIVET, *Modélisation des connaissances pour des environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur*, Actes des 5èmes journées nationales PRC - GDR - IA groupe EIAO, pp. 239-262, Nancy, février 1995.

[BARON et al., 1997]
George-Louis BARON, Alex BLANCHET, Éric BRUILLARD, Christian DEPOVER, Michelle HARRARI, Luc-Olivier POCHON et Albert STREBELLE, *L'ordinateur à l'école : de l'introduction à l'intégration*, Pochon et Blanchet (éd.), INDP, Neuchâtel, 1997.

[BARON, 1998]
Monique BARON, *Introduction*, Sciences et techniques éducatives, numéro spécial modélisation de l'apprenant, Vol. 5, n°2, pp. 117-122, Hermès, 1998.

[BASTIEN & SCAPIN, 1993a]
Christian BASTIEN et Dominique SCAPIN, *Ergonomic Criteria for the Evaluation of Human-Computer Interfaces*, RT n°156, INRIA, juin 1993.

[BASTIEN & SCAPIN, 1993b]
Christian BASTIEN et Dominique SCAPIN, *Critères ergonomiques pour l'évaluation des interfaces utilisateurs*, RT n°156, INRIA, juin 1993.

[BAUDEL, 1996]
Thomas BAUDEL, *Limites de l'évaluation ergonomique pour la conception de nouveaux paradigmes d'interaction*, Actes des Huitièmes Journées sur l'Ingénierie de l'Interaction Homme-Machine, Grenoble, France, septembre 1996.

[BÉLANGER, 1991]
Maurice BÉLANGER, *Les erreurs en arithmétique, un siècle de présomption américaine*, Petit x, n°26, pp. 49-71, 1990-1991.

[BERNAT & MORINET-LAMBERT, 1995]
Philippe BERNAT et Josette MORINET-LAMBERT, *Spécificités et modélisation de l'interaction dans un EIAO,* in D. GUIN, J.-F. NICAUD et D. PY, EIAO, Tome 2, pp. 209-220, Eyrolles, Paris, 1995.

[BLONDEL et al., 1997]
François-Marie BLONDEL, Monique SCHWOB et Martial TARIZZO, *Diagnostic et aide dans un environnement d'apprentissage ouvert : un exemple en chimie, SCHNAPS*, Sciences et techniques éducatives, Vol. 4, n°4, pp. 375-412, Hermès, 1997.

[BLONDEL, 1996]
François-Marie BLONDEL, *Diagnostic et aide en EIAO, Étude d'un environnement d'aide à la résolution de problèmes en chimie*, Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I, 1996.

[BO n°29, 22 juillet 1999]
Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale, n°9, 22 juillet 1999.

[BOEHM, 1988]
Barry BOEHM, A Spiral Model of Software Development and Enhancement, IEEE Computer, Vol. 12, n°5, pp. 61-72, 1988.

[BROUSSEAU, 1983]
Guy BROUSSEAU, *Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques*, Revue de Didactique des Mathématiques, Vol. 4, n°2, La pensée sauvage éditions, pp. 165-198, 1983.

[BROUSSEAU, 1986]
Guy BROUSSEAU, *Fondements et méthodes de la didactique*, Revue de Didactique des Mathématiques, Vol. 7, n°2, La pensée sauvage éditions, pp. 33-115, 1986.

[BRUILLARD & VIVET, 1994]
Éric BRUILLARD et Martial VIVET, *Concevoir des EIAO pour des situations scolaires : approche méthodologique*, in N. BALACHEFF et M. VIVET, Didactique et intelligence artificielle, pp. 273-302, La pensée sauvage éditions, 1994.

[BRUILLARD, 1991]
Éric BRUILLARD, *Mathématiques et enseignement intelligemment assisté par ordinateur : une vision hypertexte des environnements d'apprentissage*, Thèse de doctorat, Université du Maine, Le Mans, 1991.

[BRUILLARD, 1997a]
Éric BRUILLARD, *Les machines à enseigner*, Hermès, 1997.

[BRUILLARD, 1997b]
Éric BRUILLARD, *L'ordinateur à l'école : de l'outil à l'instrument,* in Baron et al., L'ordinateur à l'école : de l'introduction à l'intégration, INDP éditeur, Neuchâtel, 1997.

[BRUSILOVSKY, 1995]
Peter BRUSILOVSKY, *Intelligent learning environments for programming: The case for integration and adaptation*, AIED'95, Jim Greer (eds.), pp. 1-8, Washington, 1995.

[BULL & PAIN, 1995]
Susan BULL et Helen PAIN, *"Did I say what I think I said, and do you agree with me?": Inspecting and Questioning the Student Model*, AIED'95, Jim Greer (eds.), pp. 501-508, Washington, 1995.

C **[CHEVALLARD, 1985]**
Yves CHEVALLARD, *Le passage de l'arithmétique à l'algèbre dans l'enseignement des mathématiques au collège - Première partie. L'évolution de la transposition didactique*, Petit x, n°5, pp. 51-94, 1985.

[CHEVALLARD, 1989]
Yves CHEVALLARD, *Le passage de l'arithmétique à l'algèbre dans l'enseignement des mathématiques au collège - Deuxième partie. Perspectives curriculaires : la notion de modélisation*, Petit x, n°19, pp. 43-75, 1989.

[CHEVALLARD, 1991]
Yves CHEVALLARD, *Dimension instrumentale, dimension sémiotique du travail mathématique*, Texte du séminaire de didactique des mathématiques et de l'informatique, n°122, Grenoble, 1991.

[CHEVALLARD, 1992]
Yves CHEVALLARD, *Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique*, Revue de Didactique des Mathématiques, Vol. 12, n°1, La pensée sauvage éditions, 1992.

[CHEVALLARD, 1996]
Yves CHEVALLARD, *Les outils sémiotiques du travail mathématique*, Petit x, n°42, pp33-57, 1995-1996.

[CONLON & PAIN, 1996]
Tom CONLON et Helen PAIN, *Persistent collaboration: a methodology for applied AIED*, International Journal of AIED, Vol. 7, pp. 219-252, 1996.

[COUTAZ, 1990]
Joëlle COUTAZ, *Interfaces homme - ordinateur*, Dunod, 1990.

[CUMMING, 1990]
Geoff CUMMING, *Artificial Intelligence and Images of Natural Learning*, Computers in Education, pp. 319-325, 1990.

D **[DE KONING et al., 1996]**
Kees DE KONING, Bert BREDEWEG et Joost BREUKER, *Interpreting Student Answers: More than Diagnosis Alone,* in Brna, Paiva and Self (eds), proceedings of EuroAIED, Portugal, pp.233-239, 1996.

[DELOZANNE, 1992]
Élisabeth DELOZANNE, *Explications en EIAO : études à partir d'ÉLISE, un logiciel pour s'entraîner à une méthode de calcul de primitives*, Thèse de doctorat, Université du Maine, Le Mans, 1992.

[DELOZANNE, 1994]
Élisabeth DELOZANNE, *Un projet pluridisciplinaire : ÉLISE*, in N. BALACHEFF et M. VIVET, Didactique et intelligence artificielle, pp. 211-249, La pensée sauvage éditions, 1994.

[DELPHI, 1995]
BORLAND, *Guide de l'utilisateur de Delphi pour Windows*, 1995.

[DEPOVER & STREBELLE, 1995]
Christian DEPOVER et Albert STREBELLE, *Un modèle et une stratégie d'intervention en matière d'intégration des TIC dans le processus éducatif*, in Baron et al., L'ordinateur à l'école : de l'introduction à l'intégration, INDP éditeur, Neuchâtel, 1997.

[DESPRÉS & LEROUX, 1997]
Christophe DESPRÉS et Pascal LEROUX, *Raisonner sur la trace : Analyse de sessions avec l'application ROBOTEACH*, Actes des 5èmes journées EIAO de Cachan, Hermès, pp. 277-288, 1997.

[DILLENBOURG, 1994]
Pierre DILLENBOURG, *Évolution épistémologique en EIAO*, Sciences et techniques éducatives, Vol. 1, n°1, pp. 39-51, Hermès, 1994.

[DOUADY, 1986]
Régine DOUADY, *Jeux de cadres et dialectique outil/objet*, Recherches en didactique des mathématiques, Vol. 7.2, pp. 5-32, La pensée sauvage éditions, 1986.

[DROUHARD, 1992]
Jean-Philippe DROUHARD, *Les écritures symboliques de l'algèbre élémentaire*, Thèse de doctorat, Université de Paris VII, 1992.

[DUBOIS, 1996]
Jean-Marc DUBOIS, *Évaluation ergonomique d'un logiciel d'enseignement des langues à distance*, in Actes des Huitièmes Journées sur l'Ingénierie de l'Interaction Homme - Machine, Grenoble, 6-18 septembre 1996.

[DUBOURG & TEUTSCH, 1997]
Xavier DUBOURG et Philippe TEUTSCH, *Interface Design Issues in Interactive Learning Environments*, IFIP WG 3.3 Working Conference, Human-Computer Interaction and Educational Tools, Sozopol, mai 1997.

[DUBOURG et al., 1995a]
Xavier DUBOURG, Élisabeth DELOZANNE et Brigitte GRUGEON, *Situations d'interaction en EIAO : le système repères*, in D. GUIN, J.-F. NICAUD et D. PY, EIAO, Tome 2, pp. 233-244, Eyrolles, Paris, 1995.

[DUBOURG et al., 1995b]
Xavier DUBOURG, Élisabeth DELOZANNE et Brigitte GRUGEON, *Situations of Interaction in Learning Environment : the System REPÈRES*, International Conference on Computers in Education, Singapore, décembre 1995.

[DUBOURG, 1995a]
Xavier DUBOURG, *Modélisation de l'interaction en EIAO, une approche événementielle pour la réalisation du système REPÈRES*, Thèse de doctorat, Université de Caen, octobre 1995.

[DUBOURG, 1995b]
Xavier DUBOURG, *Design learning environment : the REPÈRES system*, Computer Aided Engineering Education, Bratislava, septembre 1995.

[DUBOURG, 1996]
Xavier DUBOURG, *Une architecture logicielle fondée sur le concept d'événement - logiciel : le cas de Repères*, ITS'96, C. Frasson, G. Gauthier et A. Lesgold (eds.), Springer-Verlag, pp. 48-56, Montréal, Canada, 1996.

[DUVAL, 1988]
Raymond DUVAL, *Écarts sémantiques et cohérence mathématique : introduction aux problèmes de congruence,* Annales de Didactique et de Sciences Cognitives 1, IREM de Strasbourg, 1988.

[DUVAL, 1992]
Raymond DUVAL, *Sémiosis et noésis,* Conférence A.P.M.E.P., IREM, 1992.

E

[ENCYCLOPÆDIA UNIVERSALIS, 1995]
ENCYCLOPÆDIA UNIVERSALIS, 1995.

F

[FAURE, 1996]
Claudie FAURE, *Et l'ordinateur à stylo ? Peut mieux faire !*, La Recherche, n°285, mars 1996.

G

[GÉLIS, 1993]
Jean-Michel GÉLIS, *Un cadre général pour une modélisation cognitive et computationnelle de l'algèbre*, rapport de recherche, Université de Paris XI, 1993.

[GRANDBASTIEN, 1996]
Monique GRANDBASTIEN, *Introduction*, Sciences et techniques éducatives, numéro spécial géométrie, Vol. 3, n°2, pp. 145-155, Hermès, 1996.

[GREENBAUM & KYNG, 1991]
Joan GREENBAUM et Morten KYNG, *Design at Work: Cooperative Design of Computer Systems*, Hillsdale, NJ:Lawrence Erlbaum, 1991.

[GRUGEON & ARTIGUE, 1995]
Brigitte GRUGEON et Michèle ARTIGUE, *Issues linked to the transition between didactic institutions : the case of algebra in the transition from vocational high schools to general high schools*, PME, 1995.

[GRUGEON, 1995]
Brigitte GRUGEON, *Étude des rapports institutionnels et des rapports personnels des élèves à l'algèbre élémentaire dans la transition entre deux cycles d'enseignement : BEP et Première G*, Thèse de doctorat, Université Paris VII, décembre 1995.

[GRUGEON, 1997]
Brigitte GRUGEON, *Conception et exploitation d'une structure d'analyse multidimensionnelle en algèbre élémentaire*, Revue de Didactique des Mathématiques, Vol. 17, n°2, pp.167-210, 1997.

H

[HASQUENOPH-BERNOU, 1998]
Brigitte HASQUENOPH-BERNOU, *Analyse des effets de la transposition informatique de tâches en algèbre élémentaire*, Mémoire de DEA de didactique des mathématiques, Université Paris VII, 1998.

[HENRY, 1991]
Michel HENRY, *Cours de didactique des mathématiques*, Laboratoire de mathématiques - IREM, Université de Franche-Comté, mars 1991.

[HOCQUENGHEM, 1996]
Serge HOCQUENGHEM, *Évolution de La notion de figure géométrique depuis les imagiciels jusqu'à GeoplanW*, Université d'été sur l'intégration des outils informatiques dans l'enseignement, IREM de Rennes, août 1996.

[HOPPE, 1994]
H. Ulrich HOPPE, *Deductive error Diagnosis and Inductive Error Generalization for Intelligent Tutoring Systems,* Journal of Artificial Intelligence in Education, Vol. 5, n°1, pp. 27-49, 1994.

[HOYLES & HEALY, 1997]
Celia HOYLES et Lulu HEALY, *Un micro-monde pour la symétrie axiale : une base de co-construction de concepts mathématiques ?*, Sciences et techniques éducatives, Vol. 4, n°1, pp. 67-97, Hermès, 1997.

[HU & TRIGANO, 1998]
Olivier HU et Philippe TRIGANO, *Proposition de critères d'aide à l'évaluation de l'Interface Homme/Machine des logiciels multimédia pédagogiques*, Actes des journées IHM '98, Nantes, France, pp. 27-34, 1998.

I

[IAMARÈNE, 1998]
Saïd IAMARÈNE, *Contribution à l'automatisation du repérage du fonctionnement des élèves en algèbre*, Mémoire de DEA de didactique des mathématiques, Université Paris VII, 1998.

J

[JACOBONI, 1993]
Pierre JACOBONI, *DIADÈME, un système d'EIAO pour faire de l'Évaluation Interactive Avec l'Ordinateur*, Thèse de doctorat, Université Paris VI, janvier 1993.

[JACQUET et al., 1996]
Denis JACQUET, Anne NICOLLE et Marc ANDRÈS, *De la métaphore à la co-construction, coopération intelligence artificielle / psychologie pour la conception d'une expérimentation commune*, Intellectica, n°22, pp.119-144, 1996.

[JEAN et al., 1997a]
Stéphanie JEAN, Élisabeth DELOZANNE, Pierre JACOBONI et Brigitte GRUGEON, *Conception, réalisation et évaluation d'interfaces en EIAO : l'exemple de PÉPITE*, Actes des 5èmes journées EIAO de Cachan, Hermès, pp. 37-48, 1997.

[JEAN et al., 1997b]
Stéphanie JEAN, Élisabeth DELOZANNE, Pierre JACOBONI et Brigitte GRUGEON, *PÉPITEST, a software to establish the cognitive profile of the students in elementary algebra*, IFIP WG 3.3 Working Conference « Human Computer Interaction and Educational Tools », Sozopol, Bulgarie, pp. 198-206, 1997.

[JEAN et al., 1997c]
Stéphanie JEAN, Pierre JACOBONI, Élisabeth DELOZANNE et Brigitte GRUGEON, *Design, implementation and evaluation of an interface in a Computer Based Learning Environments: the example of PÉPITE*, AIED' 97, Japon, pp. 593-600, 1997.

[JEAN et al., 1998]
Stéphanie JEAN, Élisabeth DELOZANNE, Pierre JACOBONI et Brigitte GRUGEON, *Cognitive profile in elementary algebra: the PÉPITE test interface*, IFIP TC-3 Official Journal « Education and Information Technology », special issue, 1998.

[JEAN et al., 1999a]
Stéphanie JEAN, Élisabeth DELOZANNE, Pierre JACOBONI et Brigitte GRUGEON, *Design and Validation of a Model based Diagnosis System*, in P. Brna, M. Baker and K. Stenning "Roles of Communicative Interaction in Learning to Model in Mathematics and Science", C-LEMMAS, Corsica, 15th – 18th April 1999.

[JEAN et al., 1999b]
Stéphanie JEAN, Élisabeth DELOZANNE, Pierre JACOBONI et Brigitte GRUGEON, *A Diagnosis based on a Qualitative Model of Competence in Elementary Algebra*, AIED' 99, S.P. LAJOIE & M. VIVET (eds.), Le Mans, pp. 491-498, 1999.

[JEAN, 1996a]
Stéphanie JEAN, *Conception et réalisation d'un système de diagnostic de profils d'élèves en algèbre*, Mémoire de DEA Communication Homme / Machine et Ingénierie Éducative, Université du Maine, 1996.

[JEAN, 1996b]
Stéphanie JEAN, *PÉPITEST : un logiciel pour tester les connaissances des élèves en algèbre élémentaire*, Rapport interne du Laboratoire d'Informatique de l'Université du Maine, Le Mans, 1996.

[JEAN, 1997]
Stéphanie JEAN, *Adaptation de tâches papier - crayon au support informatique : PÉPITEST, l'interface de test de PÉPITE*, Démonstration, Actes des 5èmes journées EIAO de Cachan, Hermès, pp. 308-309, 1997.

[JEAN, 1999]
Stéphanie JEAN, *A System to Assess Students' Competence that re-use a Pencil and Paper Tool*, User Modeling: Proceedings of the Seventh International Conference, Edited by Judy Kay, Springer Wien New York, pp. 337-338, 1999.

K

[KOLSKI, 1997]
Christophe KOLSKI, *Ingénierie des interfaces homme - machine, conception et évaluation*, Hermès, nouvelle édition, 1997.

[KRIEF, 1992]
Philippe KRIEF, *Utilisation des langages objets pour le prototypage*, Études et recherches en Informatique, Masson, 1992.

L

[LAGRANGE & DROUHARD, 1995]
Jean-Baptiste LAGRANGE et Jean-Philippe DROUHARD, *L'intégration du système de mathématiques symboliques DÉRIVE : Une évaluation didactique auprès d'élèves de 14 à 19 ans,* in D. GUIN, J.-F. NICAUD et D. PY, EIAO, Tome 2, pp. 328-338, Eyrolles, Paris, 1995.

[LAGRANGE, 1999]
Jean-Baptiste LAGRANGE, *Complex calculators in the classroom: theoretical and practical reflections on teaching pre-calculus*, International Journal for Mathematical Learning, Vol. 4, n°1, Kluwer academic publishers, pp. 51-81, 1999.

[LANTIM, 1996]
Dick LANTIM, *Delphi, programmation avancée*, Eyrolles, 1996.

[LENFANT, 1997]
Agnès LENFANT, *Étude sur la transposition d'un outil de recherche destinée aux enseignants*, Mémoire de DEA de didactique des mathématiques, Université Paris VII, 1997.

[LEROUX, 1995]
Pascal LEROUX, *Conception et réalisation d'un système coopératif d'apprentissage, Étude d'une double coopération : maître/ordinateur et ordinateur/groupe d'apprenants*, Thèse de doctorat, Université Paris VI, juin 1995.

[LÉVY et al., 1995]
Jean-François LÉVY et al., *Pour une utilisation raisonnée de l'ordinateur dans l'enseignement secondaire, analyses de pratiques et propositions pour un meilleur usage des instruments micro-informatiques*, didactique des disciplines, INRP et EPI, 1995.

[LUENGO & BALACHEFF, 1998]
Vanda LUENGO et Nicolas BALACHEFF, *Contraintes informatiques et environnements d'apprentissage de la démonstration en géométrie*, Sciences et techniques éducatives, Vol. 5, n°1, pp. 15-45, Hermès, 1998.

[LUND & BAKER, 1999]
Kristine LUND et Michael BAKER, *Teachers' collaborative interpretations of students' computer-mediated collaborative problem solving interactions*, AIED'99, S.P. LAJOIE & M. VIVET (eds.), pp. 147-154, Le Mans, France, 1999.

[LUZZATI, 1995]
Daniel LUZZATI, *Le dialogue verbal homme - machine – études de cas*, Masson (eds.), 1995.

M **[MACKAY & FAYARD, 1997]**
Wendy MACKAY et Anne-Laure FAYARD, *Radicalement nouveau et néanmoins familier : les strips papiers revus par la réalité augmentée*, Actes des journées IHM '97, Poitiers, France, 1997.

[MACKAY et al., 1997]
Wendy MACKAY, Anne-Laure FAYARD, Laurent FROBERT et Lionel MÉDINI, *Reinventing the Familiar: Exploring an Augmented Reality Design Space for Air Traffic Control*, Actes de la conférence ACM CHI '98 Human Factors in Computing Systems, Los Angeles, USA, 1998.

[MACKAY, 1996]
Wendy MACKAY, *Réalité augmentée : le meilleur des deux mondes*, La Recherche, n°285, pp. 32-37, mars 1997.

[MACLAREN & KOEDINGER, 1996]
Benjamin MACLAREN et Kenneth KOEDINGER, *Toward a Dynamic Model of Early Algebra Acquisition,* in Brna, Paiva and Self (eds), proceedings of EuroAIED, Portugal, pp. 38-44, 1996.

[MACRELLE, 1999]
Marilyne MACRELLE, *Specification of the Educational Mediator Architecture: an Inter-operation Architecture for Educational Software*, AIED' 99, S.P. LAJOIE & M. VIVET (eds.), Le Mans, pp. 735-737, 1999.

[MAJOR & REICHGELT, 1993]
Nigel MAJOR et Han REICHGELT, *Using COCA to build on intelligent tutoring system in simple algebra*, In Mathematical Intelligent Learning Environments, Intellect Books (ed.), pp. 199-221, 1993.

[MEINADIER, 1991]
Jean-Pierre MEINADIER, *L'interface utilisateur pour une informatique conviviale,* Dunod, 222 p., 1991.

[MOINARD, 1998]
Claudine MOINARD, *Aide à la conception d'un évaluateur pour un environnement d'apprentissage*, Sciences et techniques éducatives, Vol. 5, n°2, pp. 141-171, Hermès, 1998.

[MURRAY & MIZOGUCHI, 1999]
Tom MURRAY et Riichiro MIZOGUCHI, *Ontologies for Intelligent Educational Systems*, Actes de workshop, AIED'99, Le Mans, France, 1999.

[MURRAY & WOOLF, 1992]
Tom MURRAY et Beverly Park WOOLF, *Tools for Teacher Participation in ITS Design*, ITS '92, C. Frasson, G. Gauthier et G. McCalla (eds.), Springer-Verlag, pp. 593-600, Montréal, Canada, 1992.

[MURRAY, 1993]
Tom MURRAY, *Formative Qualitative Evaluation for « Exploratory » ITS Research*, Journal of Artificial Intelligence and Education, n°4, Vol. 3, pp. 179-207, 1993.

[NANARD, 1990]
Jocelyne NANARD, *La manipulation directe en interface homme - machine*, Thèse d'État, Université de Montpellier II, 1990.

[NICAUD & VIVET, 1988]
Jean-François NICAUD et Martial VIVET, *Les tuteurs intelligents, réalisations et tendances de recherche*, TSI, Vol. 7, n°1, pp. 21-45, 1988.

[NICAUD, 1994]
Jean-François NICAUD, *Modélisation en EIAO, les modèles d'APLUSIX*, in N. BALACHEFF et M. VIVET, Didactique et intelligence artificielle, pp. 68-112, La pensée sauvage éditions, 1994.

[NICOLLE, 1996]
Anne NICOLLE, *L'expérimentation et l'intelligence artificielle*, Intellectica, n°22, pp.9-19, 1996.

[NORMAN & DRAPER, 1986]
Donald NORMAN et Stephen DRAPER, *User Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1986.

[NWANA, 1993]
Hyacinth Sama NWANA, *Mathematical Intelligent Learning Environments*, Intellect Books (ed.), 1993.

[PAIN et al., 1996]
Helen PAIN, Susan BULL et Paul BRNA, *A Student Model "For its Own Sake"*, in Brna, Paiva and Self (eds), proceedings of EuroAIED, Portugal, 1996.

[PAIVA et al., 1995]
Ana PAIVA, John SELF et Roger HARTLEY, *Externalising Learner Models*, AIED'95, Jim Greer (eds.), pp. 509-516, Washington, 1995.

[PERRIAULT, 1989]
Jacques PERRIAULT, *La logique de l'usage, essai sur les machines à communiquer*, Flammarion, 1989.

[PIAGET, 1975]
Jean PIAGET, *L'équilibration des structures cognitives*, P.U.F. (eds.), 1975.

[POCHON & GROSSEN, 1997a]
Luc-Olivier POCHON et Michèle GROSSEN, *Interaction homme – machine en situation d'apprentissage : le point de vue de l'utilisateur*, Sciences et techniques éducatives, Vol. 4, n°1, pp. 7-12, Hermès, 1997.

[POCHON & GROSSEN, 1997b]
Luc-Olivier POCHON et Michèle GROSSEN, *Les interactions homme – machine dans un contexte éducatif : un espace interactif hétérogène*, Sciences et techniques éducatives, Vol. 4, n°1, pp. 41-65, Hermès, 1997.

[PREECE et al., 1994]
Jenny PREECE, Yvonne ROGERS, Helen SHARP, David BENYON, Simon HOLLAND et Tom CAREY, *Human-Computer Interaction*, Addison-Wesley, 1994.

[PY, 1994]
Dominique PY, *Reconnaissance de plan pour la modélisation de l'élève : le projet Mentoniezh*, in N. BALACHEFF et M. VIVET, Didactique et intelligence artificielle, pp. 113-138, La pensée sauvage éditions, 1994.

[PY, 1995]
Dominique PY, *Modélisation du diagnostic en EIAO*, in D. GUIN, J.-F. NICAUD et D. PY, EIAO, Tome 2, pp. 185-195, Eyrolles, Paris, 1995.

[PY, 1998]
Dominique PY, *Quelques méthodes d'intelligence artificielle pour la modélisation de l'élève*, Sciences et techniques éducatives, Vol. 5, n°2, pp. 123-140, Hermès, 1998.

R

[RABARDEL, 1995]
Pierre RABARDEL, *Les hommes et les technologies - approche cognitive des instruments contemporains*, Série psychologie, Armand Colin, 1995.

[RICHARD, 1990]
Jean-François RICHARD, *Les activités mentales : comprendre, raisonner, trouver des solutions*, Armand Colin Édition, 1990.

[ROBERT & TENAUD, 1988]
Aline ROBERT et Isabelle TENAUD, *Une expérience d'enseignement de la géométrie en Terminale C*, Recherche en Didactique des Mathématiques, Vol.9, n°1, pp. 31-70, La pensée sauvage éditions, 1988.

[ROBERT, 1992]
Aline ROBERT, *Problèmes méthodologiques en didactique des mathématiques*, Recherche en didactique des mathématiques, Vol. 12, n°1, pp. 33-58, La pensée sauvage éditions, 1992.

S

[SABAH, 1989]
Gérard SABAH, *L'intelligence artificielle et le langage, volume 2 : Processus de compréhension*, Hermès, Paris, 1989.

[SAINT-DIZIER DE ALMEIDA, 1997]
Valérie SAINT-DIZIER DE ALMEIDA, *Modélisation d'une assistance interactive pour améliorer l'acceccibilité d'un logiciel*, Sciences et techniques éducatives, Vol. 4, n°1, pp. 13-39, Hermès, 1997.

[SCAIFE & ROGERS, 1999]
Miki SCAIFE et Yvonne ROGERS, *Kids as Informants: Telling Us What We Didn't Know or Confirming What We Knew Already?*, in Allison Druin (ed.), The design of Children's Technology, Morgan Kaufmann, pp. 28-50, 1999.

[SCAPIN, 1986]
Dominique L. SCAPIN, *Guide ergonomique de conception des interfaces homme - machine*, Rapports techniques INRIA, n°77, octobre 1986.

[SCAPIN, 1993]
Dominique L. SCAPIN, *Situation et perspectives en ergonomie du logiciel*, in J.-C. SPERANDIO éditeur, *L'ergonomie dans la conception des projets informatiques,* pp. 7-68, Octares éditions, 1993.

[SCHŒNFELD et al., 1990]
Alan SCHŒNFELD, John SMITH et Abraham ARCAVI, *Learning: The microgenetic analysis of one student's evolving understanding of a complex subject matter domain*, in R. Glaser (ed.), Advances in instructional psychology, Vol. 4, Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, 1990.

[SCHULER & NAMIOKA, 1993]
Doug SCHULER et Aki NAMIOKA, *Participatory design : Principles and pratices*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1993.

[SELF, 1988]
John SELF, *Bypassing the intractable problem of student modelling*, ITS'88, pp. 18-24, Montréal, juin 1988.

[SELF, 1992]
John SELF, *Cognitive Diagnosis for Tutoring Systems*, ECAI 92, 10th European Conference on Artificial Intelligence, pp. 699-703, 1992.

[SENACH, 1993]
Bernard SENACH, *L'évaluation ergonomique des interfaces homme - machine*, in J.-C. SPERANDIO éditeur, *L'ergonomie dans la conception des projets informatiques,* pp. 69-122, Octares éditions, 1993.

[SFARD, 1991]
Anna SFARD, *On the Dual nature of mathematics conceptions: reflections on processes and objects as different side of the same coin*, Educational Studies in Mathematics, Vol. 22, pp.1-36, 1991.

[SHNEIDERMAN, 1992]
Ben SHNEIDERMAN, *Designing the user Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*, Addison-Wesley Publishers, 1997 (troisième édition).

[SPÉRANDIO et al., 1993]
Jean-Claude SPÉRANDIO et al., *L'ergonomie dans la conception des projets informatiques*, Octares Éditions, 1993.

[TALBI & JOAB, 1992]
Malika TALBI et Michelle JOAB, *Diagnostic cognitif de l'apprenant par apprentissage symbolique*, ITS'92, C. Frasson, G. Gauthier et G. McCalla (eds.), Springer-Verlag, pp. 483-490, Montréal, juin 1992.

[TEUTSCH, 1994]
Philippe TEUTSCH, *Environnements Interactifs et Langues Étrangères, MARPLE : système d'évaluation et de suivi de formation*, Thèse de doctorat, Université du Maine, Le Mans, 1994.

[TWIDALE, 1993]
Michael TWIDALE, *Redressing the Balance: the Advantages of Informal Evaluation Techniques for Intelligent Learning Environments,* Journal of Artificial Intelligence in Education, Vol. 4, n°2, pp. 155-178, 1993.

[VAN EYLEN & HIRACLIDÈS, 1996]
H. VAN EYLEN, Georges HIRACLIDÈS, *GRAAL, En quête d'une démarche de développement d'interface utilisateur,* Collection « méthode », Angkor éditions scientifiques, 1996.

[VAN LABEKE et al., 1999]
Nicolas VAN LABEKE, Robert AIKEN, Josette MORINET-LAMBERT et Monique GRANDBASTIEN, *IF « What is the Core of AI et Education ? » is the Question THEN « Teaching Knowledge » is the Answer*, AIED' 99, S.P. LAJOIE & M. VIVET (eds.), Le Mans, pp. 241-248, 1999.

[VAN LABEKE, 1999]
Nicolas VAN LABEKE, *Prise en compte de l'usager enseignant dans la conception des EIAO, Illustration dans Calques 3D*, Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I, décembre 1999.

[VANLEHN, 1988]
Kurt VANLEHN, *Student Modeling*, Foundations of Intelligent Tutoring Systems, Chapter 3, pp. 55-78, 1988.

[VENTURINI & VIEL, 1997]
Patrice VENTURINI et Louis VIEL, *Base de données hypermédia pour la révision de l'électricité de seconde : caractéristiques et analyse d'utilisation*, Sciences et techniques éducatives, Vol. 4, n°2, pp. 165-191, Hermès, juin 1997.

[VERGNAUD et al., 1987]
Gérard VERGNAUD, Anibal CORTÈS, Pierre FAVRE-ARTIGUES, *Introduction de l'algèbre auprès de débutants faibles, problèmes épistémologiques et didactiques,* Actes du colloque de Sèvres : Didactique et acquisition des connaissances scientifiques, 1987.

[VERGNAUD, 1990]
Gérard VERGNAUD, *La théorie des champs conceptuels,* Revue de Didactique des Mathématiques, Vol. 10, n°2, La pensée sauvage éditions, pp. 133-170, 1990.

[VIBET, 1997]
Claude VIBET, *Handling Quiz-based tests with TEX macros*, Official Journal of the IFIP Committee on Education, Education and Information Technologies, n°2, Chapman et Hall, pp 235-246, 1997.

[VIVET, 1990]
Martial VIVET, *Uses of ITS: Which role for the teacher?*, in Costa (eds.), New Directions for Intelligent Tutoring Systems, NATO ASI series, Vol. F91, Springer-verlag, Sintra, 1990.

[VIVET, 1991]
Martial VIVET, *Knowledge based systems for education : taking into account the learner's context*, PEG-91 : Knowledge based environments for teaching and learning, Genova, Italie, mai 1991.

[VIVET, 1996]
Martial VIVET, *Evaluation Educational Technologies Evaluation of Teaching Material Versus Evaluation of Learning ?*, Calisce '96 Donostia - San Sebastian, 29-31 juillet 1996, non publié.

[VLUG, 1997]
Karin F. M. VLUG, *Because every pupil counts: the success of the pupil monitoring system in The Netherlands*, Official Journal of the IFIP Committee on Education, Education and Information Technologies, n°2, Chapman et Hall, pp 287-306, 1997.

[VYGOTSKI, 1985]
Lev Semenovitch VYGOTSKI, Pensée et langage, Éditions Sociales, 1985.

[WENGER, 1987]
Etienne WENGER, Artificial Intelligence and Tutoring Systems, Computational and Cognitive Approaches to the Communication of Knowledge, Morgan Kaufmann Publishers Inc., Los Altos, 1987.

ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

ANNEXES - PREMIÈRE PARTIE : L'INTERFACE DE TEST 211
ANNEXE 1 LE TEST PAPIER – CRAYON ET LA GRILLE D'ANALYSE 213
ANNEXE 2 LES EXERCICES DE PÉPITEST – L'EXEMPLE D'ANNE LAURE C. 225
ANNEXE 3 LES OUTILS DE PÉPITEST 243
ANNEXE 4 PÉPITEST EN ANGLAIS 245
ANNEXE 5 UN EXEMPLE D'ÉVOLUTION DU TEST PAPIER – CRAYON 247
ANNEXE 6 LE TRANSFERT DE L'ENVIRONNEMENT ET DES TÂCHES 249
ANNEXE 7 UN EXEMPLE DE FICHIER DE PRODUCTIONS D'ÉLÈVE 257
ANNEXE 8 UN EXEMPLE DE FICHIER DE TRACE DE PÉPITEST 261
ANNEXE 9 UN EXEMPLE DE TRACE ANALYSÉE 263
ANNEXE 10 LA FICHE D'OBSERVATION POUR LES EXPÉRIMENTATIONS 265
ANNEXE 11 LE QUESTIONNAIRE REMPLI PAR LES ÉLÈVES 267
ANNEXE 12 RÉSULTATS DU QUESTIONNAIRE POUR LES EXPÉRIMENTATIONS DE JUIN 1999 269

ANNEXES - DEUXIÈME PARTIE : LE DIAGNOSTIC 275
ANNEXE 13 UN EXEMPLE DE COMPARAISON DE MATRICES DE DIAGNOSTIC 277

ANNEXES – TROISIÈME PARTIE : L'INTERFACE ENSEIGNANT 279
ANNEXE 14 LES ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION DU PROFIL 281
ANNEXE 15 PÉPIPROFIL – LE PROFIL DE JEAN-LUC T. 285
ANNEXE 16 PÉPIPROFIL – L'IMPRESSION DU PROFIL DE JEAN-LUC T. 291
ANNEXE 17 PÉPIPROFIL EN ANGLAIS 293
ANNEXE 18 L'ÉVALUATION NATIONALE EN SECONDE : TEST ET RÉSULTATS 295

ANNEXES - PREMIÈRE PARTIE : L'INTERFACE DE TEST

Annexe 1
LE TEST PAPIER – CRAYON ET LA GRILLE D'ANALYSE

EXERCICE 1

1° On considère les nombres suivants :

-0,32	13×10^2	4,009	$3{,}17\times10^{-1}$	4,09	$0{,}567\text{x}10^3$	4,1	$\frac{-5}{3}+\frac{4}{3}$	$\sqrt{2}-\sqrt{3}$

Réécris les nombres sous forme décimale (indique si la valeur donnée est approchée ou non à l'aide du symbole ≈).

C1		C3	C4		?
M1		M 33	M 42		?

Remplis le tableau ci-dessous en classant les nombres par ordre croissant :

T1	T2	31	32	T0	?

Note ici les calculs intermédiaires (si nécessaire)

2° Entoure ci-dessous la ou les égalités vraies :

$5^3\times5^2=5^6$	$5^3+5^2=5^5$	$5^3\times5^2=15^5$	$5^3\times5^2=5^5$

T1		T3		T0	
M1		M 33	M 42		?

$(-3)^2=-9$	$-3^2=9$	$-3^2=-9$	$(-3)^2=9$

T1		T3		T0	
M1		M 31	M 33		?

$\sqrt{(-3)^2}=-3$	$\sqrt{(-3)^2}=3$	$\sqrt{(-3)^2}=-\sqrt{3^2}$	$\sqrt{(-3)^2}=\sqrt{3^2}$

T1		T3		T0	?
M1		M 33			?

$\frac{1}{2}+\frac{1}{3}=\frac{2}{5}$	$\frac{1}{2}+\frac{1}{3}=\frac{5}{6}$	$\frac{1}{2}+\frac{1}{3}=\frac{2}{6}$	$\frac{1}{2}+\frac{1}{3}=\frac{3}{2}$

T1		T3		T0	?
M1		M 33	M 42		?

EXERCICE 2

1° Les propriétés suivantes sont-elles vraies pour toutes valeurs de *a* ? Justifie ta réponse.

	Vrai/Faux	Justification
$a^3 a^2 = a^5$		
$a^2 = 2a$		
$a^3 a^2 = a^6$		
$4a^3 + 3a^2 = 7a^5$		
$a^2 = a + a$		
$2a^2 = (2a)^2$		
$3 + 5a = 8a$		

M1		M3			?
E1			M 41		?
M1		M3			?
M1			M 42		?
E1			M 41		?
E1		M 31			?
E1		M 31			?

T1	T2	T3		T0	
L1	L2	L3	L4		?
R1	R2	R3			?

2° Les égalités suivantes sont-elles vraies pour toutes les valeurs de *a* différentes de -3 ? Justifie ta réponse.

	Vrai/Faux	Justification
$\frac{3+2a}{3+a} = 2$		
$\frac{3+2a}{3+a} = \frac{5}{4}$		
$\frac{9+3a}{3+a} = 3$		

M1			M 41		?
M1		M 31	M 41		?
M1			M 41		?

T1	T2	T3		T0	
L1	L2	L3	L4		?
R1	R2	R3			?

EXERCICE 3

Exemples :
$x + 9$ est la somme des deux termes : x et 9
$x(x + 3)$ est le produit de deux facteurs : x et $x + 3$
$x(x + 3) + x^2$ est la somme des deux termes : $x(x + 3)$ et x^2

On considère les expressions ci-dessous. A chaque expression on associe un numéro en gras.

(1) $-2(x-3)(x+1)$ **(2)** $-2(x-3)-2x(x-3)$

(3) $-2(x-1)^2+8$ **(4)** $-2(x-3)(x-1)$

1° Entoure le numéro des expressions écrites sous forme d'une somme de deux termes :

(1) **(2)** **(3)** **(4)**

T1		T3		T0

2° Entoure le numéro des expressions écrites sous forme d'un produit de deux facteurs :

(1) **(2)** **(3)** **(4)**

T1		T3		T0

3° Soit l'expression $-2x^2+4x+6$.
Remplis le tableau ci-dessous en indiquant si les expressions **(1)**, **(2)**, **(3)**, **(4)** sont égales à $-2x^2+4x+6$

Expressions	Vrai/Faux	Note ici les calculs réalisés
$-2(x-3)(x+1)$		
$-2(x-1)^2+8$		
$-2(x-3)(x-1)$		
$-2(x - 3) - 2x(x - 3)$		

T1		T3		T0	
M1	M2	M 31 32 33	M 41 42	M5	?
M1	M2	M 33	M 41 42	M5	?
M1	M2	M 31 32 33	M 41 42	M5	?
M1	M2	M 31 32 33	M 41 42	M5	?

4° Complète le tableau suivant en détaillant tes calculs :

x	Calculs	Résultats
-1		
1		
$\frac{2}{3}$		
$1+\sqrt{2}$		

T1	T2	T3		T0	
M1	M2	M 31 32 33	M 41 42	M5	?
M1	M2	M 31 32 33	M 41 42	M5	?
M1	M2	M 31 32 33	M 41 42	M5	?
M1	M2	M 31 32 33	M 41 42	M5	?

EXERCICE 4

Parmi les réponses proposées, coche dans chaque cas celle qui est correcte.
Note, si nécessaire, les calculs réalisés.

1° Le développement de $(2x - y)^2$ est :

☐ $2x^2 - 4xy + y^2$ ☐ $4x^2 - y^2$ ☐ $4x^2 - 4xy + y^2$ ☐ $2x^2 - 4xy - y^2$ ☐ $4x^2 - 2xy + y^2$

Note ici tes calculs :

T1		T3		T0	
M1	M2	M 31	M 33		?

2° L'expression $(x + 2)^2 - 5(x + 2)$ a pour forme factorisée :

☐ $(x + 2)(-3)$ ☐ $(x+2)$ $5x+10)$ (- ☐ $(x+2)(x - 3)$ ☐ $(x+2)+(x-3)$ ☐ $x^2 - x - 6$

Note ici tes calculs :

T1		T3		T0	
M1		M 31 32	M 41 42		?

3° L'équation $2(10 - x) = 10x$ a pour solution

☐ 8 ☐ $\frac{5}{3}$ ☐ $\frac{20}{11}$ ☐ $-\frac{5}{3}$

Note ici tes calculs :

T1		T3		T0	
M1		M 3 1 33	M 41		?

4° L'équation $(x + 1)(x - 3) = -3$ a pour solutions

☐ -1 et 3 ☐ -4 et 0 ☐ 0 et 2 ☐ $\frac{-1}{2}$

Note ici tes calculs :

T1	T2	T3		T0	
M1		M 33	M 41 42		?

5° Résouds le système suivant

$x - 2y = -6$
$x - y = 4$

Note ici tes calculs et le couple solution :

T1		T3		T0	
M1		M 31 32	M 41 42		?

EXERCICE 5

A. Dans un collège, " i**l y a six fois plus d'élèves que de professeurs** ".
Ecris une égalité qui traduise cette phrase, en utilisant les variables E et P qui désignent respectivement le nombre d'élèves et le nombre des professeurs.

Réponse :

T1		T3		T0
C1		C3	C4	?

B. Des enfants sont réunis pour un anniversaire et organisent des groupes pour jouer.
On sait qu'il y a x filles et y garçons.
Première observation

Si deux filles décident de rejoindre le groupe des garçons, les deux groupes ainsi constitués auront le même effectif.

Entoure l'équation qui traduit cette première observation :

$x - 2 = y + 2$ $\qquad$ $x - 2 = y - 2$
$x + 2 = y - 2$ $\qquad$ $x = y$

T1		T3		T0
C1		C3	C4	?

Deuxième observation

Si deux garçons décident de rejoindre le groupe des filles, ce nouveau groupe aura un effectif double de celui des garçons restants.

Entoure l'équation qui traduit cette deuxième observation :

$x + 2 = 2y$ $\qquad$ $x + 2 = 2(y - 2)$
$x = 2(y - 2)$ $\qquad$ $x + 2 = 2y - 2$

T1		T3		T0
C1		C3	C4	?

C. $[AB]$ est un segment de longueur 10.
Un point M se déplace sur $[AB]$.

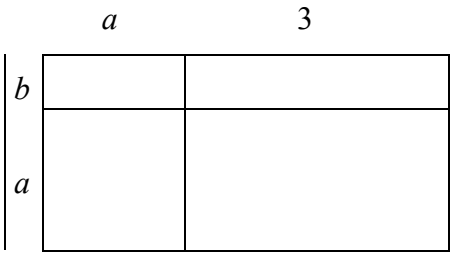
$A \quad x \quad M \qquad\qquad B$

Exprime la longueur du segment [BM] en fonction de x:

T1		T3		T0
C1		C3		?

EXERCICE 6

A. Voici un rectangle :



Indique comment tu calcules l'aire de ce rectangle

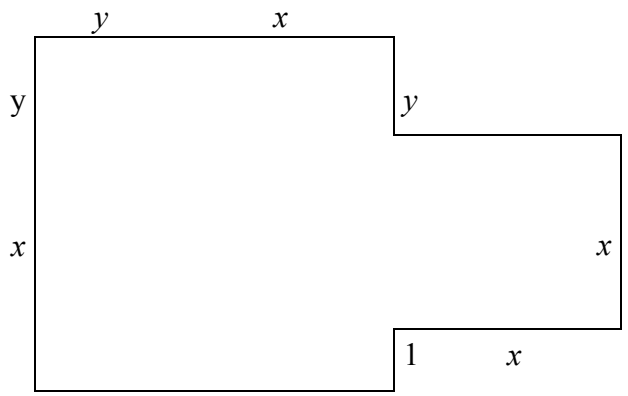
T1	T2	T3		T0	
C1		C3	C4		?
M1	M2	M 31 32	M 41 42	M5	?

Entoure la ou les expressions qui sont égales à l'aire de ce rectangle.

$a+b(a+3)$		$a^2b + 3ab$		$a+3\ (a+b)$
$3a^2b$		$(a+b)(a+3)$		$6ab + a^3b$
$a^2 + ba + 3b$		$ab + 3b + a^2 + 3a$		$3ab + 3a^2$
$(a+3)(a+b)$		$a^2 + ab$		$3ab^2 + 3\ a^3$
$3a \times 3b \times a^2 \times ba$		$2(2a + b + 3)$		$2a + b + 3$

T1	T2	T3		T0	
C1		C3	C4		?
M1	M2	M 31 32	M 41 42	M5	?

B.



Hachure une partie de la figure ayant pour aire l'expression : $x\ (x + y + 1) + x^2$

T1	T2	T3		T0	
C1		C3			?

EXERCICE 7

Traduis à l'aide d'expressions algébriques les différentes étapes de ce programme de calcul :

Etape 1	*Soit un nombre de départ désigné par x*	x
Etape 2	*Prendre le carré du double de ce nombre*	
Etape 3	*Retrancher 3 au résultat*	
Etape 4	*Ajouter à l'inverse du résultat obtenu le nombre de départ*	

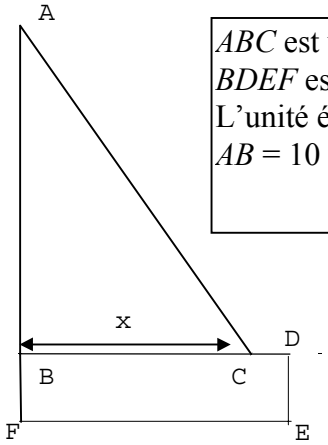
T1		T3		T0	
C1	C2	C3			?
M1		M 31 32	M 41 42		?

Inversement, complète le tableau en écrivant une phrase traduisant chaque étape du programme de calcul en face de l'expression algébrique correspondante.

Etape 1	*Soit un nombre de départ désigné par x*	x
Etape 2	.... …..	$-x+3$
Etape 3	.... …..	$(-x+3)^2$
Etape 4	.... …..	$\dfrac{1}{(-x+3)^2+4}$

T1		T3		T0	
C1	C2	C3			?

EXERCICE 8



ABC est un triangle rectangle en *B*.
BDEF est un rectangle.
L'unité étant le demi-centimètre, on donne :
$AB = 10$; $CD = 1$; $BF = 2$; $BC = x$

1° Exprime l'aire du triangle *ABC* en fonction de *x*.

Justifie ta réponse :

T1	T2	T3		T0

2° Exprime l'aire du rectangle *BDEF* en fonction de *x*.

Justifie ta réponse :

T1	T2	T3		T0	
C1	C2	C3			?

3° Pour quelle(s) valeur(s) de *x* les deux aires sont-elles égales ?

Justifie tes résultats :

T1	T2	T3		T0	
M1		M 31 32	M 41 42		?
L1	L2	L3	L4		?

4° Complète le tableau suivant :

BC en cm	Aire(*ABC*) en cm²	Aire (*BDEF*) en cm²
x		
3		
	10	
		36

L1	L2	L3	L4		?
T1	T2	T3		T0	
T1	T2	T3		T0	
T1	T2	T3		T0	
T1	T2	T3		T0	

Note ici tes calculs

EXERCICE 9

Un prestidigitateur est sûr de lui en réalisant le tour suivant. Il dit à un joueur :
“ Tu penses un nombre, tu ajoutes 8, tu multiplies par 3, tu retranches 4, tu ajoutes ton nombre, tu divises par 4, tu ajoutes 2, tu soustrais ton nombre : tu as trouvé 7 ”.

L’affirmation est-elle vraie ? Justifie ta réponse.

T1	T2	T3		T0	
L1	L2	L3	L4	L5	?
C1	C2	C3	C4		?
M1	M2	M 31 32	M 41 42	M5	?

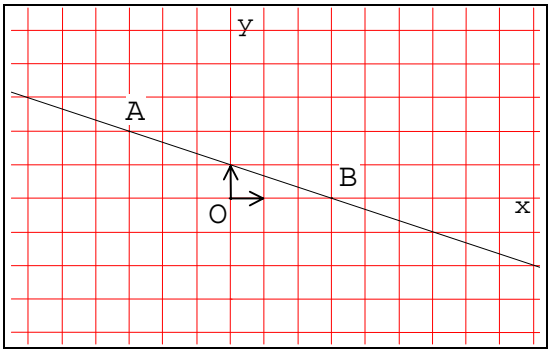
EXERCICE 10

A. La droite (D_1) a pour équation $y = 2x - 5$

Les points suivants appartiennent-ils à la droite (D_1) :	
M (2 ; -1) ?	
N (-2 ; -8) ?	
P (13 ; 9) ?	
Q (9 ; 13) ?	

L1	L2			?
T1	T2	T3		T0
T1	T2	T3		T0
T1	T2	T3		T0
T1	T2	T3		T0

B.



1° Trouve le coefficient directeur de la droite (AB).

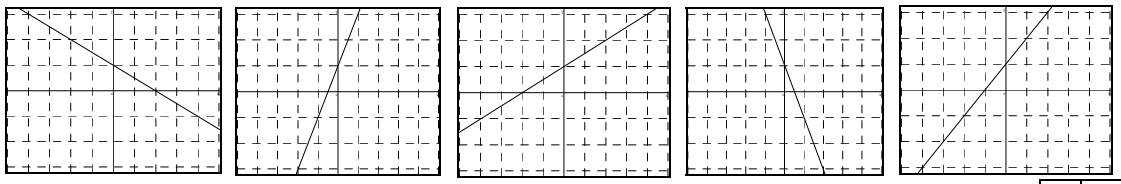
T1	T2	T3		T0
L1	L2	L3		?

2° Entoure son équation :

$y = -3x + 2$	$y = \frac{1}{3}x + 2$	$y = -6x + 2$	$y = -\frac{1}{3}x + 2$	$y = 6x + 2$

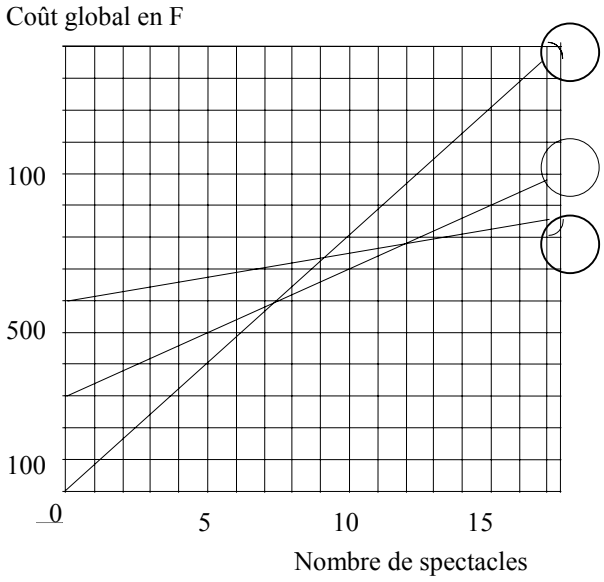
T1		T3		T0
C1		C3	C4	?

C. Entoure le tracé de la droite d'équation $y = 2x + 1$



T1		T3		T0
C1		C3	C4	?

EXERCICE 11



Un centre d'action culturel présente 20 spectacles dans l'année et propose trois tarifs : T1, T2 et T3.

T1 : Un abonnement de 300 F et un droit d'entrée de 40 F par spectacle.

T2 : Un abonnement de 600 F et un droit d'entrée de 15 F par spectacle.

T3 : Pas d'abonnement et un droit d'entrée de 80F par spectacle.

Pour chaque tarif, le coût global correspondant à un nombre de spectacles compris entre 0 et 20 peut être lu sur le graphique

T1	T2	T3		T0
T1	T2	T3		T0
T1	T2	T3		T0
C1		C3	C4	?

1° Indique dans les bulles le tarif correspondant à chaque représentation graphique.

Note ici ta démarche

2° Détermine les fonctions *f, g* et *h* qui expriment respectivement les tarifs T1, T2 et T3 en fonction du nombre *n* de spectacles.

f	
g	
h	

T1		T3		T0	
L1	L2	L3	L4	L5	?
C1	C2	C3	C4		?
T1		T3		T0	?
L1	L2	L3	L4	L5	?
C1	C2	C3	C4		?
T1		T3		T0	?
L1	L2	L3	L4	L5	?
C1	C2	C3	C4		?

3° Trouve, par le calcul, le nombre de spectacles pour lequel le tarif T1 est plus avantageux que le tarif T3.

T1	T2	T3		T0	
L1	L2	L3	L4	L5	?
R1	R2	R3	R4	R5	?

EXERCICE 12

On étudie le temps t (exprimé en heures) d'un parcours en fonction de sa distance d (exprimée en kilomètres) pour différents moyens de transport :

- pour une voiture roulant à la vitesse de 120 km / h sur autoroute, le temps est donné par :

$$t = \frac{d}{120}.$$

- pour un TGV roulant à la vitesse de 240 km / h, comme il faut ajouter une heure à la durée du trajet en train pour le trajet du domicile à la gare, le temps est donné par :

$$t = 1 + \frac{d}{240}.$$

- pour un avion volant à la vitesse de 750 km / h, comme il faut ajouter deux heures à la durée du vol pour le trajet du domicile à l'aéroport et les démarches d'enregistrement, le temps est donné par :

$$t = 2 + \frac{d}{750}.$$

1° Cinq heures après le départ du domicile, quelle distance a-t-on parcourue avec chaque moyen de transport ?

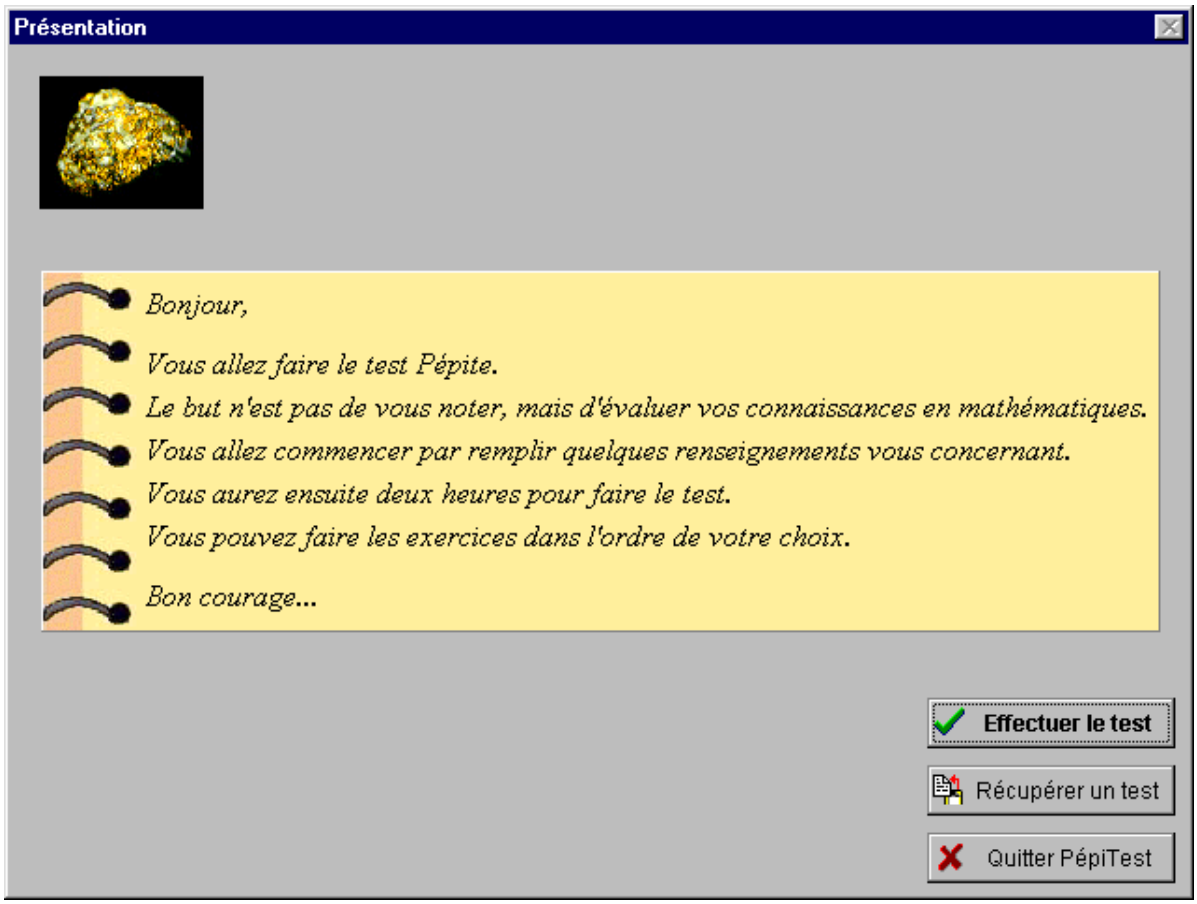
Voiture		T1 T2 T3 T0 L1 L2 L3 ? M1 M31 M32 M41 M42 ?
Train		T1 T3 T0 L1 L2 L3 ? M1 M31 M32 M41 M42 ?
Avion		T1 T3 T0 L1 L2 L3 ? M1 M31 M32 M41 M42 ?

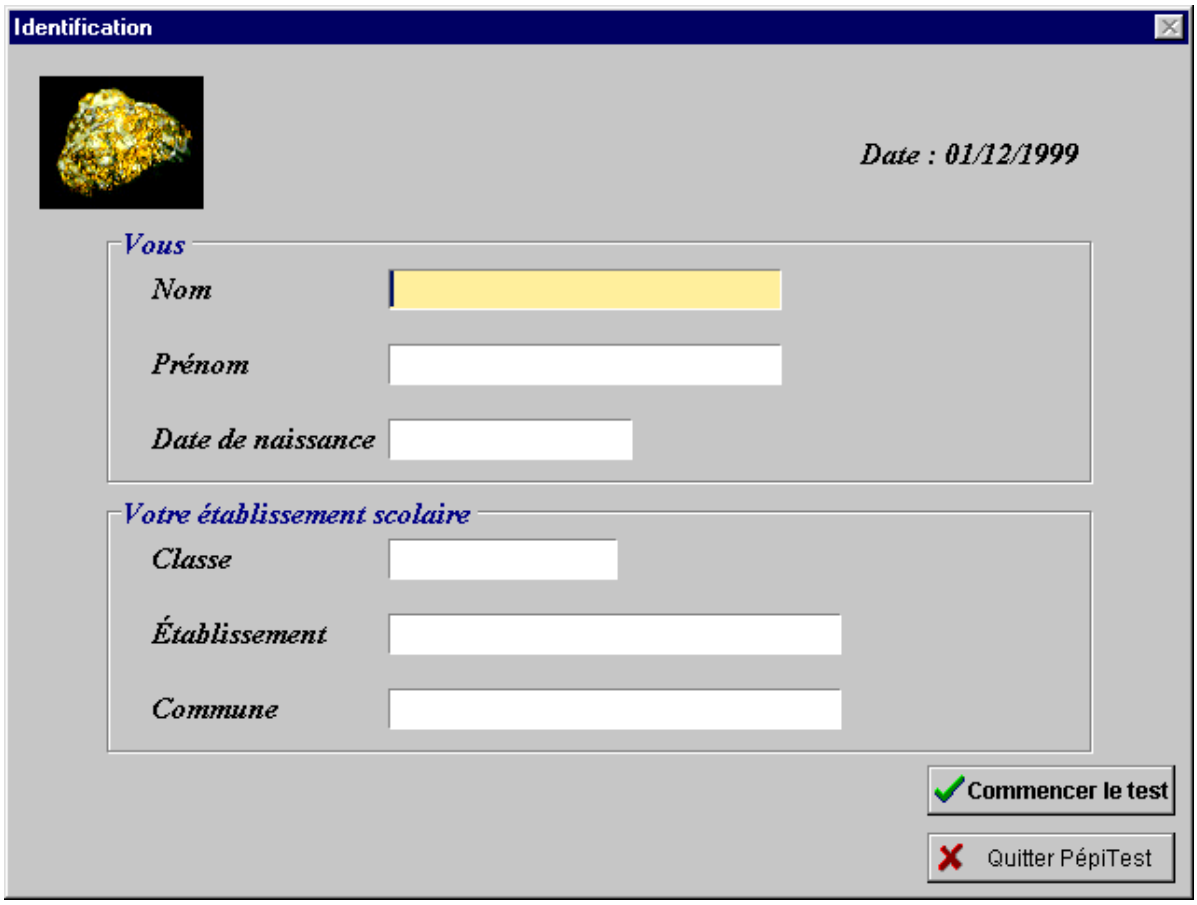
2° Pour chaque moyen de transport, exprime d en fonction de t ?

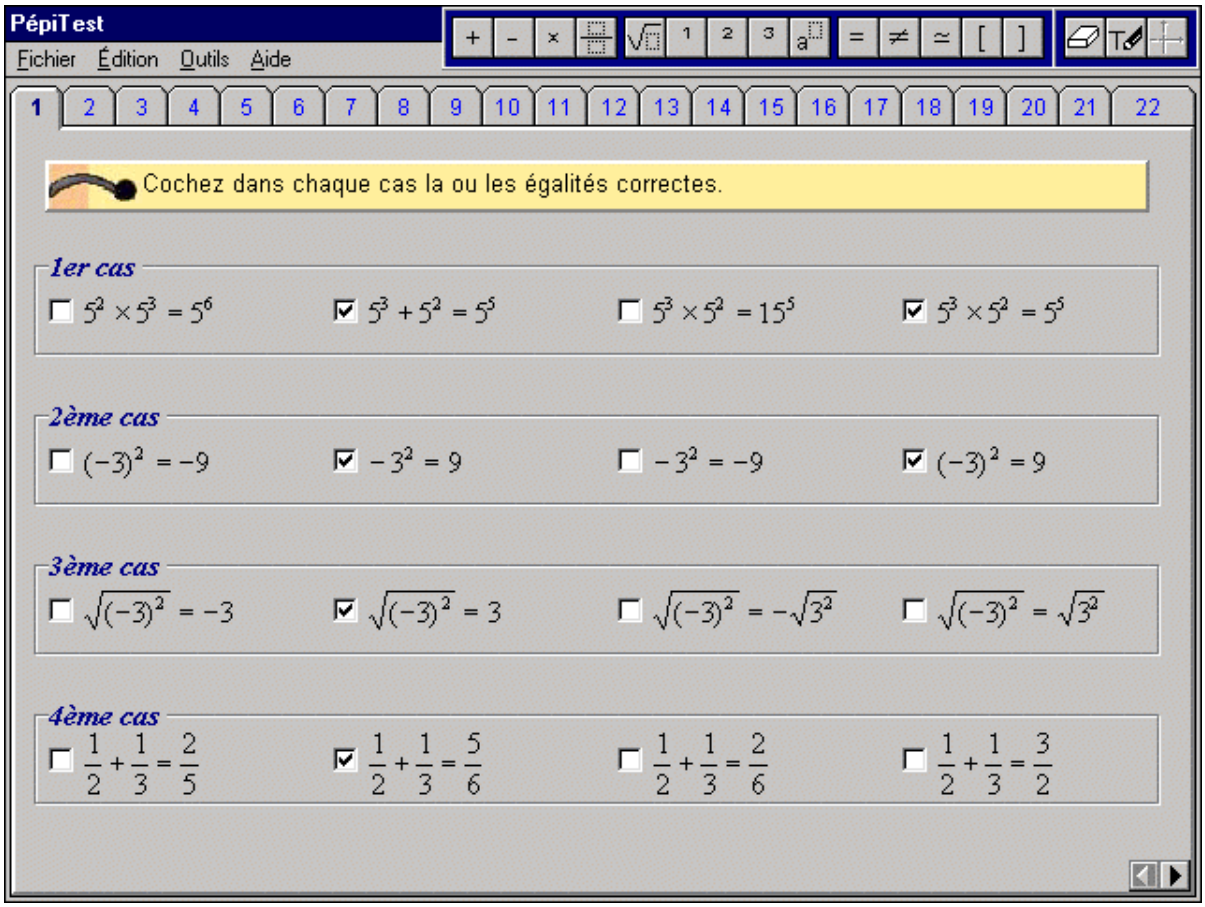
Voiture		T1 T3 T0 L1 L2 L3 ? M1 M31 M32 M41 M42 ?
Train		T1 T3 T0 L1 L2 L3 ? M1 M31 M32 M41 M42 ?
Avion		T1 T3 T0 L1 L2 L3 ? M1 M31 M32 M41 M42 ?

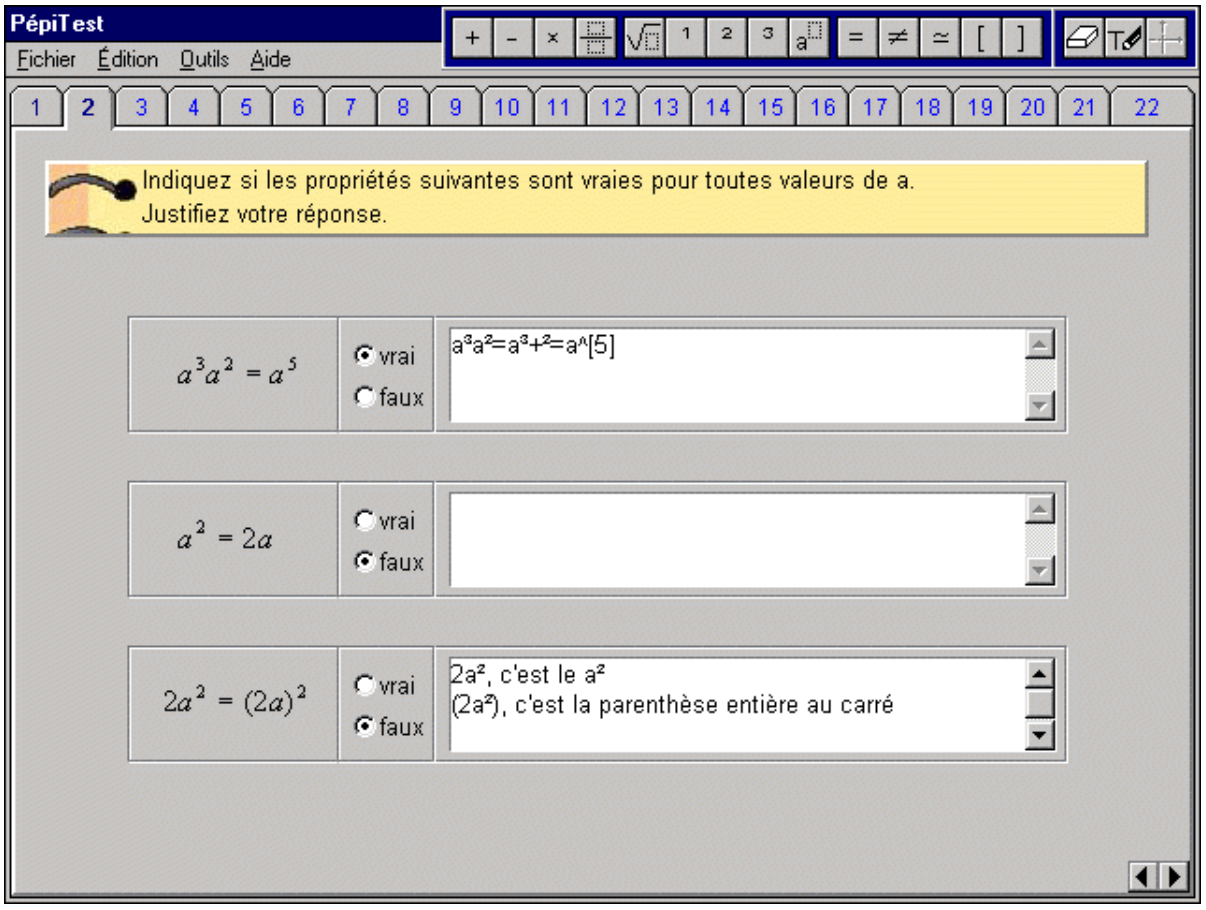
Annexe 2
LES EXERCICES DE PÉPITEST – L'EXEMPLE D'ANNE LAURE C.

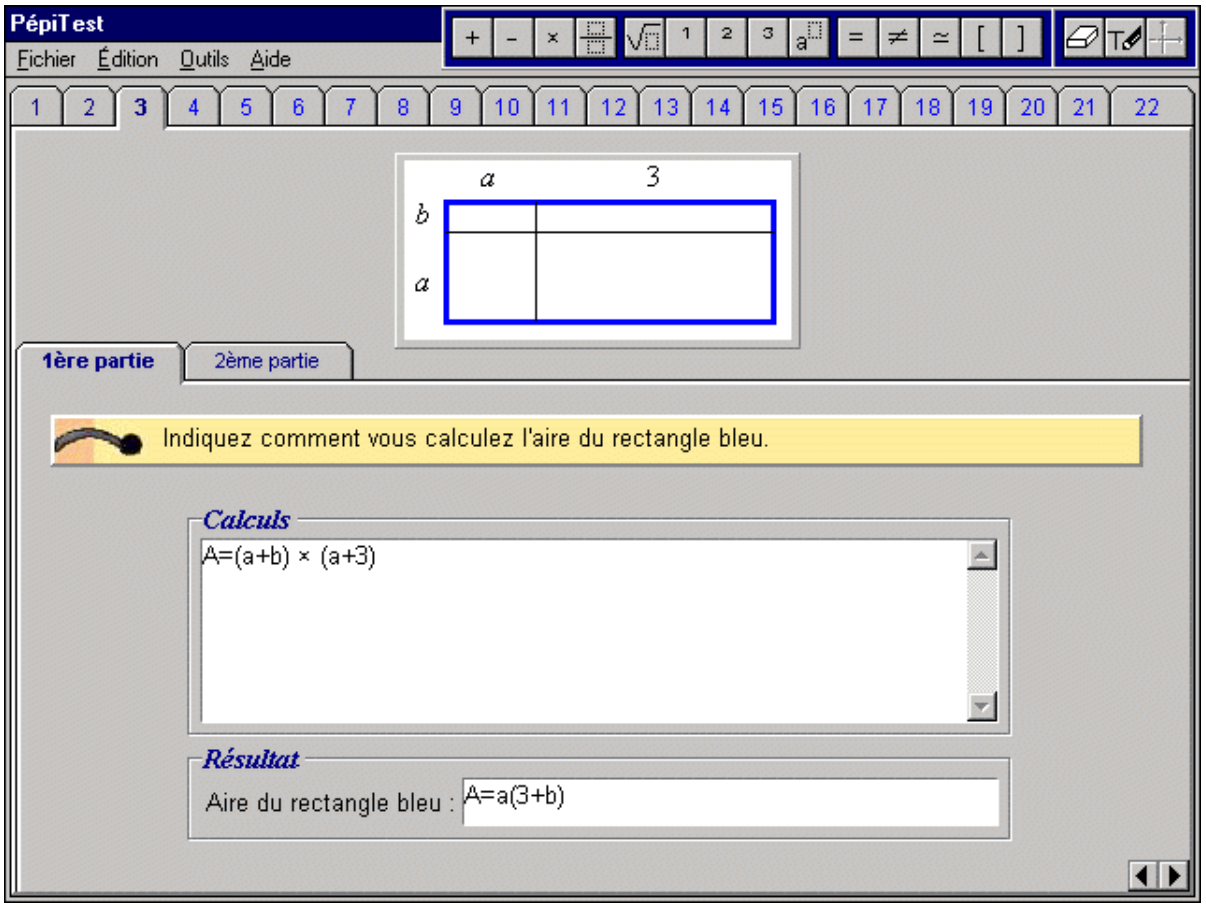


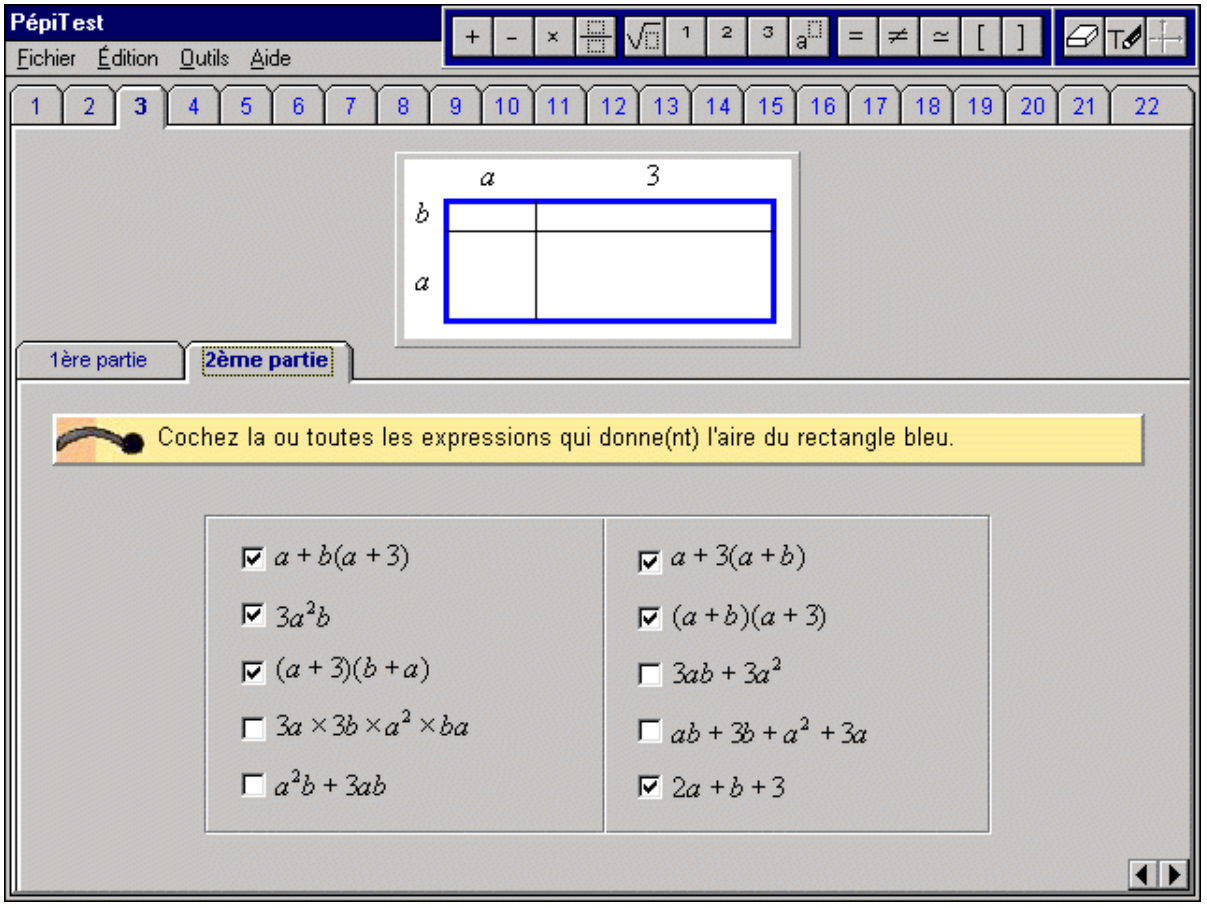


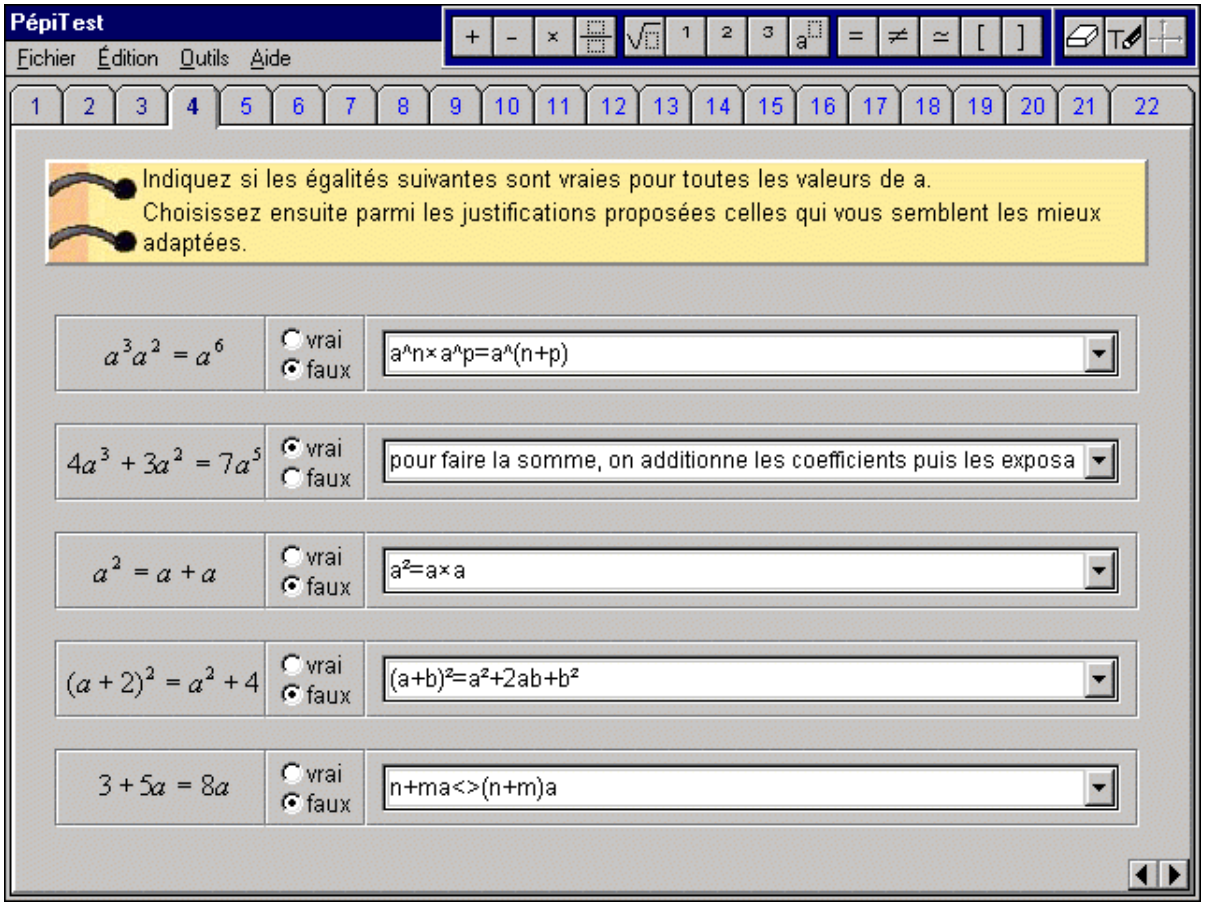

Identification
Date : 01/12/1999
Vous
Nom
Prénom
Date de naissance
Votre établissement scolaire
Classe
Établissement
Commune
Commencer le test
Quitter PépiTest

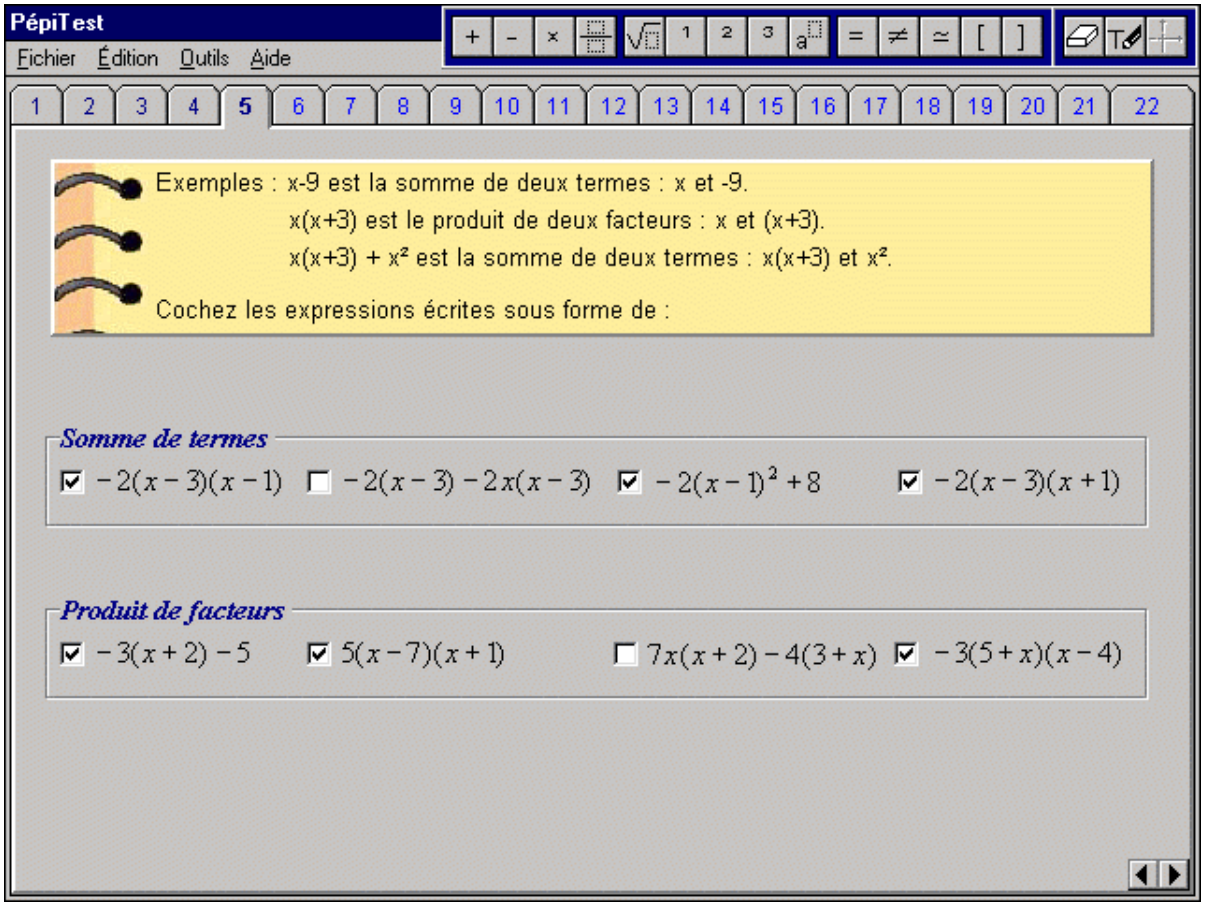

PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
Cochez dans chaque cas la ou les égalités correctes.
1er cas
$5^2 \times 5^3 = 5^6$
$5^3 + 5^2 = 5^5$
$5^3 \times 5^2 = 15^5$
$5^3 \times 5^2 = 5^5$
2ème cas
$(-3)^2 = -9$
$-3^2 = 9$
$-3^2 = -9$
$(-3)^2 = 9$
3ème cas
$\sqrt{(-3)^2} = -3$
$\sqrt{(-3)^2} = 3$
$\sqrt{(-3)^2} = -\sqrt{3^2}$
$\sqrt{(-3)^2} = \sqrt{3^2}$
4ème cas
$\frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{2}{5}$
$\frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{5}{6}$
$\frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{2}{6}$
$\frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{3}{2}$

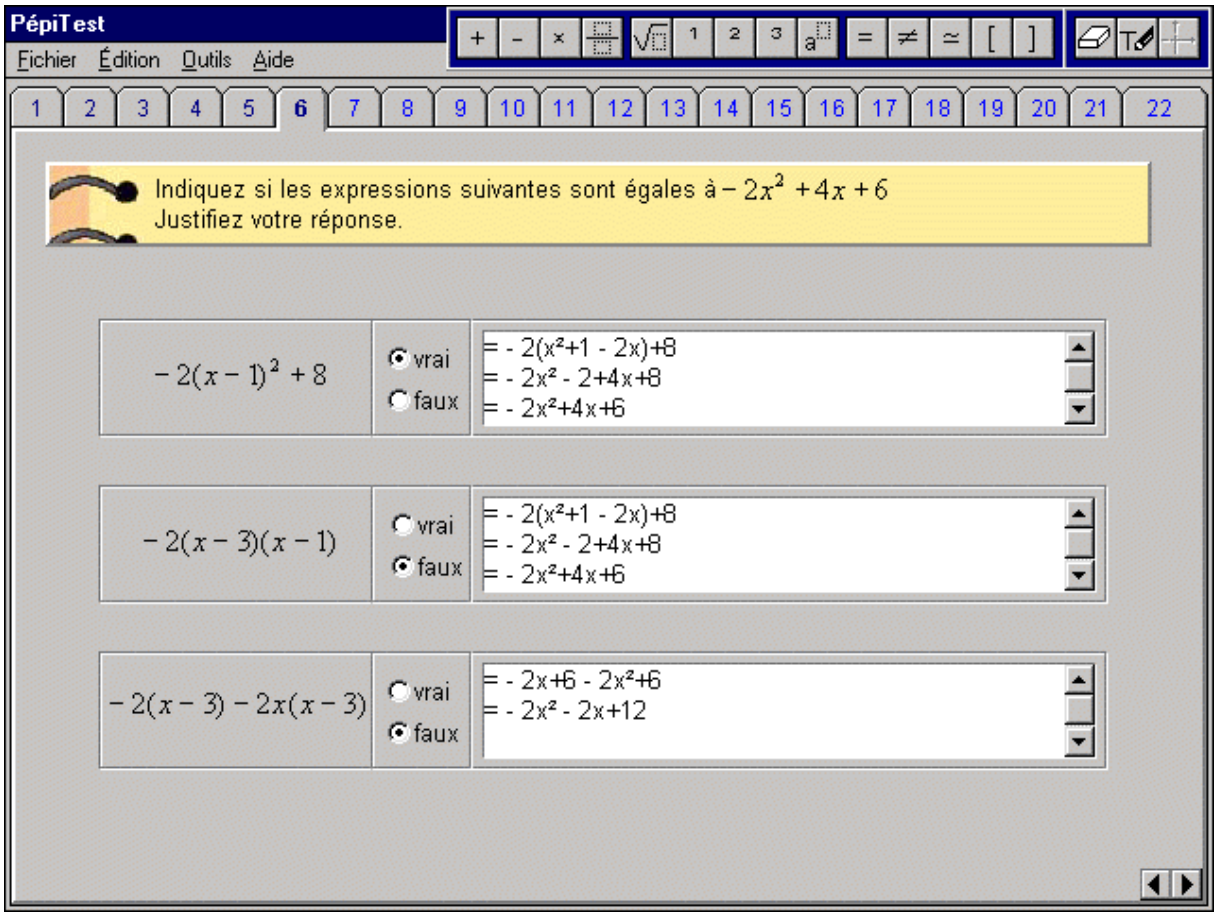

PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
Indiquez si les propriétés suivantes sont vraies pour toutes valeurs de a.
Justifiez votre réponse.
$a^3a^2 = a^5$
vrai
faux
a³a²=a³+²=a^[5]
$a^2 = 2a$
vrai
faux
$2a^2 = (2a)^2$
vrai
faux
2a², c'est le a²
(2a²), c'est la parenthèse entière au carré

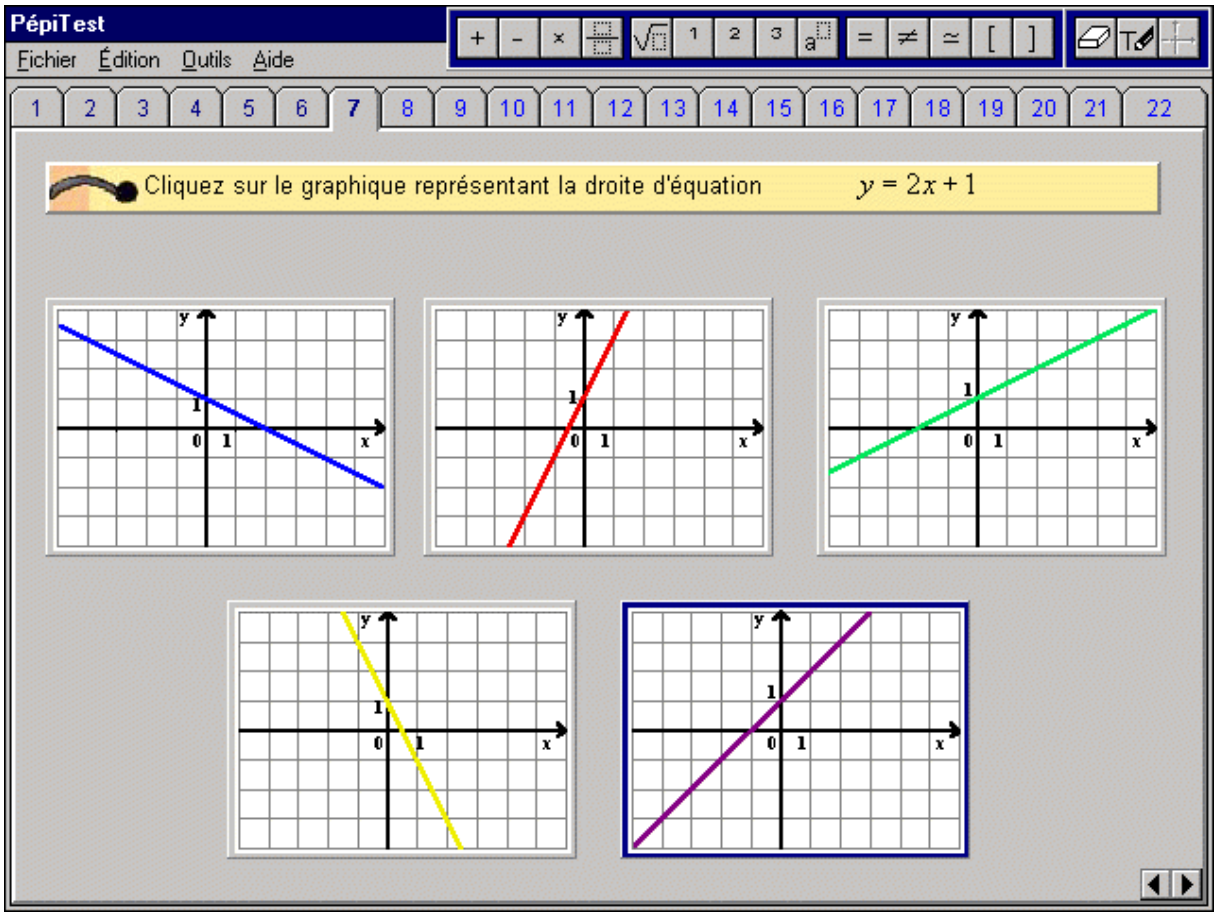

PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
a
3
b
a
1ère partie
2ème partie
Indiquez comment vous calculez l'aire du rectangle bleu.
Calculs
A=(a+b) × (a+3)
Résultat
Aire du rectangle bleu :
A=a(3+b)

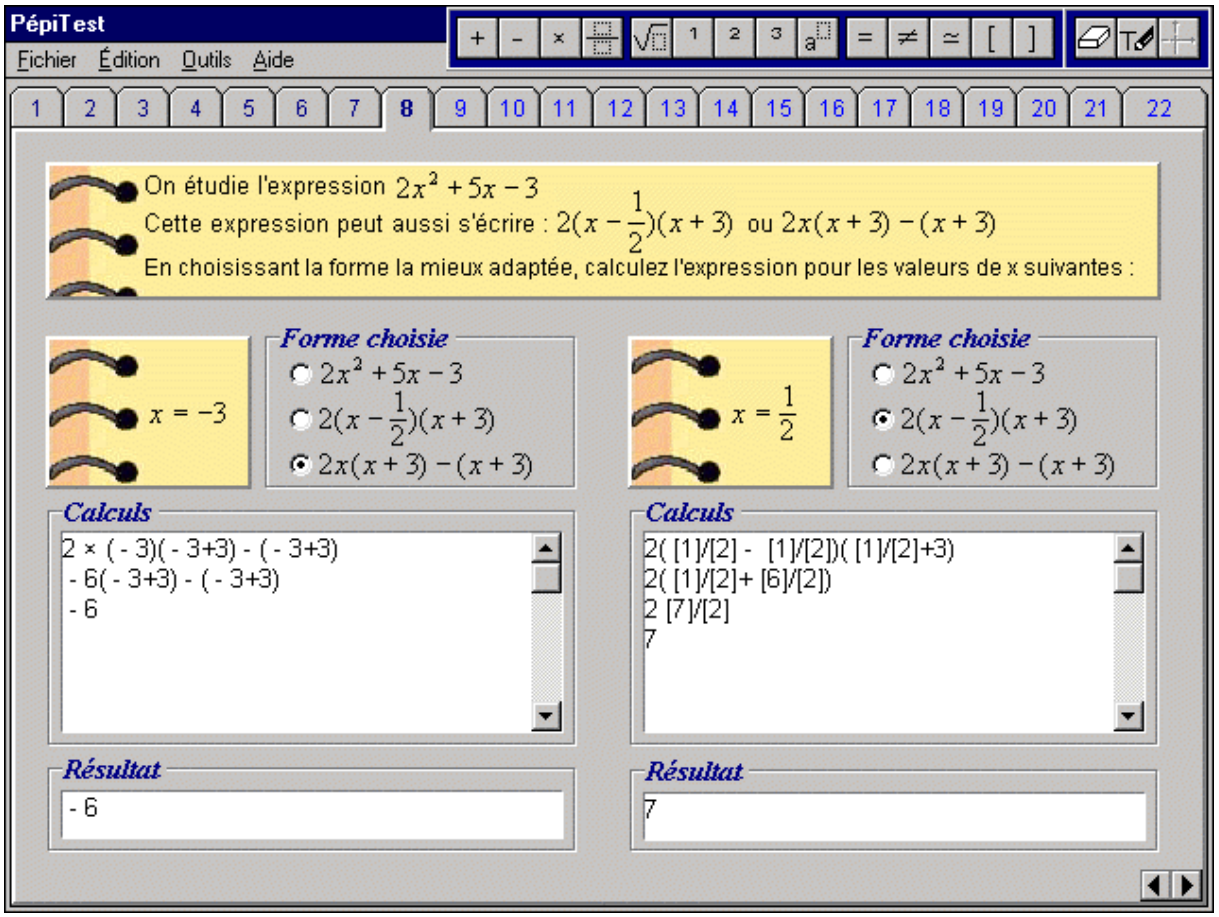

PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
a 3
b
a
1ère partie
2ème partie
Cochez la ou toutes les expressions qui donne(nt) l'aire du rectangle bleu.
a + b(a + 3)
3a²b
(a + 3)(b + a)
3a × 3b × a² × ba
a²b + 3ab
a + 3(a + b)
(a + b)(a + 3)
3ab + 3a²
ab + 3b + a² + 3a
2a + b + 3

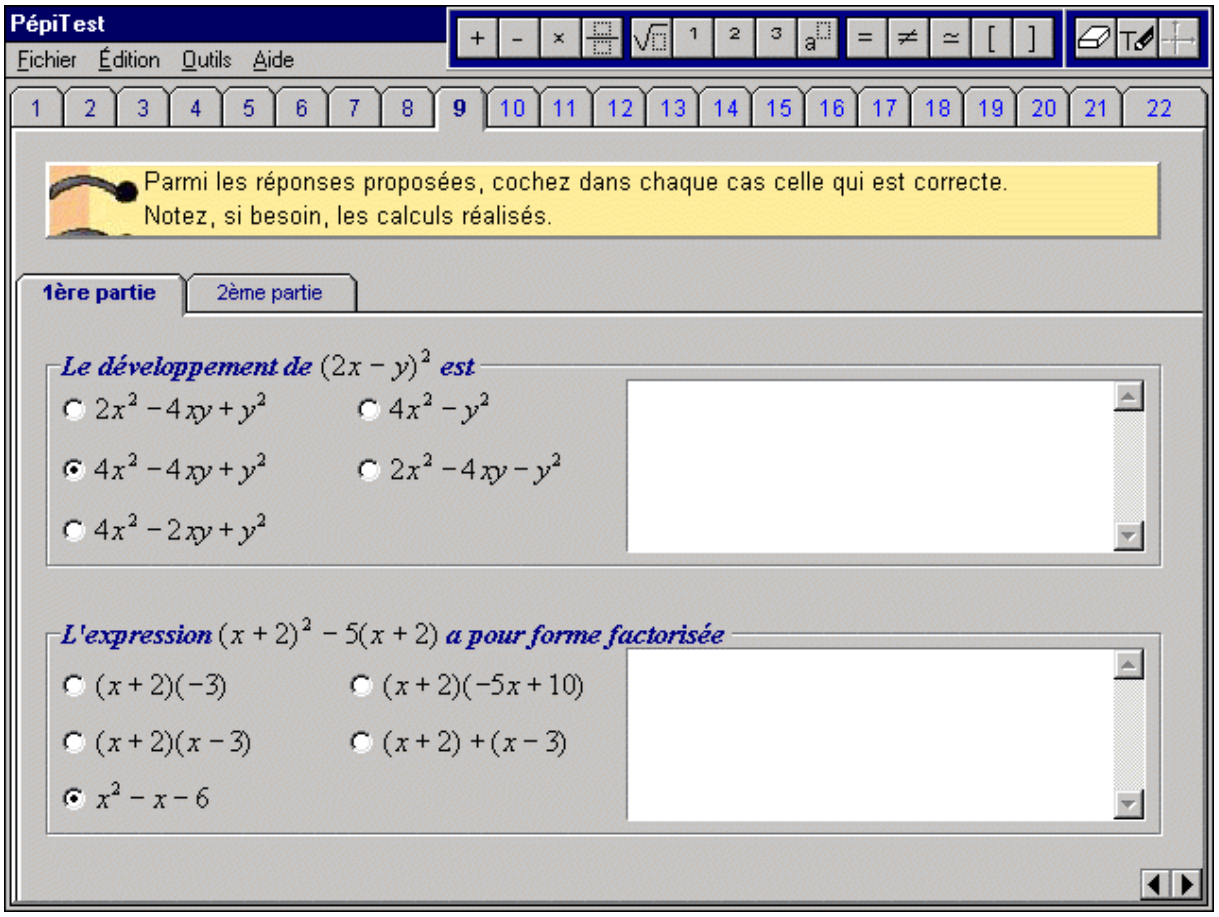

PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
Indiquez si les égalités suivantes sont vraies pour toutes les valeurs de a.
Choisissez ensuite parmi les justifications proposées celles qui vous semblent les mieux adaptées.
a³a² = a⁶
vrai
faux
a^n×a^p=a^(n+p)
4a³ + 3a² = 7a⁵
vrai
faux
pour faire la somme, on additionne les coefficients puis les exposa
a² = a + a
vrai
faux
a²=a×a
(a + 2)² = a² + 4
vrai
faux
(a+b)²=a²+2ab+b²
3 + 5a = 8a
vrai
faux
n+ma<>(n+m)a

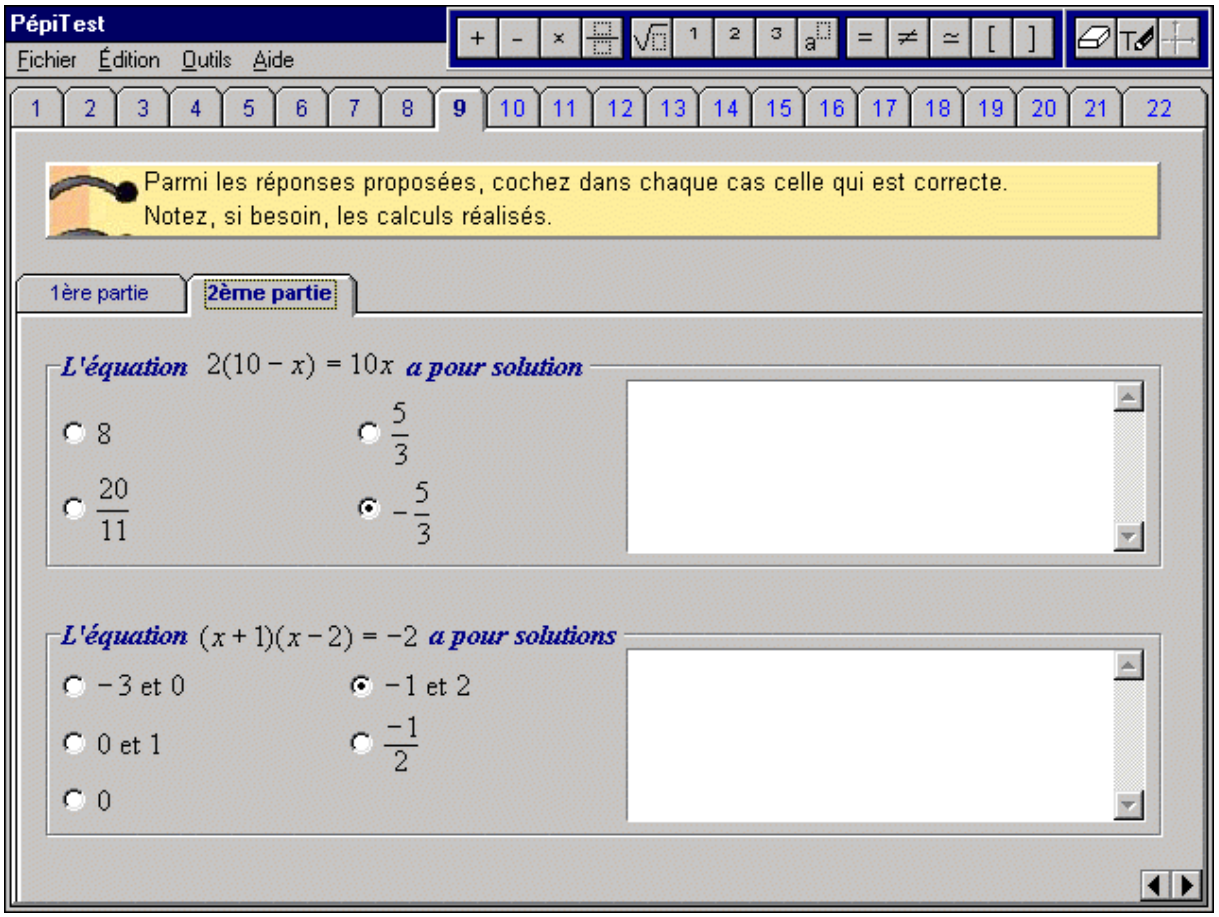

PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
Exemples : x-9 est la somme de deux termes : x et -9.
x(x+3) est le produit de deux facteurs : x et (x+3).
x(x+3) + x² est la somme de deux termes : x(x+3) et x².
Cochez les expressions écrites sous forme de :
Somme de termes
$-2(x-3)(x-1)$ $-2(x-3)-2x(x-3)$ $-2(x-1)^2+8$ $-2(x-3)(x+1)$
Produit de facteurs
$-3(x+2)-5$ $5(x-7)(x+1)$ $7x(x+2)-4(3+x)$ $-3(5+x)(x-4)$

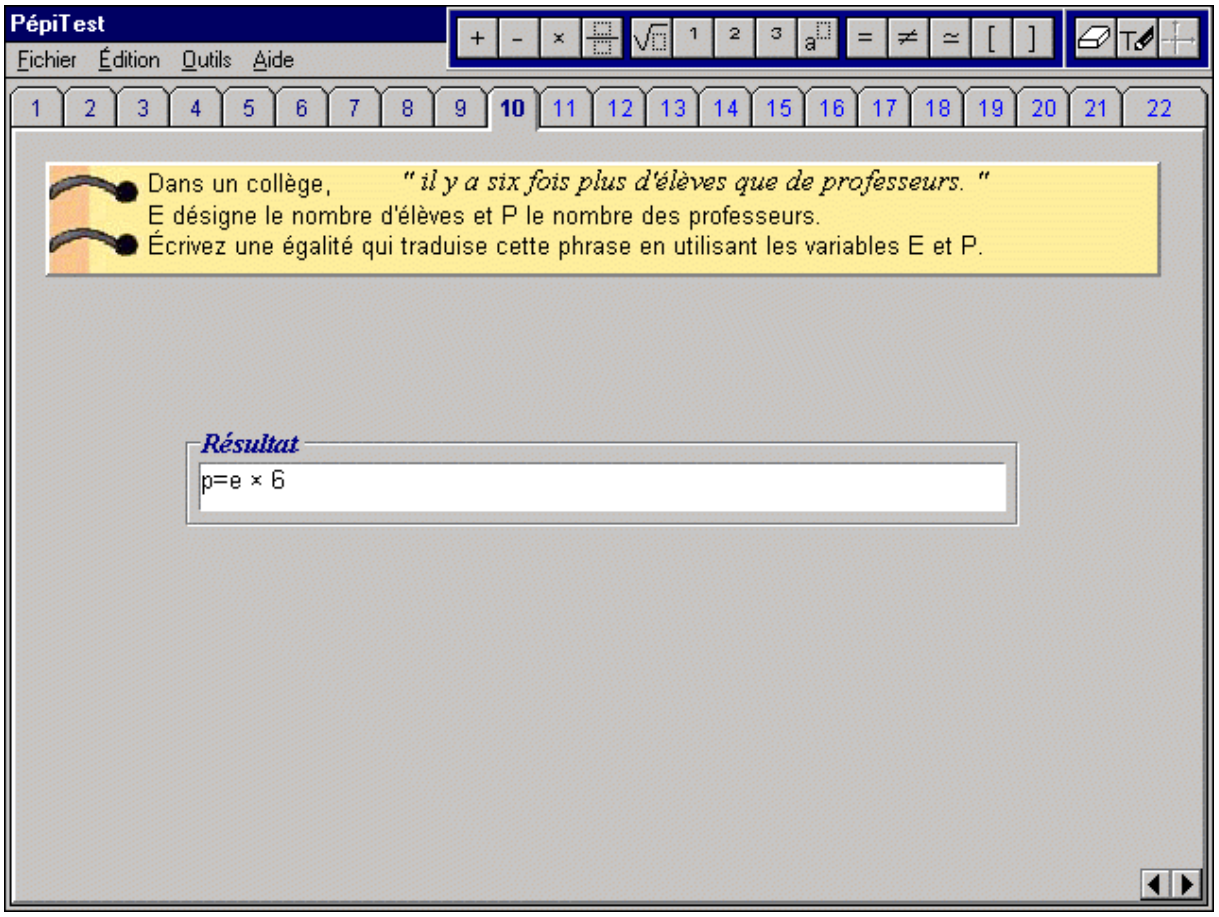

PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
Indiquez si les expressions suivantes sont égales à $-2x^2+4x+6$
Justifiez votre réponse.
$-2(x-1)^2+8$ vrai faux
= - 2(x²+1 - 2x)+8
= - 2x² - 2+4x+8
= - 2x²+4x+6
$-2(x-3)(x-1)$ vrai faux
= - 2(x²+1 - 2x)+8
= - 2x² - 2+4x+8
= - 2x²+4x+6
$-2(x-3)-2x(x-3)$ vrai faux
= - 2x+6 - 2x²+6
= - 2x² - 2x+12

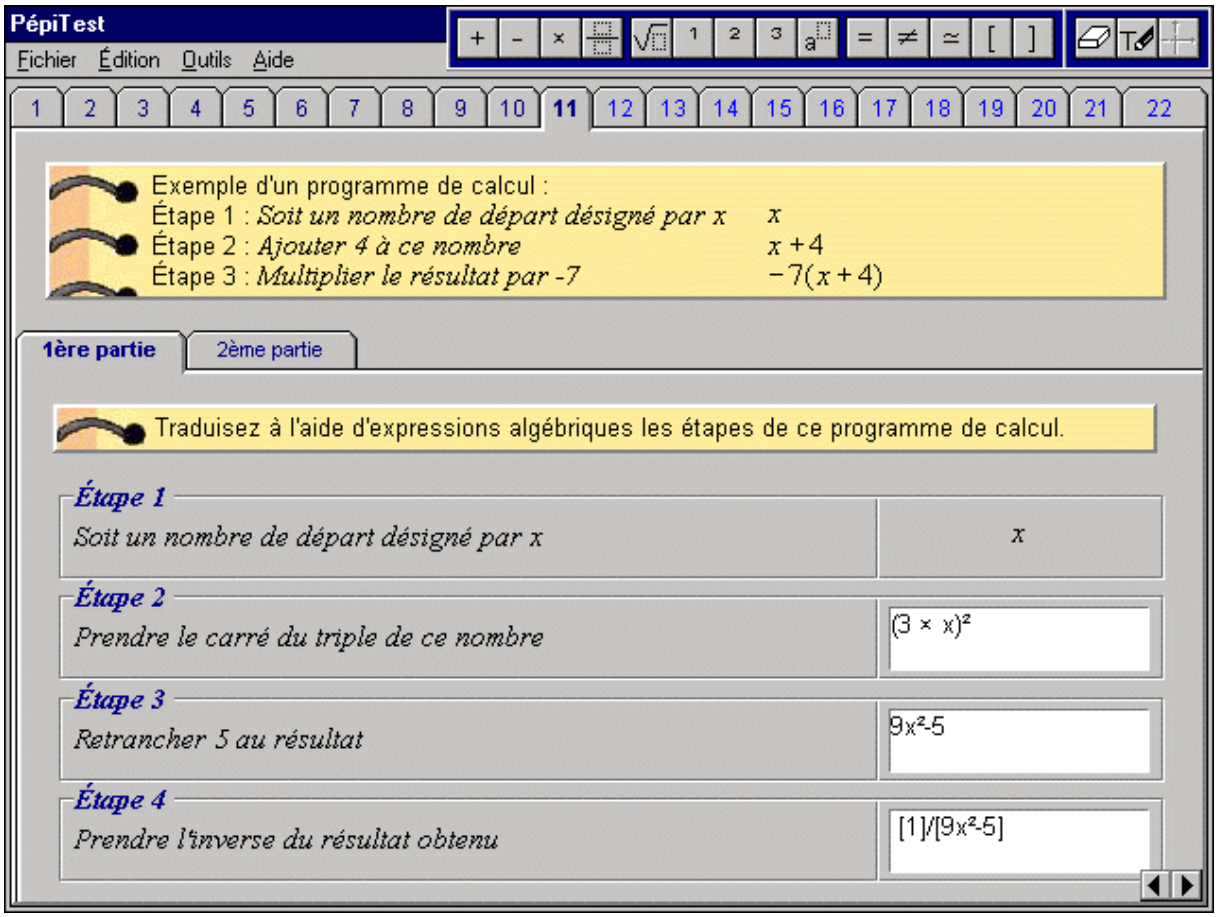

PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
Cliquez sur le graphique représentant la droite d'équation $y = 2x + 1$

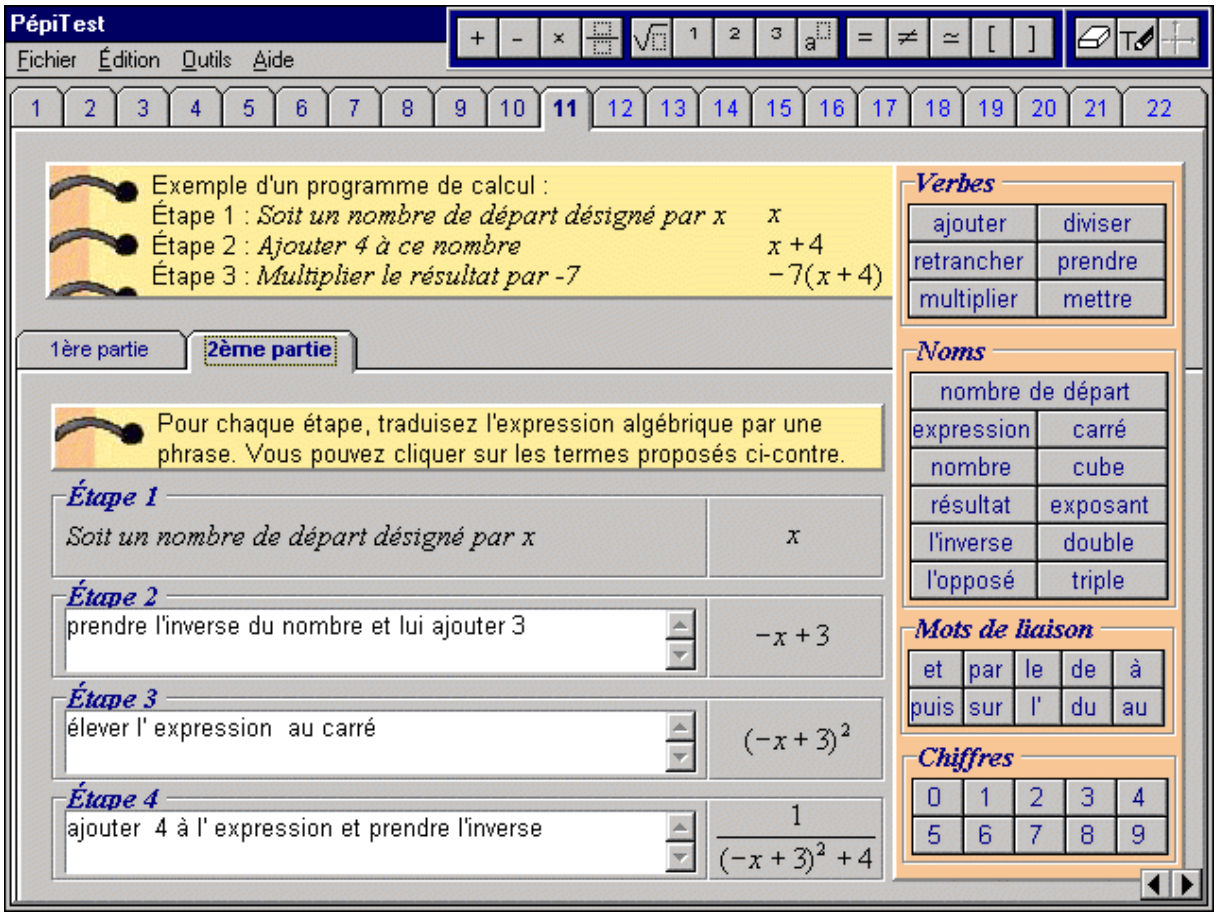

PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
On étudie l'expression $2x^2 + 5x - 3$
Cette expression peut aussi s'écrire : $2(x - \frac{1}{2})(x + 3)$ ou $2x(x + 3) - (x + 3)$
En choisissant la forme la mieux adaptée, calculez l'expression pour les valeurs de x suivantes :
$x = -3$
Forme choisie
$2x^2 + 5x - 3$
$2(x - \frac{1}{2})(x + 3)$
$2x(x + 3) - (x + 3)$
Calculs
2 × (- 3)(- 3+3) - (- 3+3)
- 6(- 3+3) - (- 3+3)
- 6
Résultat
- 6
$x = \frac{1}{2}$
Forme choisie
$2x^2 + 5x - 3$
$2(x - \frac{1}{2})(x + 3)$
$2x(x + 3) - (x + 3)$
Calculs
2([1]/[2] - [1]/[2])([1]/[2]+3)
2([1]/[2]+ [6]/[2])
2 [7]/[2]
7
Résultat
7

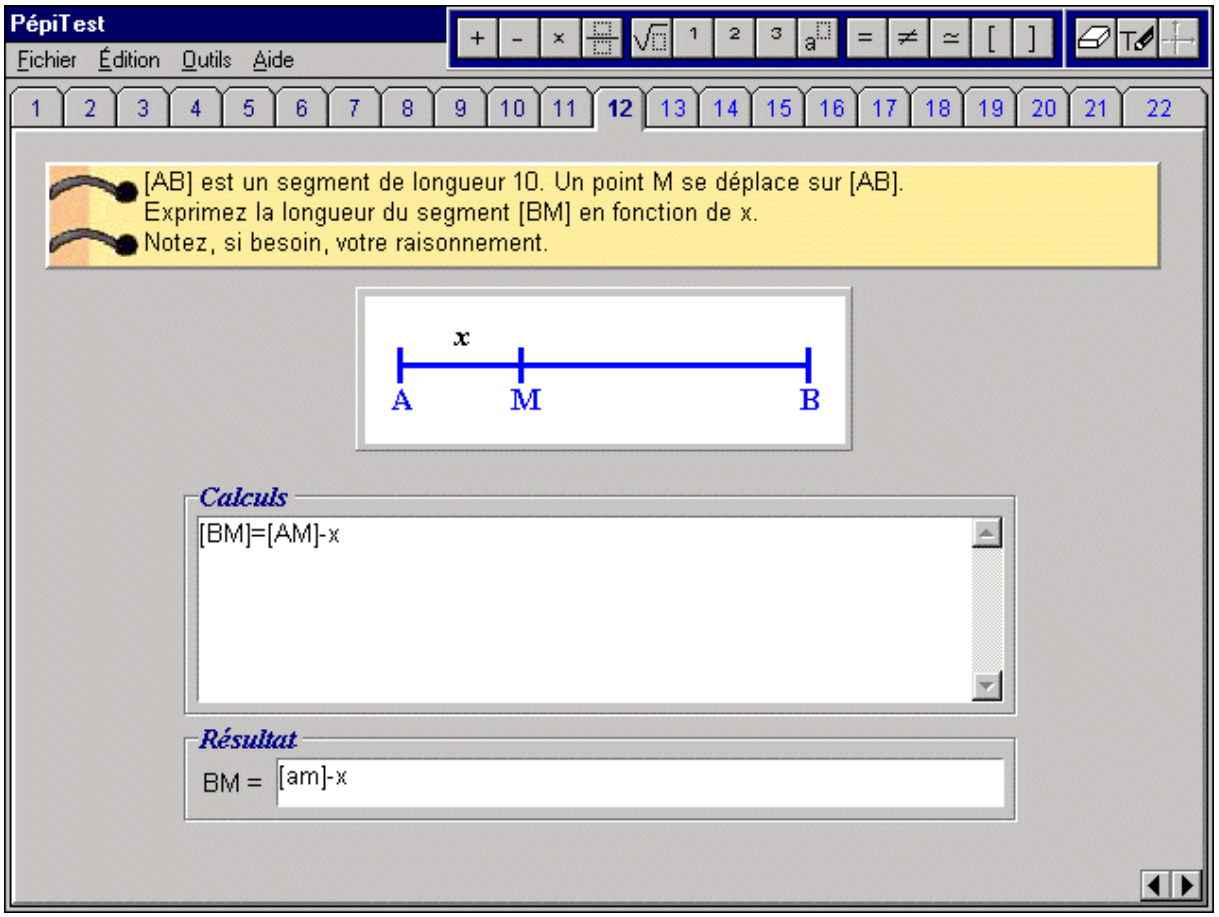

PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
Parmi les réponses proposées, cochez dans chaque cas celle qui est correcte.
Notez, si besoin, les calculs réalisés.
1ère partie
2ème partie
Le développement de $(2x-y)^2$ est
$2x^2-4xy+y^2$
$4x^2-y^2$
$4x^2-4xy+y^2$
$2x^2-4xy-y^2$
$4x^2-2xy+y^2$
L'expression $(x+2)^2-5(x+2)$ a pour forme factorisée
$(x+2)(-3)$
$(x+2)(-5x+10)$
$(x+2)(x-3)$
$(x+2)+(x-3)$
x^2-x-6


PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
Parmi les réponses proposées, cochez dans chaque cas celle qui est correcte.
Notez, si besoin, les calculs réalisés.
1ère partie
2ème partie
L'équation $2(10-x)=10x$ a pour solution
8
$\frac{5}{3}$
$\frac{20}{11}$
$-\frac{5}{3}$
L'équation $(x+1)(x-2)=-2$ a pour solutions
-3 et 0
-1 et 2
0 et 1
$\frac{-1}{2}$
0


PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
Dans un collège, " il y a six fois plus d'élèves que de professeurs. "
E désigne le nombre d'élèves et P le nombre des professeurs.
Écrivez une égalité qui traduise cette phrase en utilisant les variables E et P.
Résultat
p=e × 6


PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
Exemple d'un programme de calcul :
Étape 1 : Soit un nombre de départ désigné par x x
Étape 2 : Ajouter 4 à ce nombre x +4
Étape 3 : Multiplier le résultat par -7 −7(x +4)
1ère partie
2ème partie
Traduisez à l'aide d'expressions algébriques les étapes de ce programme de calcul.
Étape 1
Soit un nombre de départ désigné par x
x
Étape 2
Prendre le carré du triple de ce nombre
(3 × x)²
Étape 3
Retrancher 5 au résultat
9x²-5
Étape 4
Prendre l'inverse du résultat obtenu
[1]/[9x²-5]


PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
Exemple d'un programme de calcul :
Étape 1 : Soit un nombre de départ désigné par x x
Étape 2 : Ajouter 4 à ce nombre x + 4
Étape 3 : Multiplier le résultat par -7 −7(x + 4)
1ère partie
2ème partie
Pour chaque étape, traduisez l'expression algébrique par une phrase. Vous pouvez cliquer sur les termes proposés ci-contre.
Étape 1
Soit un nombre de départ désigné par x
x
Étape 2
prendre l'inverse du nombre et lui ajouter 3
−x + 3
Étape 3
élever l' expression au carré
(−x + 3)²
Étape 4
ajouter 4 à l' expression et prendre l'inverse
1 / (−x + 3)² + 4
Verbes
ajouter diviser
retrancher prendre
multiplier mettre
Noms
nombre de départ
expression carré
nombre cube
résultat exposant
l'inverse double
l'opposé triple
Mots de liaison
et par le de à
puis sur l' du au
Chiffres
0 1 2 3 4
5 6 7 8 9

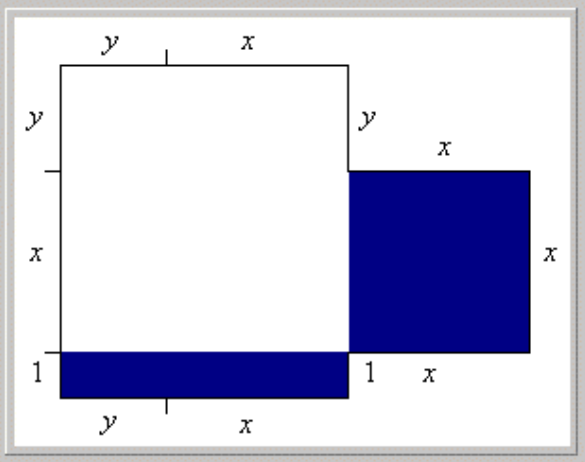

PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
[AB] est un segment de longueur 10. Un point M se déplace sur [AB].
Exprimez la longueur du segment [BM] en fonction de x.
Notez, si besoin, votre raisonnement.
x
A
M
B
Calculs
[BM]=[AM]-x
Résultat
BM = [am]-x

PépiTest

Fichier Édition Outils Aide

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 **13** 14 15 16 17 18 19 20 21 22

Cliquez sur les parties de la figure dont l'aire globale est $x(x+y+1)+x^2$



PépiTest

Fichier Édition Outils Aide

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 **14** 15 16 17 18 19 20 21 22

Des enfants sont réunis pour un anniversaire et organisent deux groupes pour jouer : celui des filles et celui des garçons. Il y a x filles et y garçons.

Si deux filles décidaient de rejoindre le groupe des garçons, les deux groupes ainsi constitués auraient le même effectif.

Cochez l'équation qui traduit cette observation.

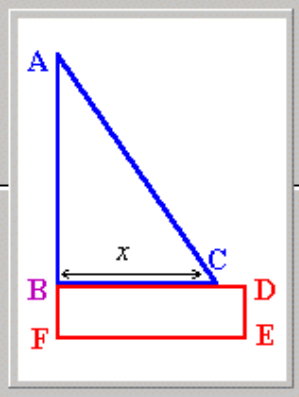
- ○ $x-2=y+2$
- ○ $x-2=y-2$
- ○ $x+2=y-2$
- ◉ $x=y$

PépiTest

Fichier Édition Outils Aide

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 **15** 16 17 18 19 20 21 22

ABC est un triangle rectangle en B.
BDEF est un rectangle.
AB = 10 , CD = 1 , BF = 2 , BC = x .



1ère partie 2ème partie 3ème partie

Exprimez l'aire du triangle ABC en fonction de x.

Calculs

= [ABx]/[2]
= [10x]/[2]
=5x

Résultat

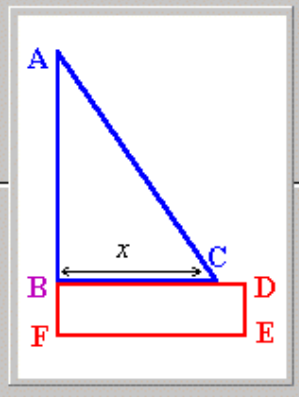
Aire de ABC 5x

PépiTest

Fichier Édition Outils Aide

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 **15** 16 17 18 19 20 21 22

ABC est un triangle rectangle en B.
BDEF est un rectangle.
AB = 10 , CD = 1 , BF = 2 , BC = x .



1ère partie **2ème partie** 3ème partie

Exprimez l'aire du rectangle BDEF en fonction de x.

Calculs

A=(CD+x) × BF
A=(1+x) × 2
A=2+2x

Résultat

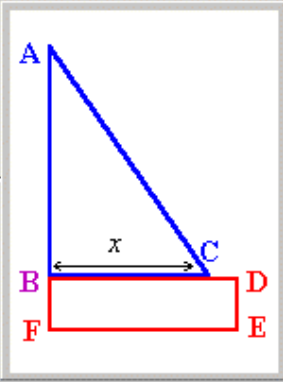
Aire de BDEF 2+2x

PépiTest

Fichier Édition Outils Aide

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 **15** 16 17 18 19 20 21 22

ABC est un triangle rectangle en B.
BDEF est un rectangle.
AB = 10 , CD = 1 , BF = 2 , BC = x .



1ère partie | 2ème partie | **3ème partie**

Indiquez pour quelle(s) valeur(s) de x les deux aires sont égales.

Calculs

Résultat

Valeur(s) de x

Vos résultats précédents

Aire de ABC

$5x$

Aire de BDEF

$2+2x$

PépiTest

Fichier Édition Outils Aide

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 **16** 17 18 19 20 21 22

Un prestidigitateur est sûr de lui en réalisant le tour suivant. Il dit au joueur :

" Tu penses un nombre, tu ajoutes 8, tu multiplies par 3, tu retranches 4, tu ajoutes ton nombre, tu divises par 4, tu ajoutes 2, tu soustrais ton nombre : tu as trouvé 7. "

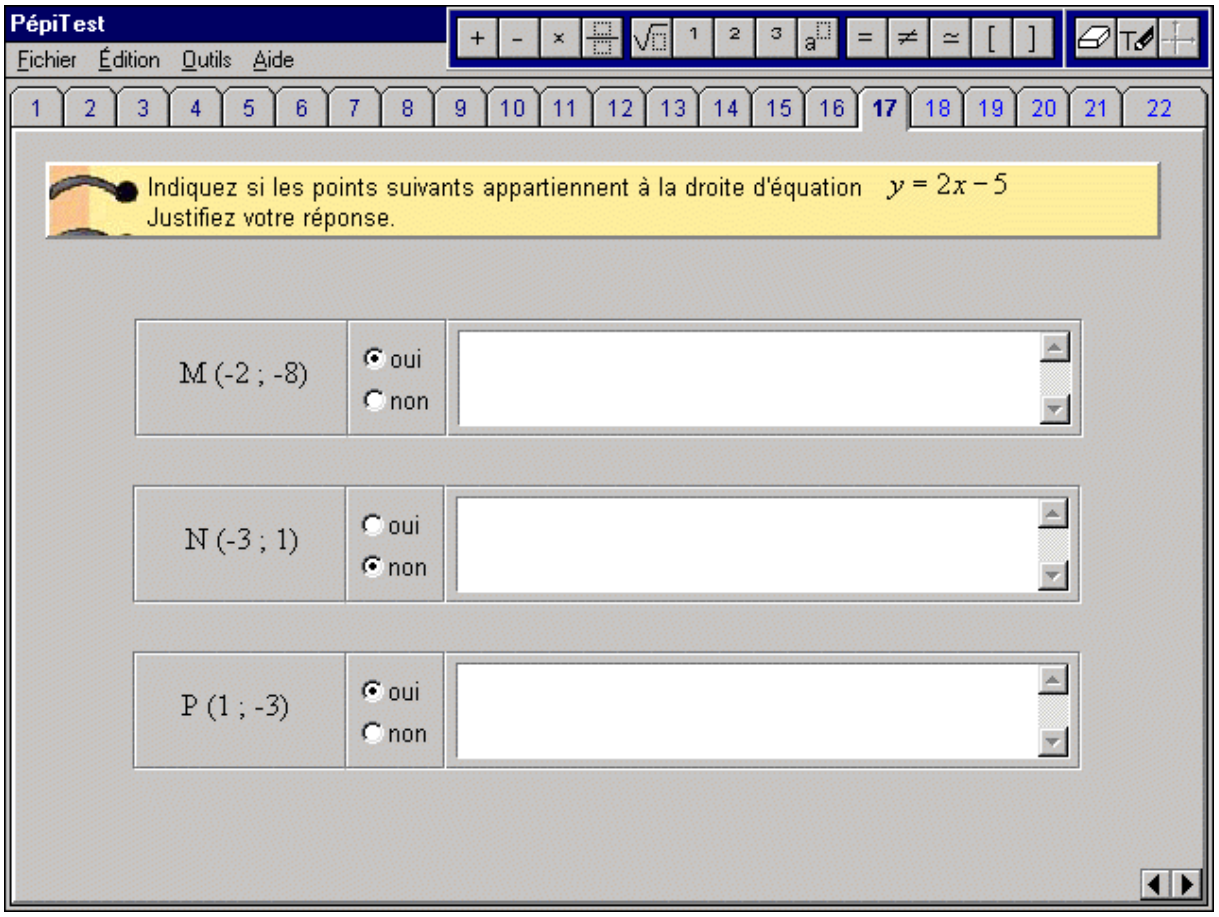
Indiquez si cette affirmation est vraie ou fausse. Justifiez votre réponse.

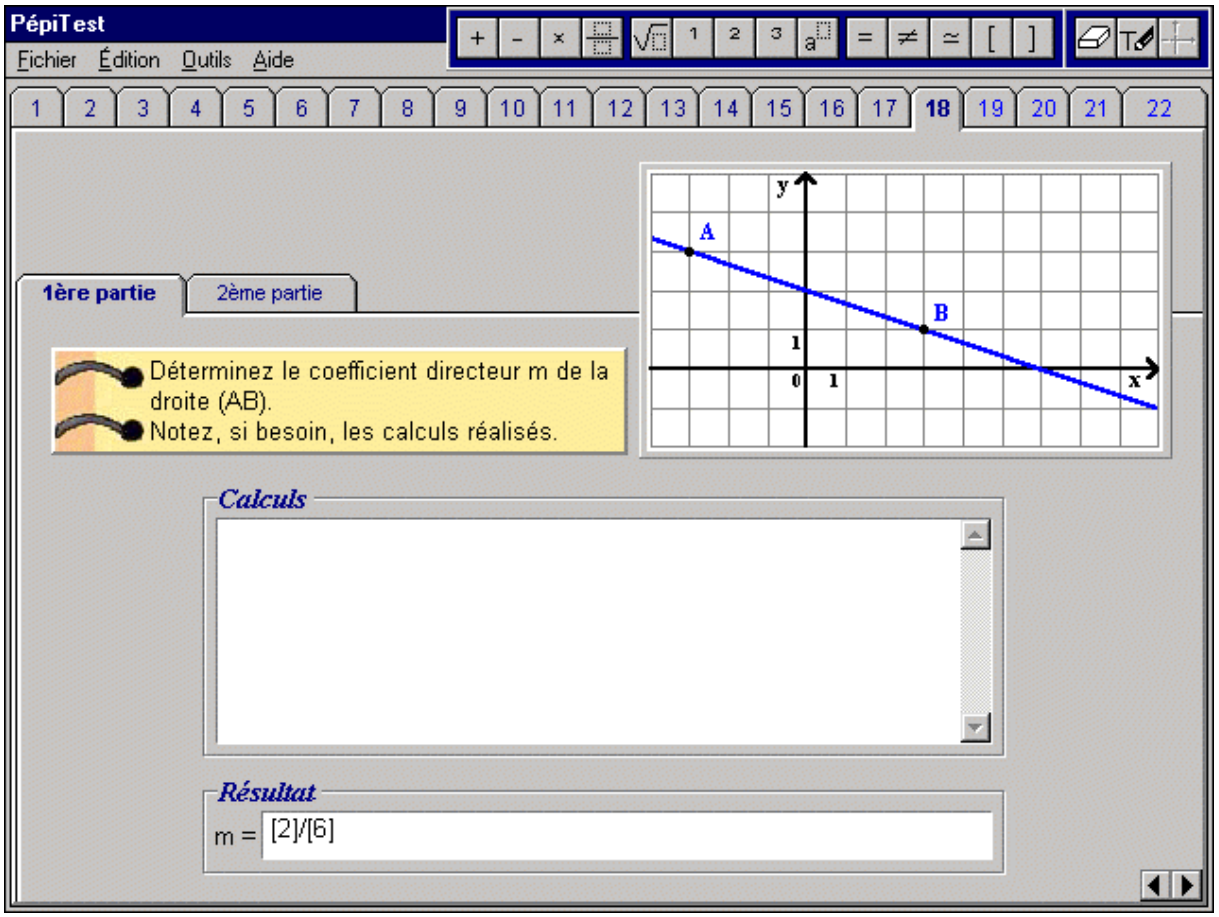
Justification

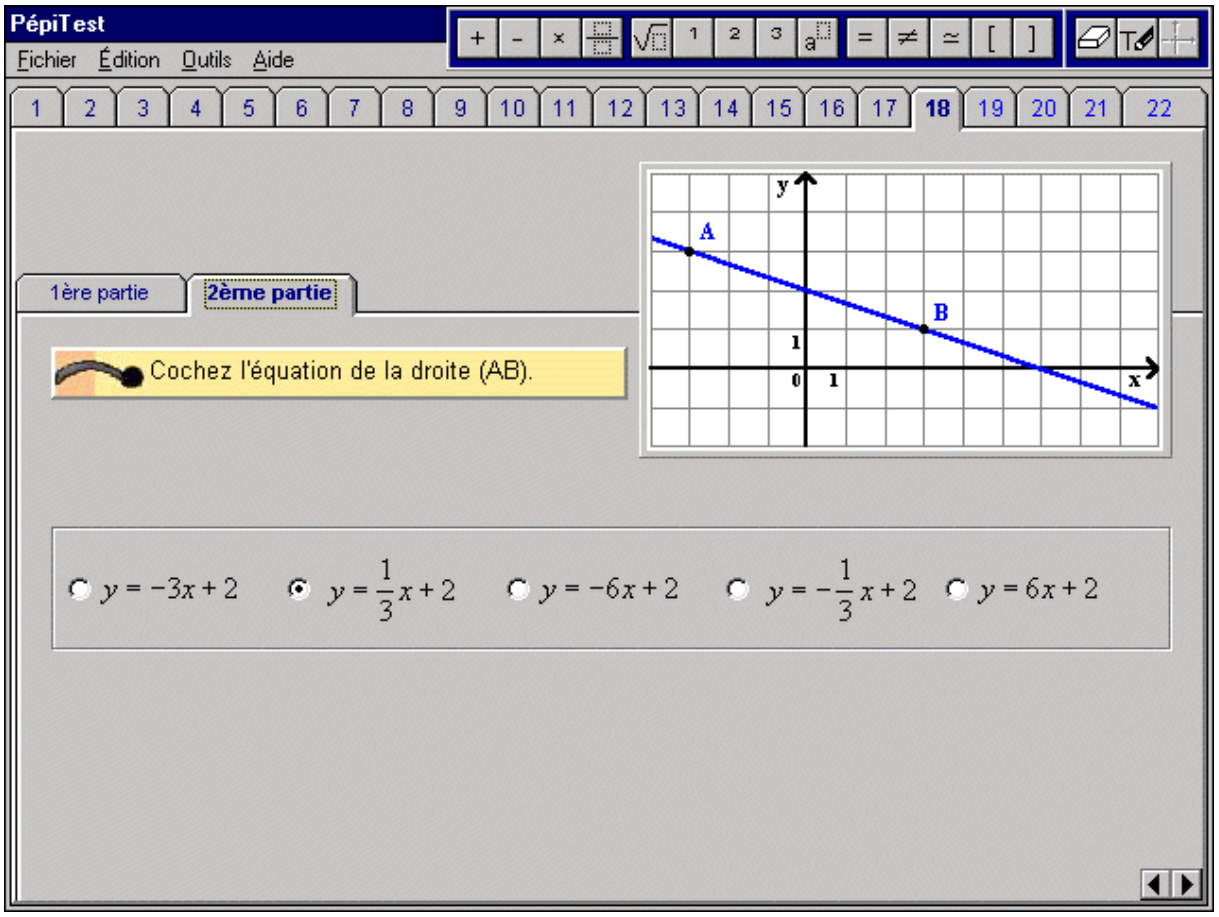
=a+8
=(a+8) × 3
=a+24-4
=a+20+a+20
=a+5+a+20+2

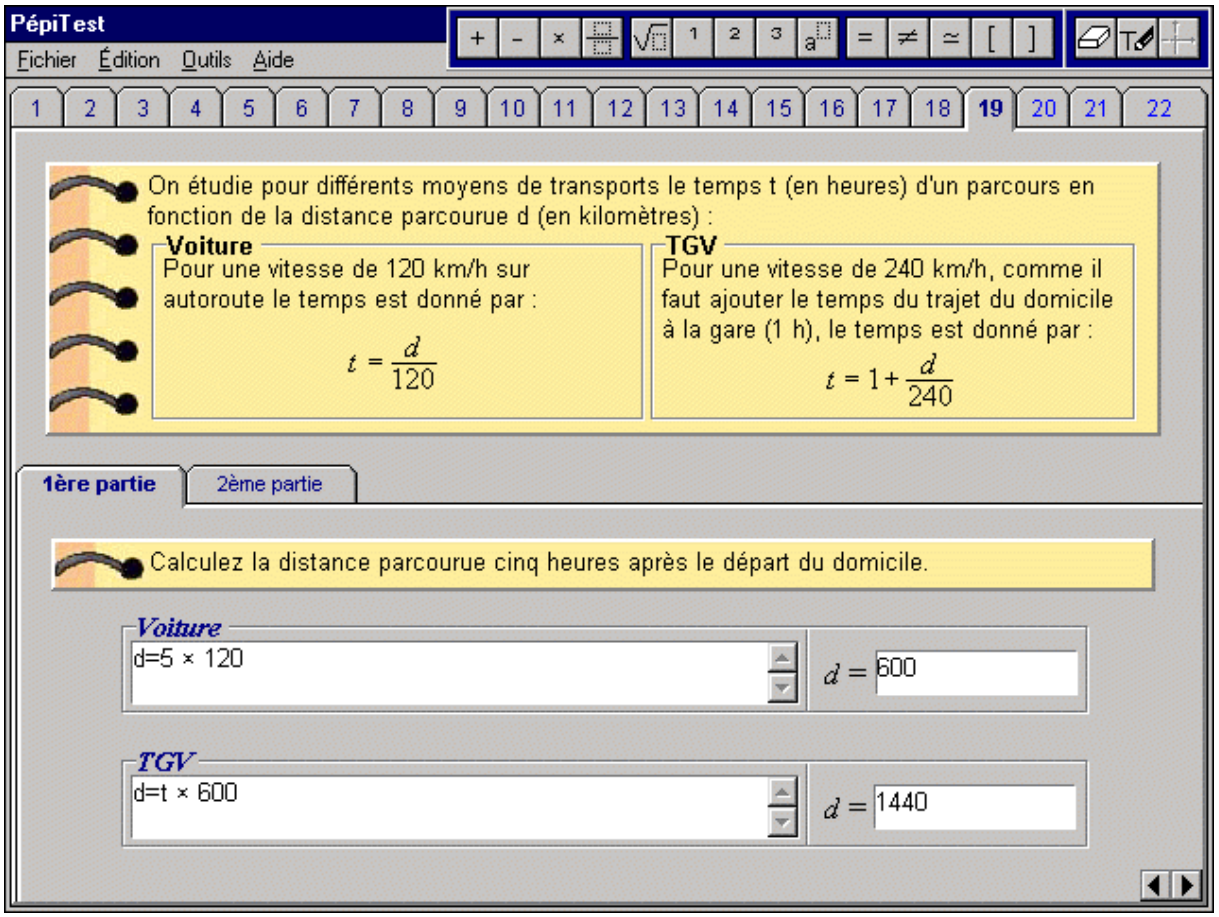
Réponse

L'affirmation est ○ vraie ◉ fausse


PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
Indiquez si les points suivants appartiennent à la droite d'équation $y = 2x - 5$
Justifiez votre réponse.
M (-2 ; -8)
oui
non
N (-3 ; 1)
oui
non
P (1 ; -3)
oui
non


PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
1ère partie
2ème partie
Déterminez le coefficient directeur m de la droite (AB).
Notez, si besoin, les calculs réalisés.
A
B
y
x
1
0
1
Calculs
Résultat
m = [2]/[6]


PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
1ère partie
2ème partie
Cochez l'équation de la droite (AB).
A
B
y
x
1
0
1
$y = -3x + 2$
$y = \frac{1}{3}x + 2$
$y = -6x + 2$
$y = -\frac{1}{3}x + 2$
$y = 6x + 2$


PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
On étudie pour différents moyens de transports le temps t (en heures) d'un parcours en fonction de la distance parcourue d (en kilomètres) :
Voiture
Pour une vitesse de 120 km/h sur autoroute le temps est donné par :
$t = \frac{d}{120}$
TGV
Pour une vitesse de 240 km/h, comme il faut ajouter le temps du trajet du domicile à la gare (1 h), le temps est donné par :
$t = 1 + \frac{d}{240}$
1ère partie
2ème partie
Calculez la distance parcourue cinq heures après le départ du domicile.
Voiture
d=5 × 120
$d =$ 600
TGV
d=t × 600
$d =$ 1440

PépiTest

Fichier Édition Outils Aide

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 **19** 20 21 22

On étudie pour différents moyens de transports le temps t (en heures) d'un parcours en fonction de la distance parcourue d (en kilomètres) :

Voiture
Pour une vitesse de 120 km/h sur autoroute le temps est donné par :

$$t = \frac{d}{120}$$

TGV
Pour une vitesse de 240 km/h, comme il faut ajouter le temps du trajet du domicile à la gare (1 h), le temps est donné par :

$$t = 1 + \frac{d}{240}$$

1ère partie | **2ème partie**

Pour chaque moyen de transport, exprimez d en fonction de t.

Voiture

d=t × 600

$d =$ d=t × 600

TGV

d=t × 1200

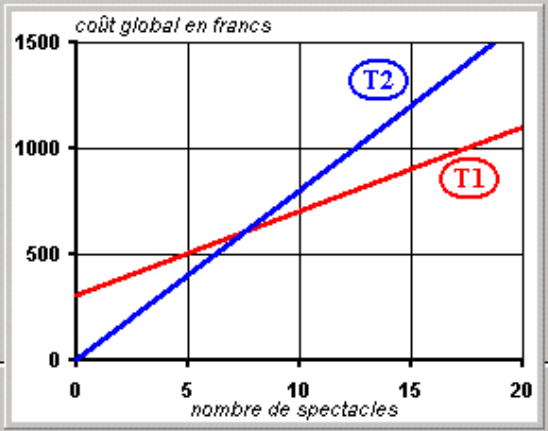
$d =$ d=t × 1200

PépiTest

Fichier Édition Outils Aide

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 **20** 21 22

Un théatre propose 20 spectacles dans l'année et propose 2 tarifs :
T1 : un abonnement de 300 F et un droit d'entrée de 40 F par spectacle.
T2 : Pas d'abonnement mais un droit d'entrée de 80 F par spectacle.
Le graphique représente, pour chaque tarif, le coût total selon le nombre de spectacles.



1ère partie | 2ème partie | 3ème partie

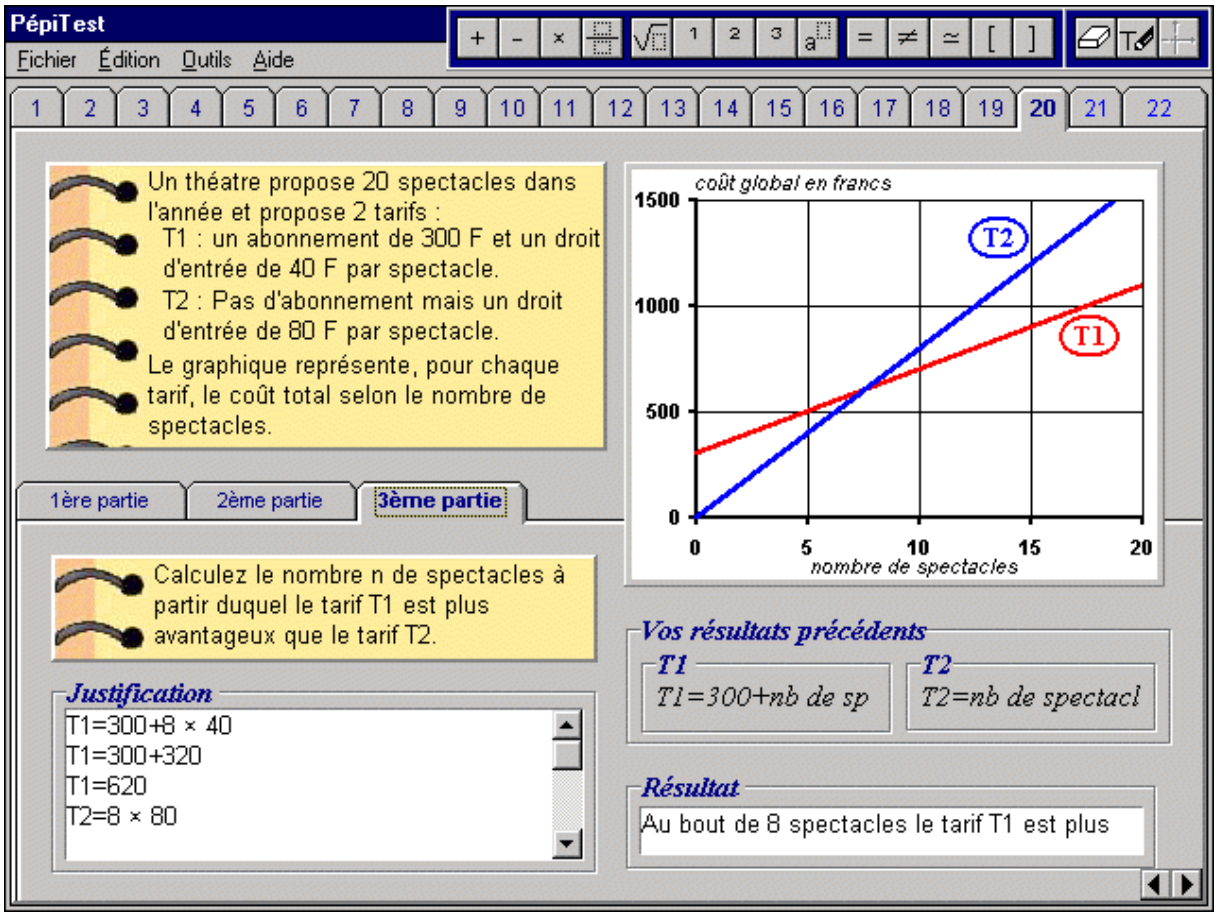
Pour les 2 droites, faites glisser le nom des tarifs vers l'étiquette correspondante du graphique.
Expliquez votre démarche.

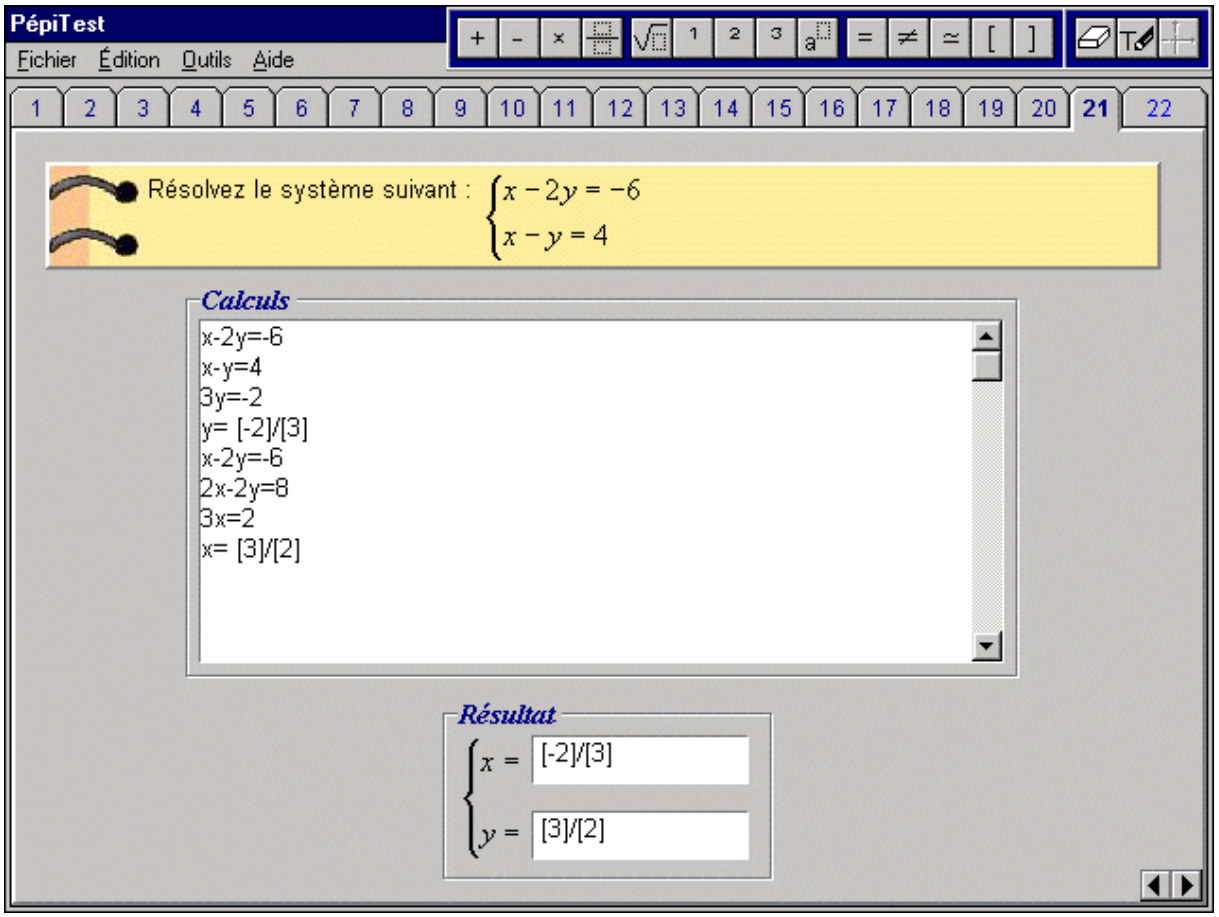
Tarifs

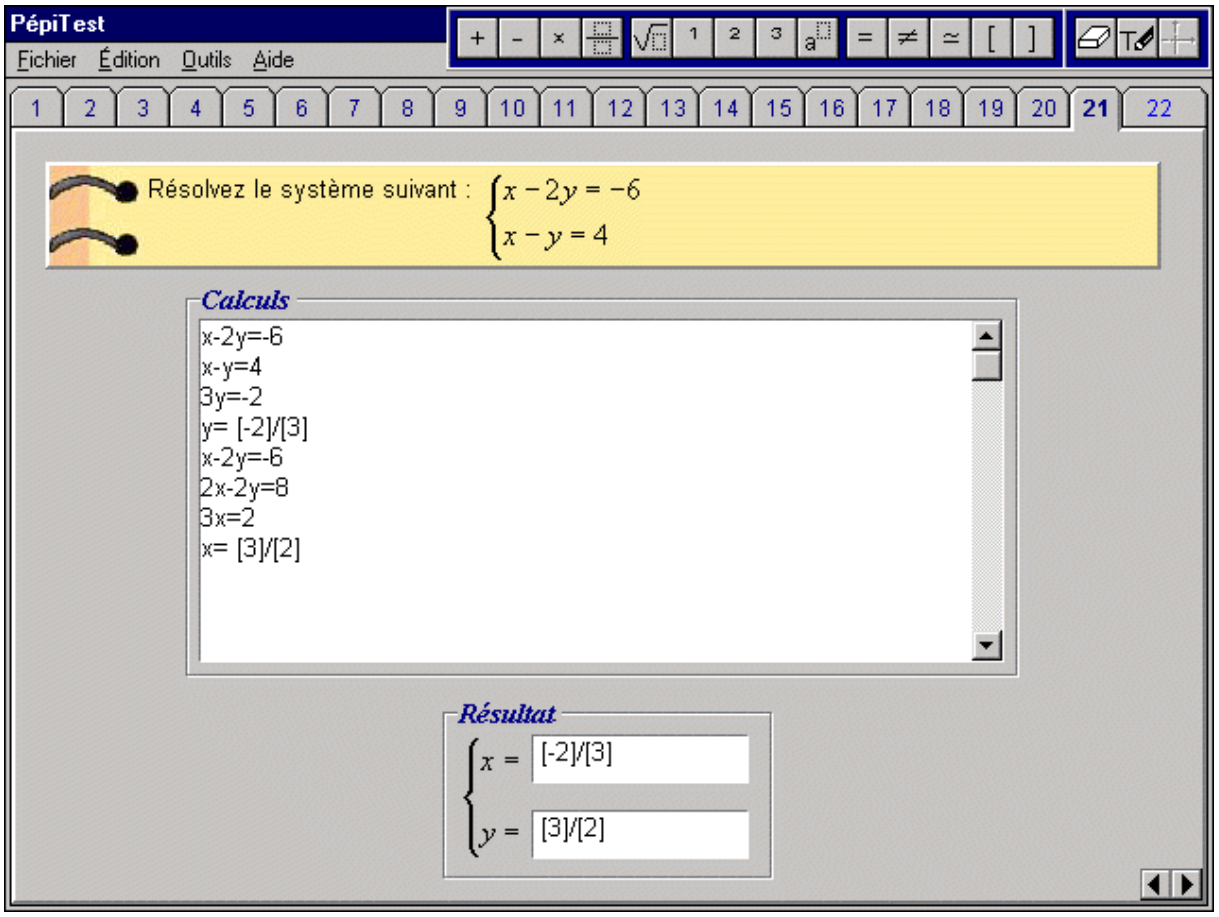
T1 T2

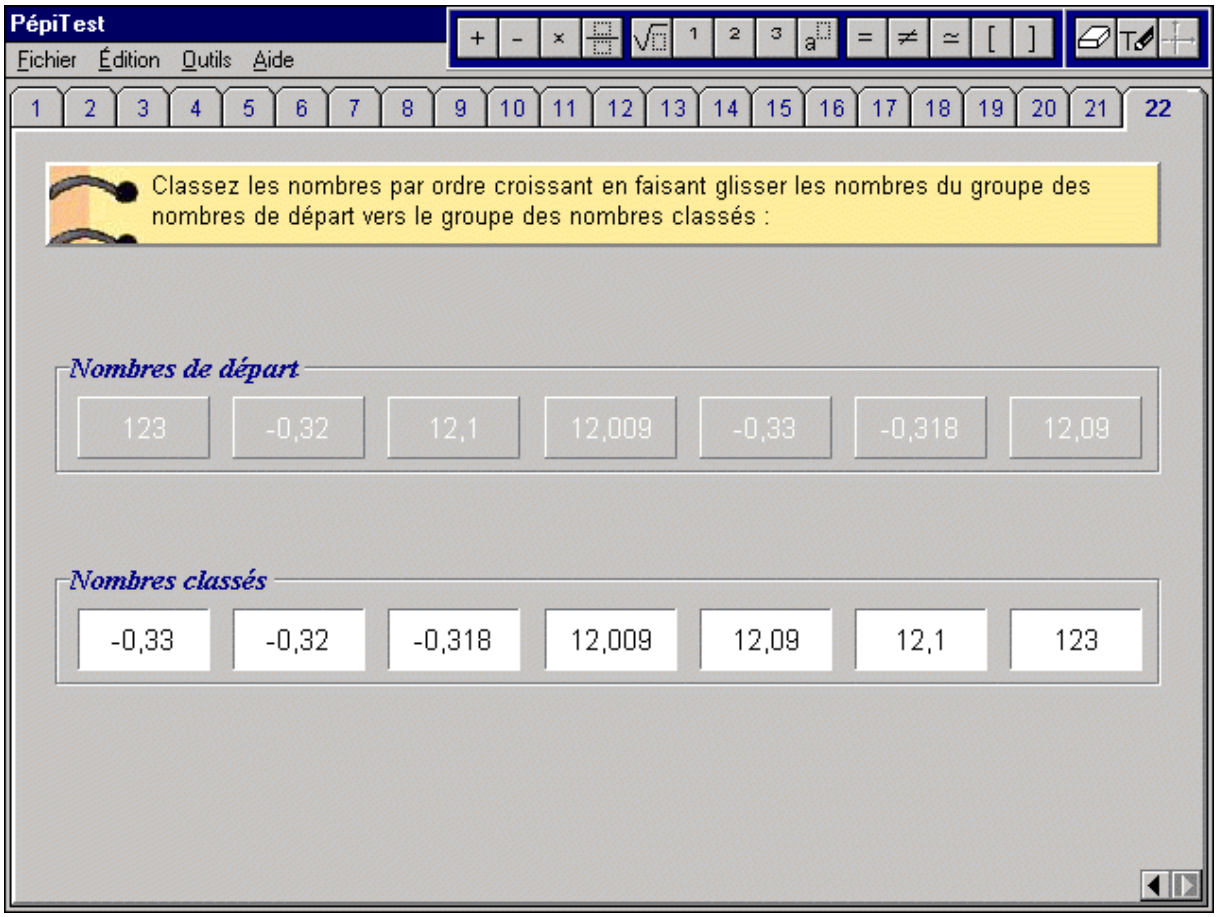
Démarche

T1 au bout de 5 spectacles
=300+5 × 40
=500
t1 est la droite rouge
T2 au bout de 5 spectacles

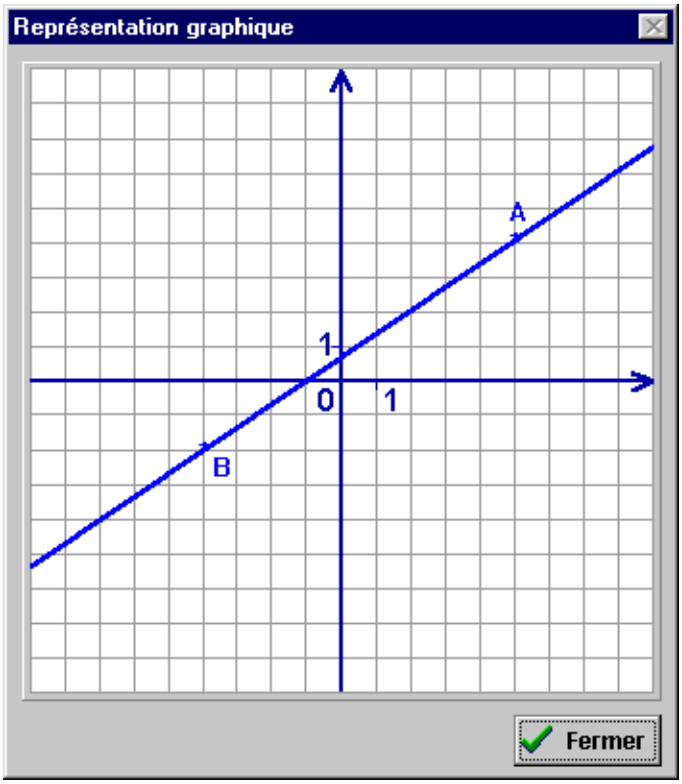

PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
Un théatre propose 20 spectacles dans l'année et propose 2 tarifs :
T1 : un abonnement de 300 F et un droit d'entrée de 40 F par spectacle.
T2 : Pas d'abonnement mais un droit d'entrée de 80 F par spectacle.
Le graphique représente, pour chaque tarif, le coût total selon le nombre de spectacles.
coût global en francs
1500
1000
500
0
T2
T1
0 5 10 15 20
nombre de spectacles
1ère partie
2ème partie
3ème partie
Calculez le nombre n de spectacles à partir duquel le tarif T1 est plus avantageux que le tarif T2.
Justification
T1=300+8 × 40
T1=300+320
T1=620
T2=8 × 80
Vos résultats précédents
T1
T1=300+nb de sp
T2
T2=nb de spectacl
Résultat
Au bout de 8 spectacles le tarif T1 est plus


PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
Résolvez le système suivant : $\begin{cases} x-2y=-6 \\ x-y=4 \end{cases}$
Calculs
x-2y=-6
x-y=4
3y=-2
y= [-2]/[3]
x-2y=-6
2x-2y=8
3x=2
x= [3]/[2]
Résultat
$x =$ [-2]/[3]
$y =$ [3]/[2]


PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
Résolvez le système suivant : $\begin{cases} x-2y=-6 \\ x-y=4 \end{cases}$
Calculs
x-2y=-6
x-y=4
3y=-2
y= [-2]/[3]
x-2y=-6
2x-2y=8
3x=2
x= [3]/[2]
Résultat
$x =$ [-2]/[3]
$y =$ [3]/[2]


PépiTest
Fichier Édition Outils Aide
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
Classez les nombres par ordre croissant en faisant glisser les nombres du groupe des nombres de départ vers le groupe des nombres classés :
Nombres de départ
123 -0,32 12,1 12,009 -0,33 -0,318 12,09
Nombres classés
-0,33 -0,32 -0,318 12,009 12,09 12,1 123

Annexe 3
LES OUTILS DE PÉPITEST

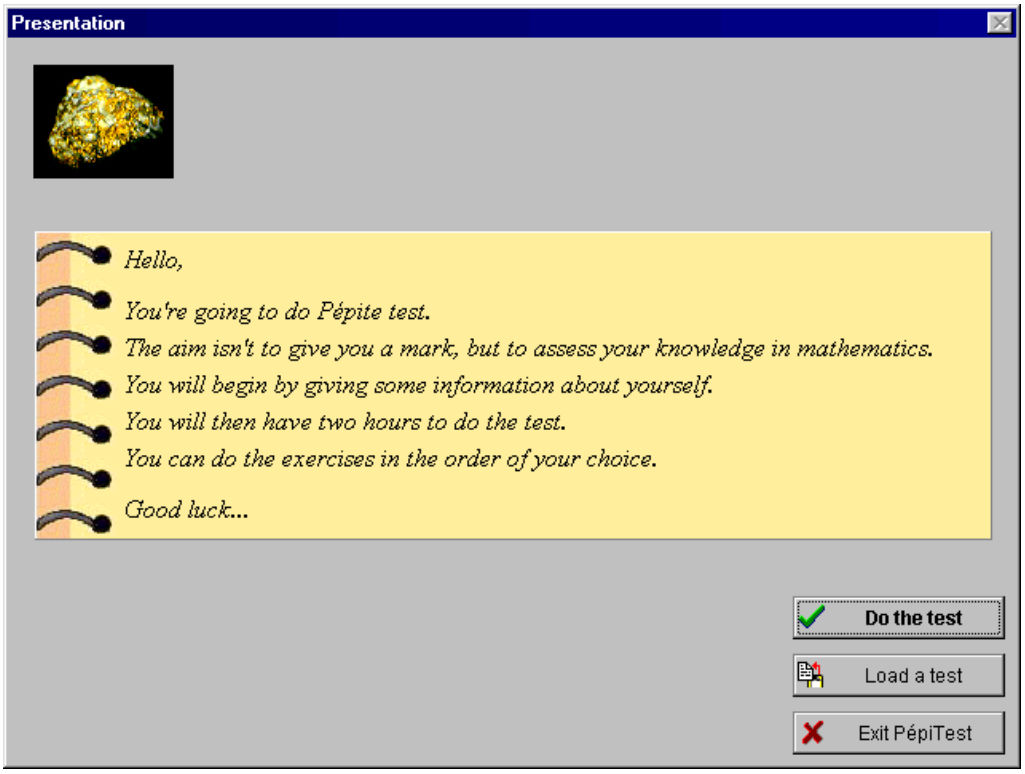


L'outil de représentation graphique de PÉPITEST avec un exemple de tracé de droite.

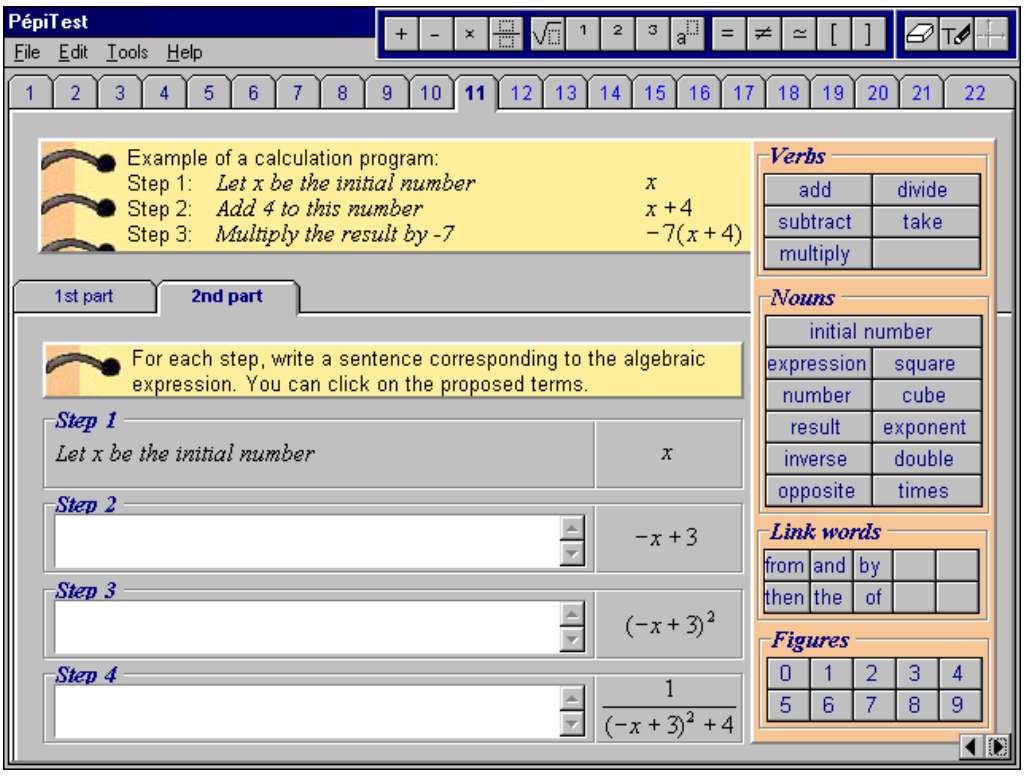


Le cahier de brouillon de PÉPITEST.

Annexe 4
PÉPITEST EN ANGLAIS



L'écran de présentation de PÉPITEST dans la version en anglais.



L'exercice de la palette de termes dans la version de PÉPITEST en anglais : les termes ne sont pas simplement traduits, mais adaptés aux formulations mathématiques anglaises.

Annexe 5
UN EXEMPLE D'ÉVOLUTION DU TEST PAPIER – CRAYON

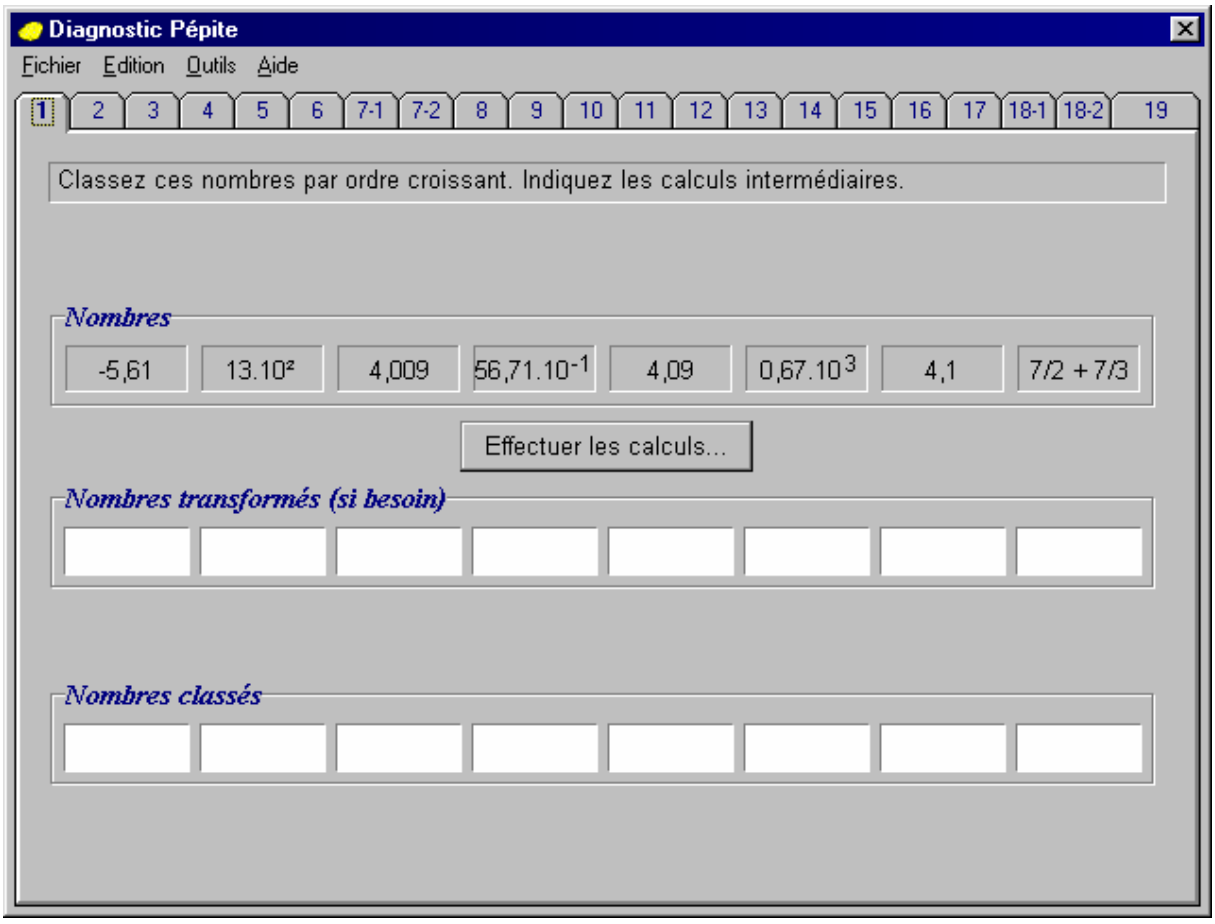
Exercice 1 :

Classer du plus petit au plus grand

$-5,67$; 13.10^{2} ; $4,009$; $56,71.10^{-1}$; $4,09$; $0,67.10^{3}$; $4,1$; $7/2+7/3$

Indiquer vos calculs intermédiaires.

L'exercice 1 du premier test papier - crayon.



La première proposition d'automatisation de l'exercice 1.

1° On considère les nombres suivants :

-0,32	13 x 10^2	4,009	$3{,}17\times10^{-1}$	4,09	$0{,}567\text{x}10^{3}$	4,1	$\frac{-5}{3}+\frac{4}{3}$	$\sqrt{2}-\sqrt{3}$

Réécris les nombres sous forme décimale (indique si la valeur donnée est approchée ou non à l'aide du symbole ≈).

Remplis le tableau ci-dessous en classant les nombres par ordre croissant :

Note ici les calculs intermédiaires (si nécessaire)

L'exercice 1 du second test papier - crayon.

Cet exemple montre comment le test papier – crayon a évolué en s'inspirant de la première version du test informatisé.

Annexe 6
LE TRANSFERT DE L'ENVIRONNEMENT ET DES TÂCHES

Le transfert de l'environnement

♦ **Les représentations graphiques**

Dans l'un des exercices, une solution graphique est envisageable. Afin de ne pas empêcher les élèves de proposer une telle solution, un outil de représentation graphique a été intégré à PÉPITEST.

Version informatisée

PÉPITEST propose un outil de représentation graphique composé d'une grille vierge. Outre le tracé libre et l'ajout de texte, cet outil permet le tracé de droites désignées par deux points.

Différences entre version papier - crayon et PÉPITEST

– L'utilisation de cet outil ne peut être utile que dans un exercice. La mise à disposition d'un tel outil peut influer sur le comportement de l'élève. En effet, le fait qu'un tel outil existe peut inciter l'élève à proposer une solution graphique à laquelle il n'aurait pas songé naturellement, que ce soit dans l'exercice concerné par cet outil ou dans un autre.

– La méthode de tracé imposée (choix de l'outil « tracé de droite », puis désignation de deux points passant par la droite à tracer), ainsi que l'échelle imposée réduisent considérablement la liberté de l'élève par rapport à l'environnement papier - crayon. Par rapport aux possibilités dans un environnement papier – crayon, l'élève ne peut en effet ni désigner la droite par un point et son coefficient directeur, ni par deux points choisis en dehors de la grille affichée.

♦ **Les annotations de schémas**

Dans un test papier – crayon, les élèves ont tendance à annoter les représentations graphiques proposées dans l'énoncé. Ces annotations leur permettent de s'approprier la figure pour mieux comprendre l'énoncé, de faire des conjectures… Cette possibilité doit pour ces raisons, figurer dans l'environnement informatisé.

Version informatisée

Deux types d'annotations sont possibles avec PÉPITEST : tracé libre et ajout de texte.

Lorsque le curseur est sur une représentation graphique, l'élève peut appuyer sur le bouton gauche de la souris et le maintenir appuyé. Le curseur devient alors  et les déplacements de la souris laissent un tracé.

L'ajout de texte se fait en deux étapes : l'élève doit saisir le texte puis désigner l'emplacement du schéma où le texte doit être placé.

Différences entre version papier - crayon et PÉPITEST

– La démarche d'ajout de texte n'est pas forcément naturelle pour les élèves : devoir taper le texte avant de désigner l'endroit où il doit être affiché, même si une boîte de dialogue

indique les manipulations à effectuer, ne correspond pas à la procédure papier - crayon. Ce choix a été fait car il semblait plus délicat encore de demander aux élèves de commencer par désigner l'endroit où le texte doit apparaître.
Deux modalités sont possibles pour la manipulation des objets graphiques : sélection de l'objet, puis de l'action ou sélection de l'action, puis de l'objet. BERNAT et MORINET-LAMBERT préconisent l'utilisation du concept action / objet, qui, selon eux, est mieux adapté aux EIAO : « en choisissant d'abord l'action, on limite l'accès aux seuls objets qui lui correspondent » [BERNAT & MORINET-LAMBERT, 1995].

♦ **La gomme**

Lors d'une évaluation dans un environnement papier - crayon, les élèves utilisent abondamment la gomme ou l'effaceur. Ces outils, outre leur rôle évident d'effacement, ont un rôle indirect très important : ils rassurent l'élève en rendant toutes ses réponses réversibles. Pour ces deux rôles, un tel outil est très important dans PÉPITEST.

Version informatisée

PÉPITEST dispose d'une gomme utilisable aussi bien sur du texte pour effacer tout le texte de la zone, que sur les schémas pour en effacer les annotations, ainsi que sur toute zone contenant un élément de réponse (listes déroulantes, boutons radio, etc.).

Différences entre version papier - crayon et PÉPITEST

– Le texte ou les annotations sont tous effacés, alors que dans un environnement papier – crayon, on peut choisir de n'effacer que certaines parties : la flexibilité de la gomme électronique est moins grande que celle de la gomme « physique ». Les touches « suppr » et « retour arrière » permettent cependant à des élèves habitués au fonctionnement du clavier de supprimer du texte plus finement.

♦ **Le copier - coller**

C'est une possibilité nouvelle pour les élèves, elle n'a pas vraiment d'équivalent dans un environnement papier - crayon.

Différences entre version papier - crayon et PÉPITEST

Bien que peu utilisée (par moins de 10% des élèves), la possibilité de recopier du texte sans effort modifie le comportement de certains élèves.
– Le copier - coller permet par exemple de recopier la dernière ligne de calcul dans la zone de résultat.
– Certains élèves utilisent également cette possibilité pour proposer une même justification à deux questions différentes.
– Enfin, et c'est le cas le plus intéressant du point de vue du transfert, certains élèves utilisent le copier - coller pour recopier des expressions afin de travailler par équivalence, alors qu'à la main ou sans le copier - coller, ils n'auraient pas pris la peine ou le temps de recopier les expressions. Ce phénomène, mis en évidence grâce aux expérimentations, mérite d'être étudié de façon plus approfondie.

$(-2x+6)(-2x+2) = 2x^2-4x-12x+12$ $(-2x+6)(-2x+2) = 2x^2-16x+12$ au lieu de $(-2x+6)(-2x+2) = 2x^2-4x-12x+12$ ou $(-2x+6)(-2x+2) = 2x^2-4x-12x+12$ $= 2x^2-16x+12$ " $= 2x^2-16x+12$

Un exemple d'utilisation du copier - coller.

Dans ce cas, pour un même élève, le diagnostic est modifié en passant du test papier - crayon au test informatisé. Dans PÉPITEST l'élève met en œuvre une connaissance (travailler sur les expressions algébriques par équivalence) qui, bien que présente, ne serait pas mise en œuvre dans le test papier - crayon. Le diagnostic sera donc pour ce point plus proche de la réalité avec un test fait avec PÉPITEST. PÉPITEST peut ainsi servir de révélateur des conceptions réelles des élèves.

♦ **Le cahier de brouillon**

Le cahier de brouillon permet à l'élève de faire des calculs pour les exercices où aucun espace n'a été prévu à cet effet (l'élève a également la possibilité d'utiliser un brouillon papier - crayon).

Version informatisée

Dans PÉPITEST, le cahier de brouillon est une fenêtre fournissant une zone de saisie libre. Le texte tapé n'est pas pris en compte dans l'analyse (c'est également le cas avec un brouillon papier - crayon).

Différences entre version papier - crayon et PÉPITEST

– Elles sont liées à la difficulté de taper du texte et des expressions algébriques (Cf. § calculs intermédiaires et justifications).

Le transfert des tâches

Le test comportant des exercices très différents les uns des autres, nous présentons le transfert selon les catégories « informatiques » des exercices, c'est-à-dire en fonction des objets visuels utilisés pour présenter ces exercices. La catégorisation « didactique » des exercices (exercices techniques, de mathématisation, de reconnaissance) n'est en effet pas pertinente ici.

♦ **Questions à réponses binaires (vrai/faux ou oui/non)**

Version informatisée

Dans la version informatisée, les questions à réponses binaires sont représentées par des boutons radio.

Différences entre version papier - crayon et PÉPITEST

– Dans les premières versions de PÉPITEST, le contenu des boutons radio n'était pas effaçable, ce qui correspondait au fonctionnement normal des boutons radio. Une fois que l'élève avait choisi une réponse, il pouvait en changer, mais il ne pouvait pas effacer toutes ses réponses comme sur papier - crayon. Certains élèves sont gênés de laisser une réponse dont ils ne sont pas sûrs et qu'ils préféreraient supprimer. Dans ce cas, le fait qu'un élève ait sélectionné une

réponse ne signifie pas forcément que c'est celle qu'il considère comme juste, cela peut signifier qu'il ne sait pas (et qu'il a essayé d'effacer sa réponse sans succès). PÉPITEST a donc été modifié pour que le contenu des boutons radio soit effaçable.

- **Questions proposant plusieurs réponses (QCM)**

Version informatisée

Dans la version informatisée, les questions proposant plusieurs réponses sont représentées par des boutons radio lorsqu'une seule réponse doit être donnée, et des cases à cocher lorsque plusieurs propositions sont correctes.

Différences entre version papier - crayon et PÉPITEST

– Le choix case à cocher / boutons radio n'est pas anodin, même s'il ne fait que reprendre la consigne de la question (« une seule réponse possible »). En effet, les boutons radio ne permettent pas de proposer plusieurs réponses alors que dans le test papier - crayon, quelle que soit la consigne, l'élève peut proposer plusieurs réponses.

– L'élève ne peut pas proposer d'autre solution que celle présentée à l'écran, alors que pour un test papier - crayon, il arrive qu'un élève ajoute une case pour indiquer sa solution, différente de celles proposées dans le test. Il ne faut toutefois pas oublier que les réponses ainsi proposées ne sont prises en compte, ni dans test papier - crayon, ni dans PÉPITEST.

- **Questions proposant des réponses préformées à ordonner**

Version informatisée

De telles questions sont transférées en proposant des déplacements (utilisation du glisser - lâcher).

Différences entre version papier - crayon et PÉPITEST

– La manipulation nécessite la maîtrise du glisser - lâcher.

– Pour une telle question, dans un environnement papier – crayon, l'élève s'aide en cochant, soulignant ou barrant les éléments déjà pris en compte. Cette possibilité doit être reprise d'une manière ou d'une autre dans un environnement informatisé. Dans PÉPITEST, les éléments utilisés sont grisés et ne sont plus utilisables, mais l'élève peut toujours revenir en arrière (« effacer » le souligné) en « gommant » l'élément ordonné ce qui « réactive » l'élément source.

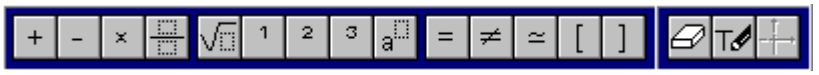
– Dans PÉPITEST, contrairement au cas d'un environnement papier - crayon, l'élève ne peut pas insérer directement un élément oublié entre deux éléments, avant le premier élément ou après le dernier. Il doit alors décaler les éléments déjà placés un par un : la manipulation est alors plus longue avec PÉPITEST que pour le test papier - crayon.

- **Calculs intermédiaires**

Version informatisée

Pour les calculs intermédiaires, PÉPITEST propose des zones de texte permettant l'écriture de texte et d'expressions algébriques, sans aucun contrôle sur le texte tapé. Les symboles non

présents sur le clavier (multiplié, fraction, racine carrée, exposant, différent, environ et accolades) sont accessibles à partir de la barre d'outils (cf. figure ci-dessous).



La barre d'outils de PÉPITEST.

♦ **Justifications**

Version informatisée

Pour la saisie des justifications, PÉPITEST met à la disposition des élèves des zones de texte permettant l'écriture de texte et d'expressions algébriques, sans aucun contrôle sur le texte entré.

Différences entre version papier - crayon et PÉPITEST

– Concernant l'écriture de texte en langage naturel, l'utilisation du clavier, mal maîtrisée (place des lettres sur le clavier, retour aller à la ligne, majuscules, etc.), peut limiter ou du moins gêner le travail des élèves.

– La taille et la forme des zones de texte peuvent contraindre la production de l'élève s'il maîtrise mal le retour à la ligne et la manipulation de l'ascenseur. La production d'une écriture pas à pas enchaînés par un élève qui ne le fait pas habituellement peut dans certains cas s'expliquer par la forme d'une zone de texte (très large mais d'une hauteur faible). Cependant, le test papier – crayon lui aussi contraint la production. La taille (fixe en papier – crayon) et la forme des zones peut être à l'origine de comportements de même type que ceux présentés ci-dessus.

Quelques transferts particuliers

♦ **Les reports de solutions**

Dans certains exercices comportant plusieurs parties, les réponses données par l'élève dans une partie sont nécessaires dans une autre partie.

Version informatisée

PÉPITEST met dans ce cas en œuvre une zone de rappel des résultats précédents nécessaires à la résolution de la question.

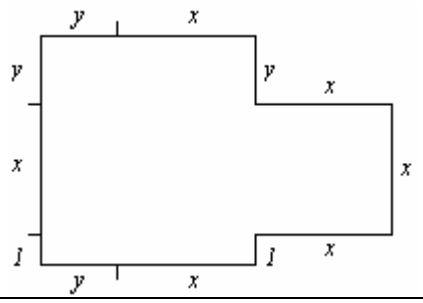
Différences entre version papier - crayon et PÉPITEST

– Ces rappels ont été mis en place pour éviter à l'élève de passer d'une page à l'autre un classeur à onglets et pour éviter les erreurs de recopie.

– La mise à disposition de ces valeurs est une indication donnée à l'élève (« Si cette valeur est là, elle doit servir à répondre à cette question »), sans toutefois lui donner la réponse à la question. L'élève peut également penser que sa réponse est validée par le logiciel et donc correcte puisqu'elle est reportée.

♦ **Des zones à hachurer**

Hachure une partie de la figure ayant pour aire l'expression : $x\,(x + y + 1) + x^2$

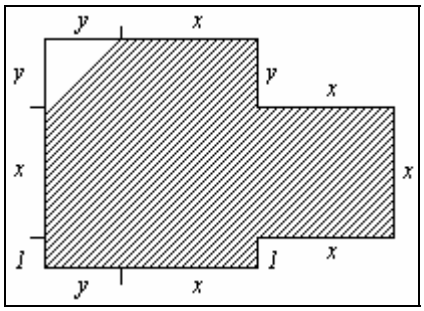


Un exercice de hachurage de figure.

L'exercice présenté dans la figure ci-dessus, consiste à hachurer des parties (composées uniquement de rectangles et de carrés) d'une figure.

Version informatisée

Cet exercice est transféré en proposant des zones cliquables blanches (non sélectionnées) ou colorées (sélectionnées) qui se comportent comme des cases à cocher à deux positions. Lorsque le pinceau est sur une zone, il est en noir , ce qui indique que cliquer va colorer la zone, lorsqu'il est sur une zone déjà colorée, il est en blanc , ce qui indique que cliquer va remettre la zone en blanc.



Un exemple de production obtenue dans la version papier - crayon du test pour l'exercice de hachurage.

Différences entre version papier - crayon et PÉPITEST

– L'élève ne peut sélectionner que des zones rectangulaires. La version informatisée mise en place empêche donc les propositions du type de celle présentée dans la figure ci-dessus (toutefois très rarement rencontrées). Ceci est une limite de PÉPITEST par rapport au test papier - crayon. Dans PÉPITEST, l'élève ne pouvant pas proposer sa solution proposerait soit une réponse juste, il y aurait alors modification du profil, soit une réponse incorrecte, codée de la même façon que la solution non attendue du test papier - crayon. On peut donc considérer que les répercutions sur le profil sont assez faibles.

♦ **Des modifications de schémas**

Dans deux exercices les schémas ont été enrichis :

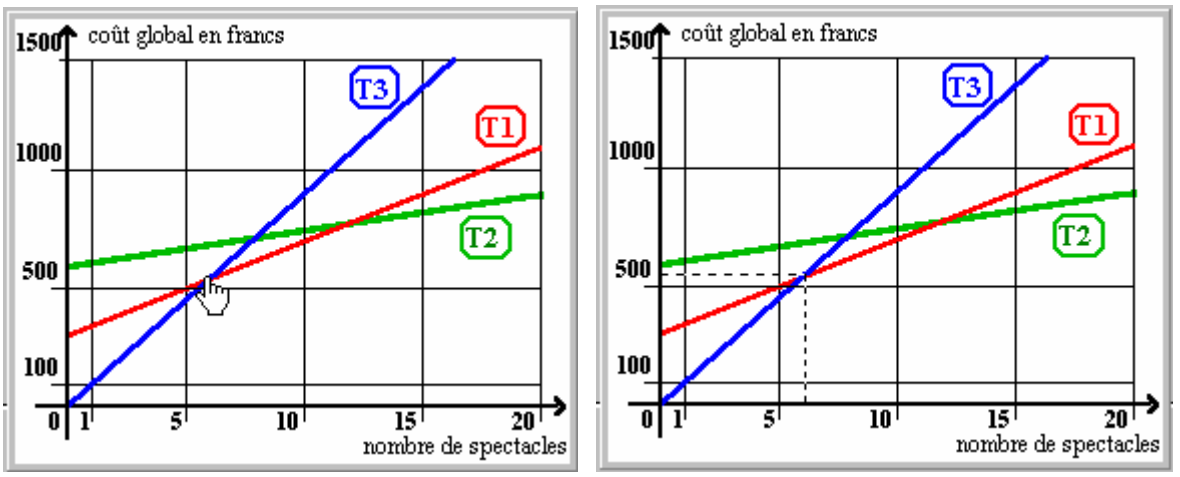
– L'énoncé d'un des exercices indique « Un point M se déplace sur [BM] ».

– Un autre peut être résolu graphiquement en étudiant les coordonnées de l'intersection de deux droites.

Version informatisée

– Pour la première question, le point M est déplaçable sur le schéma, afin de permettre à l'élève de faire l'expérience.

– Pour la seconde question, le schéma est cliquable : si l'élève clique sur les intersections des droites, des pointillés indiquent les coordonnées du point (Cf. figure ci-dessous).



Un schéma cliquable indiquant les coordonnées d'un point.

Différences entre version papier - crayon et PÉPITEST

– En incitant l'élève à faire l'expérience (par le changement de curseur et une bulle d'aide), PÉPITEST peut lui permettre de mieux comprendre l'énoncé et peut-être de donner une réponse différente.

Annexe 7
UN EXEMPLE DE FICHIER DE PRODUCTIONS D'ÉLÈVE

Les numéros d'exercices apparaissent entre crochets. **[E02P1]** signifie exercice 2 partie 1.
Les réponses des élèves sont en partie codées : pour les cases à cocher, 0101 signifie que la 2ème et la 4ème cases ont été cochées.

```
09:31:45
[Identification]
C.
Anne laure
18/02/84
3 c
Vieux Colombier
Le Mans
Date : 21/06/99

[E01]
0101
0101
0100
0100

[E02P1]
10
a³a²=a³+²=a^[5]
[E02P2]
01

[E02P3]
01
2a², c'est le a²
(2a²), c'est la parenthèse entière au carré

[E03]
1110011001
A=a(3+b)
A=(a+b) × (a+3)

[E04]
01
a^nxa^p=a^(n+p)
10
pour faire la somme, on additionne les coefficients puis les exposants
01
a²=axa
01
(a+b)²=a²+2ab+b²
01
n+ma<>(n+m)a

[E05]
1011
1101
```

[E06P1]
10
= - 2(x²+1 - 2x)+8
= - 2x² - 2+4x+8
= - 2x²+4x+6

[E06P2]
01
= - 2(x²+1 - 2x)+8
= - 2x² - 2+4x+8
= - 2x²+4x+6
[E06P3]
01
= - 2x+6 - 2x²+6
= - 2x² - 2x+12

[E07]
00001

[E08P1]
001
 - 6

2 × (- 3)(- 3+3) - (- 3+3)
 - 6(- 3+3) - (- 3+3)
 - 6
[E08P2]
010
7
2([1]/[2] - [1]/[2])([1]/[2]+3)
2([1]/[2]+ [6]/[2])
2 [7]/[2]
7

[E09P11]
00100

[E09P12]
00001

[E09P21]
0001

[E09P22]
01000

[E10]
p=e × 6

[E11P1]
(3 × x)²
9x²-5
 [1]/[9x²-5]
[E11P21]
prendre l'inverse du nombre et lui ajouter 3
[E11P22]
élever l' expression au carré
[E11P23]
ajouter 4 à l' expression et prendre l'inverse

[E12]
[am]-x
[BM]=[AM]-x

[E13]
0000111

[E14]
0001

[E15P1]
5x
= [ABx]/[2]
= [10x]/[2]
=5x
[E15P2]
2+2x
A=(CD+x) × BF
A=(1+x) × 2
A=2+2x
[E15P3]

[E16]
01
=a+8
=(a+8) × 3
=a+24-4
=a+20+a+20
=a+5+a+20+2

[E17P1]
10

[E17P2]
01

[E17P3]
10

[E18P1]
[2]/[6]

[E18P2]
01000

[E19P11]
600
d=5 × 120
[E19P12]
1440
d=t × 600
[E19P21]
d=t × 600
d=t × 600
[E19P22]
d=t × 1200
d=t × 1200

[E20P1]
T2
T1
T1 au bout de 5 spectacles
=300+5 × 40
=500
t1 est la droite rouge

T2 au bout de 5 spectacles
=80 × 5
=400
[E20P2]
T1=300+nb de spectacles × 40
T2=nb de spectacles × 80
[E20P3]
Au bout de 8 spectacles le tarif T1 est plus avantageux.
T1=300+8 × 40
T1=300+320
T1=620

T2=8 × 80
T2=640

Au bout de 8 spectacles le tarif T1 est plus
avantageux.

[E21]
 [-2]/[3]
 [3]/[2]
x-2y=-6
x-y=4
3y=-2
y= [-2]/[3]

x-2y=-6
2x-2y=8
3x=2
x= [3]/[2]

[E22]
-0,33
-0,32
-0,318
12,009
12,09
12,1
123
5264731

[FIN]

Annexe 8
UN EXEMPLE DE FICHIER DE TRACE DE PÉPITEST

```
08:02:42 C. Anne laure
08:02:42 Début
08:05:33
08:05:33 Exercice 2 (Suiv)
08:09:04
08:09:04 Exercice 3 (Suiv)
08:10:56 Partie 2 (Suiv)
08:11:51
08:11:51 Exercice 4 (Suiv)
08:14:08
08:14:08 Exercice 5 (Suiv)
08:15:37
08:15:37 Exercice 6 (Suiv)
08:16:12 Cahier de brouillon
08:26:42
08:26:42 Exercice 7 (Suiv)
08:26:42 Enregistrement
08:27:12 Tracé libre
08:27:15
08:27:15 Exercice 8 (Suiv)
08:35:40
08:35:40 Exercice 9 (Suiv)
08:36:22 Effacement
08:38:14 Cahier de brouillon
08:39:45 Partie 2 (Suiv)
08:40:30 Calculatrice
08:42:29
08:42:29 Exercice 10 (Suiv)
08:42:29 Enregistrement
08:43:22
08:43:22 Exercice 11 (Suiv)
08:47:34 Partie 2 (Suiv)
08:47:52 Partie 1 (Suiv)
08:47:53 Partie 2 (Suiv)
08:49:26 Partie 1 (Suiv)
08:49:28 Partie 2 (Suiv)
08:49:46 Partie 1 (Suiv)
08:49:54 Partie 2 (Suiv)
08:50:52 Partie 1 (Suiv)
08:51:36 Partie 2 (Suiv)
08:52:46 Partie 1 (Suiv)
08:52:47 Partie 2 (Suiv)
08:53:15
08:53:15 Exercice 12 (Suiv)
08:54:47
08:54:47 Exercice 13 (Suiv)
08:55:35 Effacement
08:56:27
08:56:27 Exercice 14 (Suiv)
08:57:30
08:57:30 Exercice 15 (Suiv)
08:57:30 Enregistrement
08:59:40 Partie 2 (Suiv)
08:59:52 Partie 1 (Suiv)
09:01:14 Partie 2 (Suiv)
```

```
09:05:31 Partie 1 (Suiv)
09:05:37 Partie 3 (Suiv)
09:06:15
09:06:15 Exercice 16 (Suiv)
09:09:30
09:09:30 Exercice 17 (Suiv)
09:09:51
09:09:51 Exercice 18 (Suiv)
09:10:41 Partie 2 (Suiv)
09:11:01
09:11:01 Exercice 19 (Suiv)
09:12:01 Calculatrice
09:12:47 Calculatrice
09:13:23 Partie 2 (Suiv)
09:14:45 Partie 1 (Suiv)
09:15:32 Calculatrice
09:16:18 Calculatrice
09:17:07 Partie 2 (Suiv)
09:17:11
09:17:11 Exercice 20 (Suiv)
09:17:11 Enregistrement
09:18:35 Calculatrice
09:20:10 Calculatrice
09:20:23 Partie 2 (Suiv)
09:21:40 Partie 3 (Suiv)
09:22:24 Calculatrice
09:22:45 Calculatrice
09:23:23 Calculatrice
09:24:10 Calculatrice
09:25:45
09:25:45 Exercice 21 (Suiv)
09:29:40
09:29:40 Exercice 22 (Suiv)
09:29:42
09:29:42 Exercice 21
09:30:08
09:30:08 Exercice 22 (Suiv)
09:31:40 Enregistrement
09:31:45 Enregistrement
09:31:46 Fin
```

Annexe 9
UN EXEMPLE DE TRACE ANALYSÉE

```
**************************************************************************
Fichier de trace TA_A15.TXT
-> Jean-Luc T.


----------------------------------------
Résumé de l'utilisation des items de menus
----------------------------------------
  3 utilisations de Effacement
 10 utilisations de Tracé libre

----------------------------------------
Résumé de la durée passée par exercice
----------------------------------------
Exercice  1 : 00:05:01 = 00:04:56 + 00:00:05
Exercice  2 : 00:01:14 = 00:01:14
Exercice  3 : 00:15:23 = 00:00:11 + 00:15:12
Exercice  4 : 00:02:03 = 00:02:03
Exercice  5 : 00:01:57 = 00:01:57
Exercice  6 : 00:01:41 = 00:01:41
Exercice  7 : 00:01:06 = 00:01:06
Exercice  8 : 00:12:42 = 00:12:42
Exercice  9 : 00:14:30 = 00:14:30
Exercice 10 : 00:09:02 = 00:09:02
Exercice 11 : 00:08:09 = 00:08:05 + 00:00:04
Exercice 12 : 00:02:38 = 00:02:38
Exercice 13 : 00:10:49 = 00:00:00 + 00:03:29 + 00:07:13 + 00:00:07
Exercice 14 : 00:03:43 = 00:00:15 + 00:03:28
Exercice 15 : 00:11:38 = 00:11:38
Exercice 16 : 00:01:28 = 00:01:28
Exercice 17 : 00:05:44 = 00:05:44
Exercice 18 : 00:02:57 = 00:02:57
Exercice 19 : 00:01:59 = 00:01:59
Exercice 20 : 00:00:11 = 00:00:11
Exercice 21 : -
Exercice 22 : -
Ordre de traitement des exercices:
1/2/3/1/3/4/5/6/7/8/9/10/11/12/13/13/11/13/14/13/14/15/16/17/18/19/20/19
```

Annexe 10
LA FICHE D'OBSERVATION POUR LES EXPÉRIMENTATIONS

Nom de l'observateur ..... Numéro du poste.....
Nom de l'élève .....

Utilisation des outils habituels :
Nombre d'utilisations du brouillon papier .....
Nombre d'utilisations de la calculatrice.....

Utilisation des outils de PépiTest :
.....
.....
.....
.....

Questions posées par l'élève :
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Difficultés de prise en main du logiciel observées :
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Autres difficultés observées :
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Annexe 11
LE QUESTIONNAIRE REMPLI PAR LES ÉLÈVES

QUESTIONNAIRE SUR L'UTILISATION DU LOGICIEL PÉPITE

Nom ..... Prénom .....

Vous et l'informatique...

1- Avez-vous déjà utilisé un ordinateur ? ❍ oui ❍ non

2- Sur une échelle de 0 à 10, évaluez votre connaissance de l'informatique :
❍ 0 (nulle) ❍ 1 ❍ 2 ❍ 3 ❍ 4 ❍ 5 ❍ 6 ❍ 7 ❍ 8 ❍ 9 ❍ 10 (parfaite)

3 - Si oui, pour lesquelles de ces fonctions avez-vous déjà utilisé un ordinateur ?

bureautique (traitement de texte, tableur)	❍ oui	❍ non
logiciels éducatifs	❍ oui	❍ non
jeux	❍ oui	❍ non

autres, précisez .....

Vous et PÉPITE...

4- Globalement, pensez-vous qu'utiliser logiciel PÉPITE est

❍ très facile ❍ assez facile ❍ assez difficile ❍ très difficile
❍ très agréable ❍ plutôt agréable ❍ plutôt ennuyeux ❍ très ennuyeux

5- Selon vous, apprendre à se servir de ce logiciel est

❍ très facile ❍ assez facile ❍ assez difficile ❍ très difficile

6- Si vous avez rencontré des difficultés particulières dans l'utilisation de ce logiciel, dites lesquelles :

.....
.....
.....

7- Selon vous, la présentation de PÉPITE est

❍ très claire ❍ assez claire ❍ peu claire ❍ vraiment pas claire

8- Avez-vous utilisé

votre brouillon (papier)	❍ oui	❍ non
votre calculatrice	❍ oui	❍ non
le copier - coller	❍ oui	❍ non

9- Pensez-vous que les options suivantes sont utiles ?

l'aide	❍ plutôt utile	❍ plutôt inutile
le cahier de brouillon de PÉPITE	❍ plutôt utile	❍ plutôt inutile
la représentation graphique	❍ plutôt utile	❍ plutôt inutile
l'annotation des graphiques	❍ plutôt utile	❍ plutôt inutile
les bulles d'aide	❍ plutôt utile	❍ plutôt inutile

10- Avez-vous eu l'impression d'être perdu(e) ?

❍ au début ❍ parfois ❍ souvent ❍ jamais

Si oui, dites dans quelle situation :

.....
.....
.....

11- Avez-vous eu l'impression que le logiciel vous donnait toutes les informations nécessaires ? ❍ oui ❍ non

Si non, précisez l'exercice et les informations manquantes :

.....
.....
.....

12- Avez-vous eu l'impression de ne pas pouvoir proposer des solutions auxquelles vous pensiez ? ❍ oui ❍ non

Si oui, précisez le(s) exercice(s) concerné(s) et la solution :

.....
.....
.....

13 - Avez-vous remarqué que certains exercices proposaient des rappels de vos résultats aux questions précédentes ? ❍ oui ❍ non

Si oui, comment avez-vous trouvé cela ? ❍ plutôt utile ❍ plutôt inutile

14- Selon vous, quels sont les trois principaux points forts du logiciel PÉPITE ?

.....
.....
.....

15- Selon vous, quels sont les trois principaux points faibles du logiciel PÉPITE ?

.....
.....
.....

16- Vos suggestions et commentaires sur ce logiciel :

.....
.....
.....
.....
.....

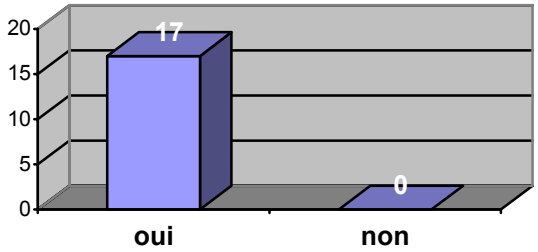
Merci d'avoir participé à ce test et à ce questionnaire.

Annexe 12
RÉSULTATS DU QUESTIONNAIRE POUR LES EXPÉRIMENTATIONS DE JUIN 1999

Vous et l'informatique...

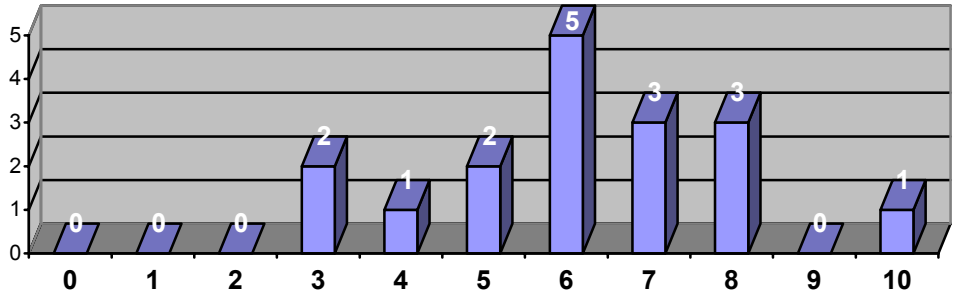
1-

Avez-vous déjà utilisé un ordinateur ?



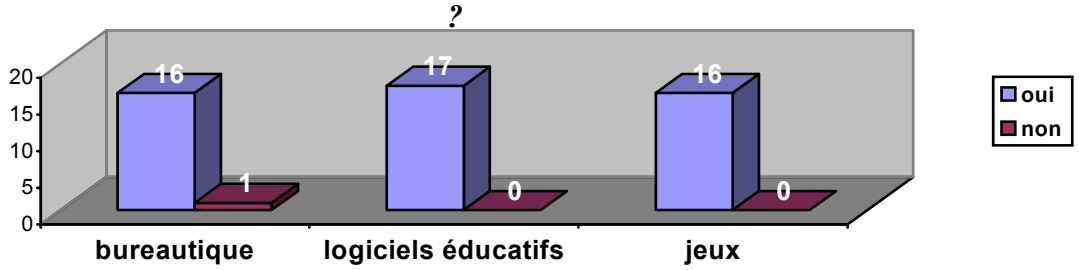
2-

Sur une échelle de 0 à 10, évaluez votre connaissance de l'informatique



3 -

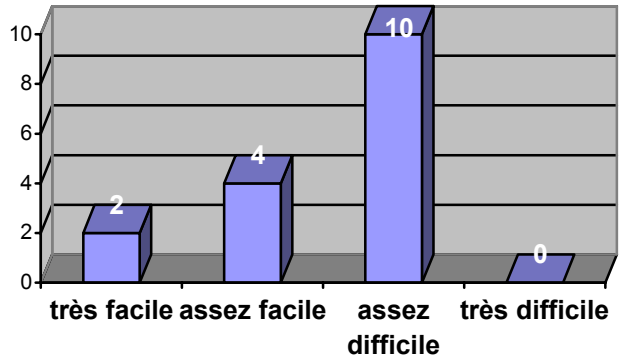
Si oui, pour lesquelles de ces fonctions avez-vous déjà utilisé un ordinateur ?

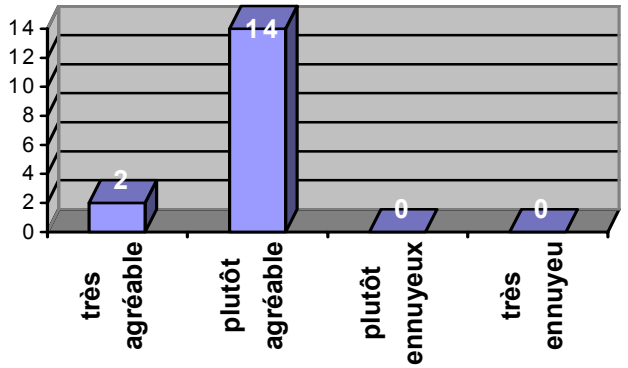


autres : dessins, logiciels de musique, encyclopédie, Internet

Vous et PÉPITE...

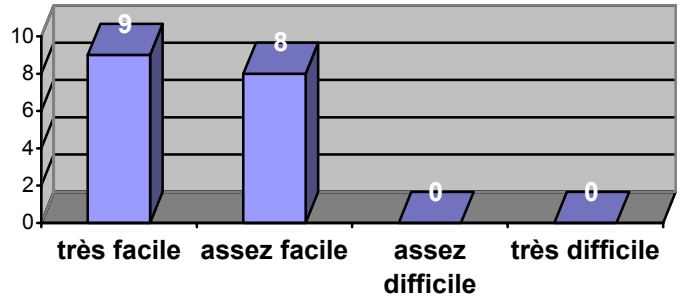
4- ***Globalement, pensez-vous qu'utiliser logiciel PÉPITE est***





5-

Selon vous, apprendre à se servir de ce logiciel est :

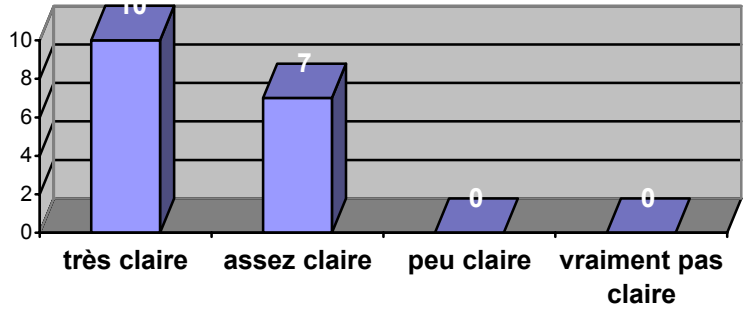


6- Si vous avez rencontré des difficultés particulières dans l'utilisation de ce logiciel, dites lesquelles :

les équations de droites.....
pas assez de temps .....
les signes à écrire .....
les exposants et les fractions.....

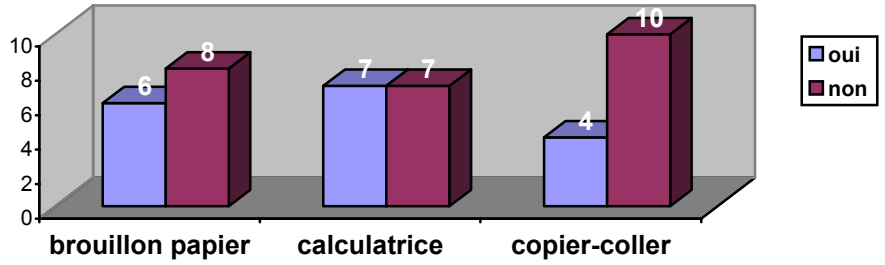
7-

Selon vous, la présentation de PÉPITE est :



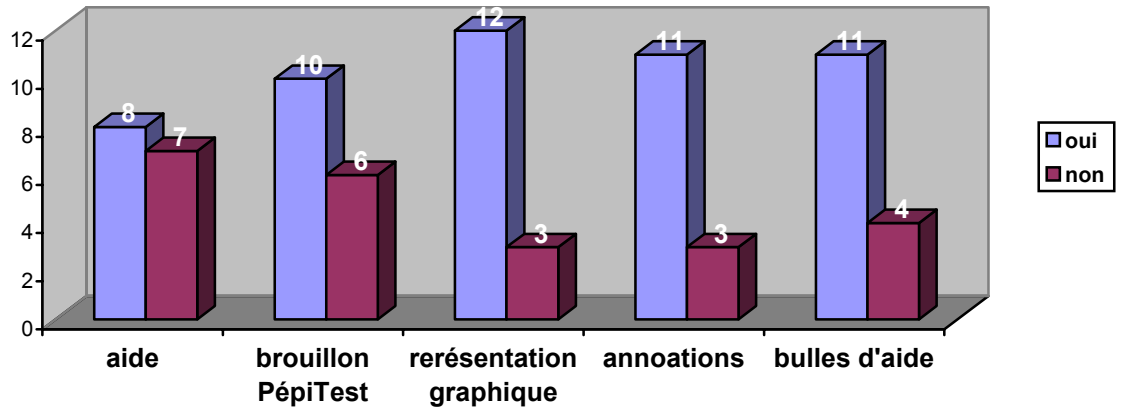
8-

Avez-vous utilisé les éléments suivants ?



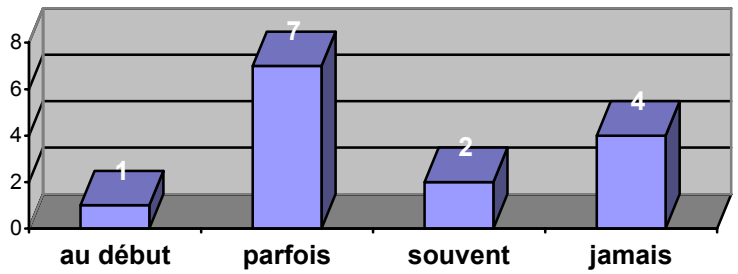
9-

Pensez-vous que les options suivantes sont utiles ?



10-

Avez-vous eu l'impression d'être perdu(e) ?

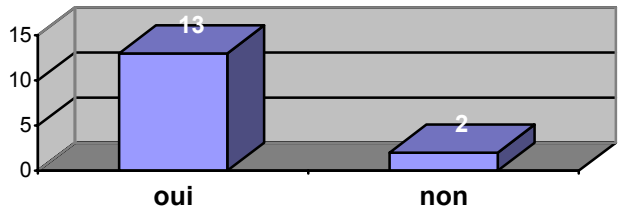


Si oui, dites dans quelle situation :

Pour les calculs.....
Le temps de me familiariser avec le programme.....
Je n'arrivais pas à calculer, je me perdais à cause de la notation des fractions.....
Dans certains exercices .....
Quand on ne comprends pas.....
Les équations de droites et las calculs mentaux.....

11-

Avez-vous eu l'impression que le logiciel vous donnait toutes les informations nécessaires ?

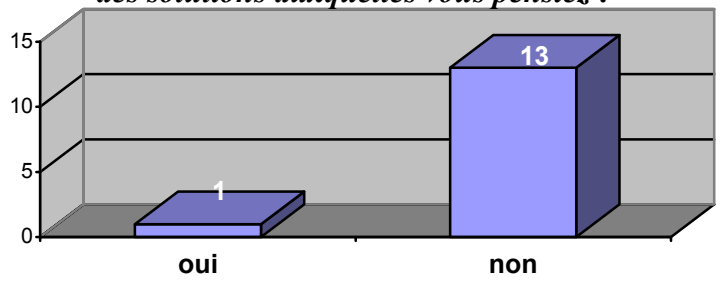


Si non, précisez l'exercice et les informations manquantes :

Si on ne comprend pas l'exercice ou si on a du mal, il n'y a pas de leçon d'accompagnement.....

12-

Avez-vous eu l'impression de ne pas pouvoir proposer des solutions auxquelles vous pensiez ?

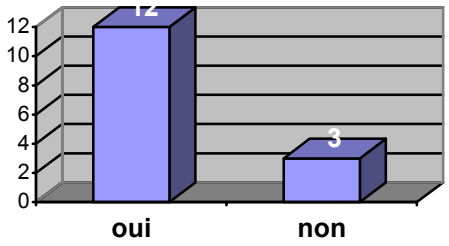


Si oui, précisez le(s) exercice(s) concerné(s) et la solution :

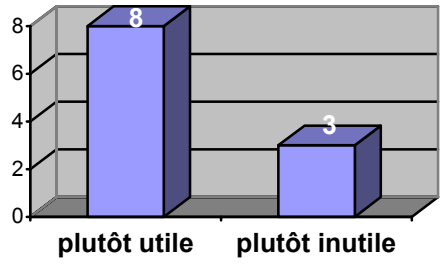
Pour faire des calculs avec plusieurs parenthèses .....
.....

13 -

Avez-vous remarqué que certains exercices proposaient des rappels de vos résultats aux questions précédentes ?



Si oui, comment avez-vous trouvé cela ?



14- Selon vous, quels sont les trois principaux points forts du logiciel PÉPITE ?

Le fait de faire des maths sur ordinateur est intéressant.....
En général tout était bien.....
Aide aux révisions, montre si on a assimilé le programme de 3ème .....
Les questions sont sur tout le programme de 3ème .....
Très facile d'utilisation.....
Bien pour réviser ses maths.....
Très agréable.....
La clarté et la facilité.....
Aide, les informations nécessaires.....
Pas besoin d'être un as de l'informatique.....
Simplicité, utilité.....
Présentation claire, ne manque pas d'info (aide).....
Permet de voir ce qu'on a acquis, logiciel informatique : c'est agréable et ça change
Clarté, simplicité, outils.....
Il est simple à utiliser.....
Il y a des choses différentes, les questions sont claires et il est facile à utiliser .....

15- Selon vous, quels sont les trois principaux points faibles du logiciel PÉPITE ?

Ne supervise que la partie algèbre du programme de maths .....
Rien n'était pas bien .....
Il n'y a pas d'exercices de géométrie .....
Les signes de fraction ne sont pas pratiques .....
Pas d'explication (ex : petite leçon si on ne comprend pas l'exercice) .....
C'est l'informatique car on met du temps à trouver les signes .....
Des informations pas assez complètes.....
Les différents signes (fractions, exposants) sont difficiles et longs à écrire.....

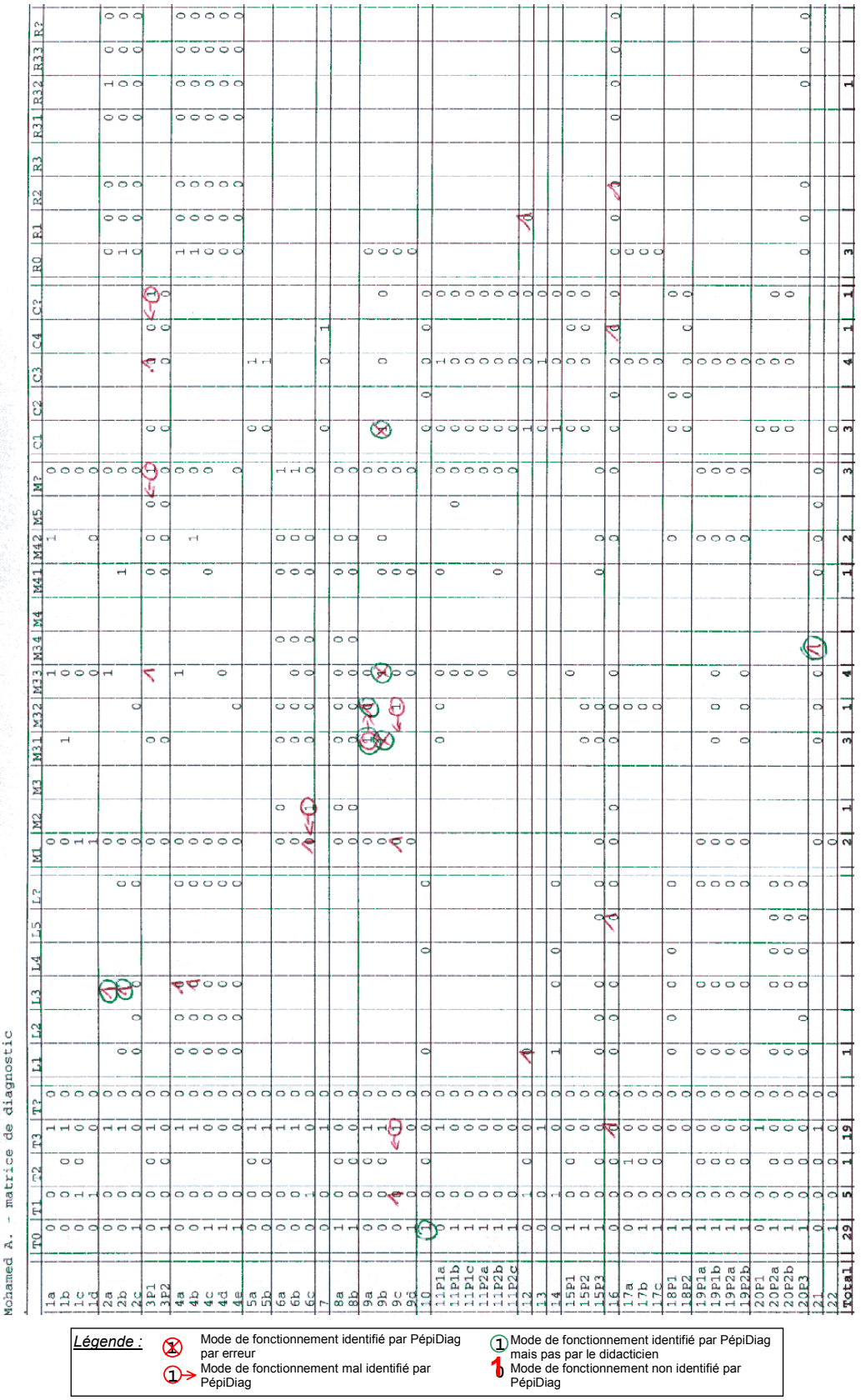
16- Vos suggestions et commentaires sur ce logiciel :

2h ne suffisent pas pour tout faire .....
Les outils (calculette…) cachent l'exercice et les données, il faudrait les diminuer...
Agréable, il faut le faire.....
Les signes de fraction ne sont pas assez clairs.....
Le logiciel est très bien et permet de voir nos connaissances .....
C'était très intéressant.....
Le logiciel est facile et très clair.....
C'est le meilleur que j'ai jamais vu.....
Simple à utiliser, mais écrire les calculs et les résultats est compliqué. .....
Parfois je ne savais pas trop ce qu'on me demandait, mais ça m'a permis de voir mes lacunes
Il faudrait avoir plus d'aide.....
Une aide (explication) pour les exercices en cas de difficulté .....

ANNEXES - DEUXIÈME PARTIE : LE DIAGNOSTIC

Annexe 13

UN EXEMPLE DE COMPARAISON DE MATRICES DE DIAGNOSTIC



ANNEXES – TROISIÈME PARTIE : L'INTERFACE ENSEIGNANT

Annexe 14
LES ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION DU PROFIL

Modes de fonctionnement			
Traitements	T0		Absence de réponse
	T1		Traitement correct
	T2		Traitement correct partiel ou non attendu
	T3		Traitement incorrect
	T ?		Traitement non identifié
Utilisation des lettres	L1		Utilisation correcte des lettres
	L2		Utilisation des lettres pour leur substituer des valeurs numériques
	L3		Utilisation des lettres pour faire du calcul algébrique avec des règles fausses
	L4		Utilisation des lettres comme étiquettes ou abréviations
	L5		Aucune utilisation des lettres
	L?		Utilisation des lettres non identifiée
Calcul algébrique	M1		Bonne maîtrise des règles de transformation
	M2		Maîtrise technique fragile
	M3		Règles de transformation non maîtrisées, mais identification correcte du rôle des opérateurs + et ×
		M31	Utilisation inadaptée des parenthèses qui conduit à un résultat correct
		M32	Utilisation inadaptée des parenthèses qui conduit à un résultat incorrect
		M33	Utilisation de règles de transformation fausses identifiées
		M34	Erreurs de signes au cours d'un calcul
	M4		Identification incorrecte du rôle des opérateurs + et ×
		M41	Les règles de transformation utilisées linéarisent les expressions
		M42	Les règles de transformation utilisées "assemblent" les termes
	M5		Calcul sans repérage des blocs
	M?		Calcul non identifié
Conversion	C1		Conversion correcte
	C2		Conversion correcte non attendue
	C3		Conversion incorrecte
	C4		Conversion abréviative
	C?		Conversion non identifiée
Type de justification	R0		Pas de justification
	R1		Justification par l'algèbre
	R2		Justification par l'exemple numérique
	R3		Justification de type scolaire
		R31	Justification reposant sur l'application de règles incorrectes
		R32	Justification en langage naturel par argumentation
		R33	Justification s'appuyant sur des formulations d'ordre légal
	R?		Justification non identifiée
Connaissances numériques	N1		Statut du signe égal
		N11	Relation d'équivalence
		N12	Annonce de résultat
	N2		Erreur sur l'ordre des nombres
		N21	Erreur sur l'ordre des décimaux
		N22	Erreur sur l'ordre des négatifs

Ce tableau indique pour chaque composante, les modes de fonctionnement qui lui sont associés ainsi que les codes utilisés pour les représenter.

Numéro des exercices	Type d'exercice	Type de traitement	Articulations entre cadres
1a	exR	t1 / t2	NUM[M1]
1b	exR	t1 / t2	NUM[M1]
1c	exR	t1 / t2	NUM[M1]
1d	exR	t1 / t2	NUM[M1]
2a	exR	t3	ALG[M1]
2b	exR	t3	alg_num[T1]
2c	exR	t3	alg_num[T1]
3P1	exM	t4 / t5	geo_alg[C1]
3P2	exR	t6	alg_geo[T1+T2] / geo_alg[T1+T2]
4a	exR	t3	
4b	exR	t3	alg_num[T1.R1]
4c	exR	t3	alg_num[T1.R1]
4d	exR	t3	alg_num[T1.R1]
4e	exR	t3	alg_num[T1.R1]
5a	exR	t3	ALG[T1+T2]
5b	exR	t3	ALG[T1+T2]
6a	exT / exR	t3 / t5	ALG[T1+T2]
6b	exT / exR	t3 / t5	ALG[T1+T2]
6c	exT / exR	t3 / t5	ALG[T1+T2]
7	exR	t6	alg_gra[T1]
8a	exT / exR	t1 / t3	alg_num[T1+T2]
8b	exT / exR	t1 / t3	alg_num[T1+T2]
9a	exT	t3 / t5	ALG[T1.M1+T2.M1]
9b	exT	t3 / t5	ALG[T1.M1+T2.M1]
9c	exT	t1 / t5	ALG[T1.M1+T2.M1]
9d	exT	t1 / t5	ALG[T1.M1+T2.M1]
10	exM	t4	lan_alg[T1.C1]
11P1a	exM	t4	lan_alg[T1.C1]
11P1b	exM	t4	lan_alg[T1.C1]
11P1c	exM	t4	lan_alg[T1.C1]
11P2a	exR	t6	alg_lan[T1.C1]
11P2b	exR	t6	alg_lan[T1.C1]
11P2c	exR	t6	alg_lan[T1.C1]
12	exM	t4	geo_alg[T1+T2]
13	exR	t6	alg_geo[T1]
14	exR	t6	
15P1	exM	t4	geo_alg[T1.C1]
15P2	exM	t4	geo_alg[T1.C1]
15P3	exM / exT	t4 / t5	ALG[T1.M1]
16	exM / exT	t4 / t5 / t7	num_alg[L5+R2+R3+R1] / lan_alg[T1.C1+T2.C2]
17a	exR / exT	t1 / t3	alg_num[T1#R0]
17b	exR / exT	t1 / t3	alg_num[T1#R0]
17c	exR / exT	t1 / t3	alg_num[T1#R0]

Numéro des exercices	Type d'exercice	Type de traitement	Articulations entre cadres
18P1	exR / exT	t1	gra_num[T1.C1+T2.C1]
18P2	exR	t6	gra_alg[T1.C1+T2.C1]
19P1a	exT	t1	alg_num[T1]
19P1b	exT	t1	alg_num[T1]
19P2a	exT	t5	ALG[T1]
19P2b	exT	t5	ALG[T1]
20P1	exR	t6	lan_gra[T1]
20P2a	exM	t4	lan_alg[T1] / lan_gra[T2]
20P2b	exM	t4	lan_alg[T1] / lan_gra[T2]
20P3	exM / exT	t4 / t5 / t6	ALG[T1]
21	exT	t5	ALG[T1]
22	exT	t1	NUM[T1]

Contenu du fichier des caractéristiques des questions

Légende :

Numéros d'exercices :
1a pour exercice 1 question a, 19Pa pour exercice 19 partie 1 question a…

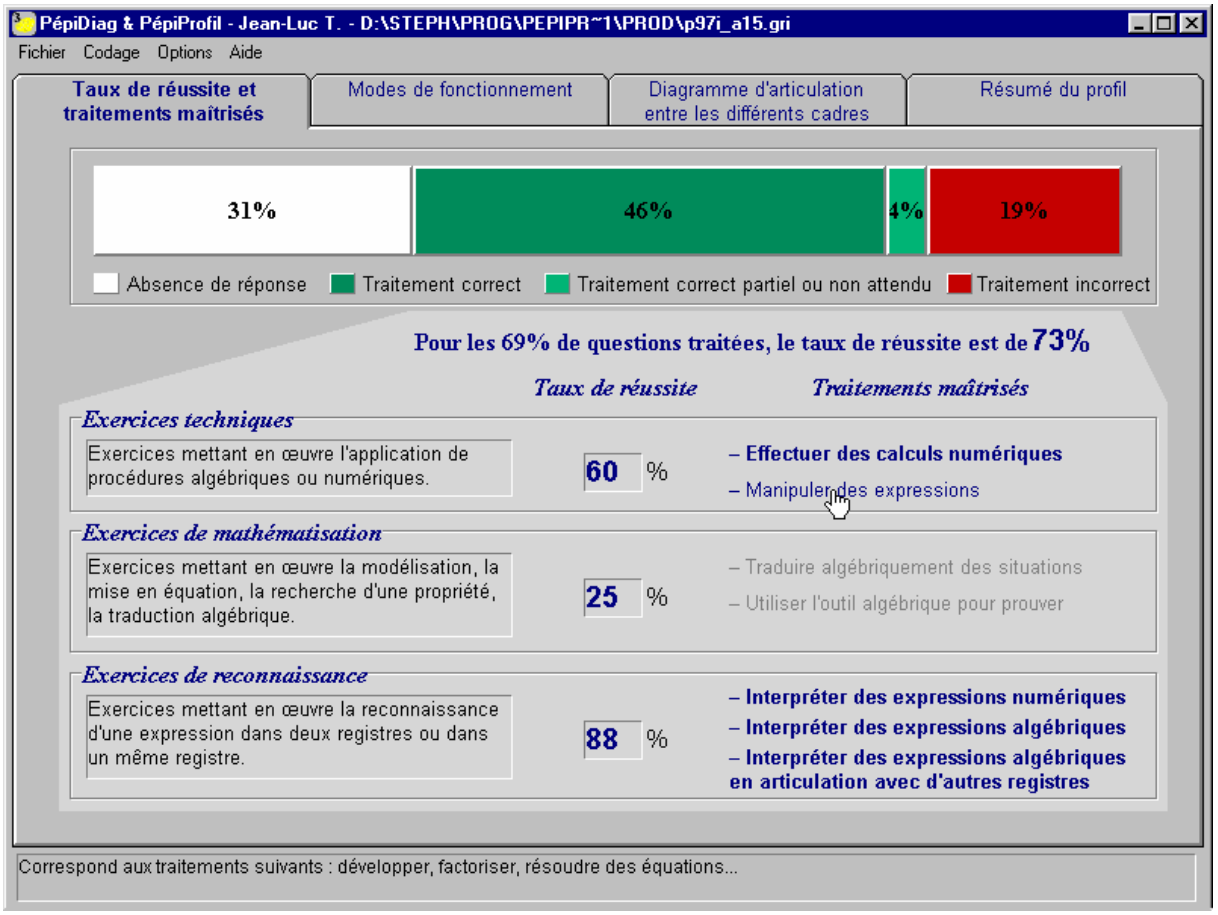
Type d'exercice :
exT : Exercices techniques
exR : Exercices de reconnaissance
exM : Exercices de mathématisation

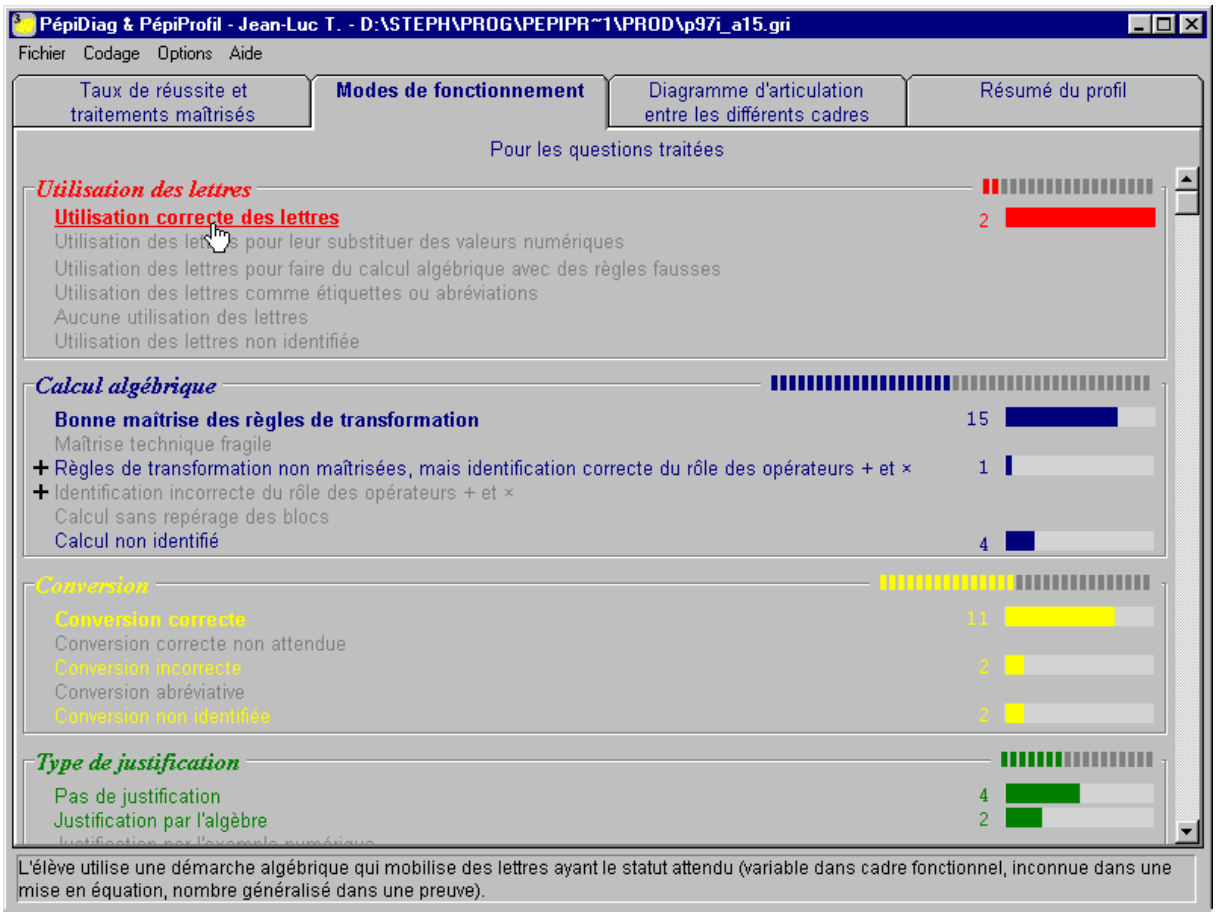
Types de traitements :
t1 : Effectuer des calculs numériques
t2 : Interpréter des expressions numériques
t3 : Interpréter des expressions algébriques
t4 : Traduire algébriquement des situations
t5 : Manipuler des expressions
t6 : Interpréter des expressions algébriques en articulation avec d'autres registres d'écritures
t7 : Utiliser l'outil algébrique pour prouver

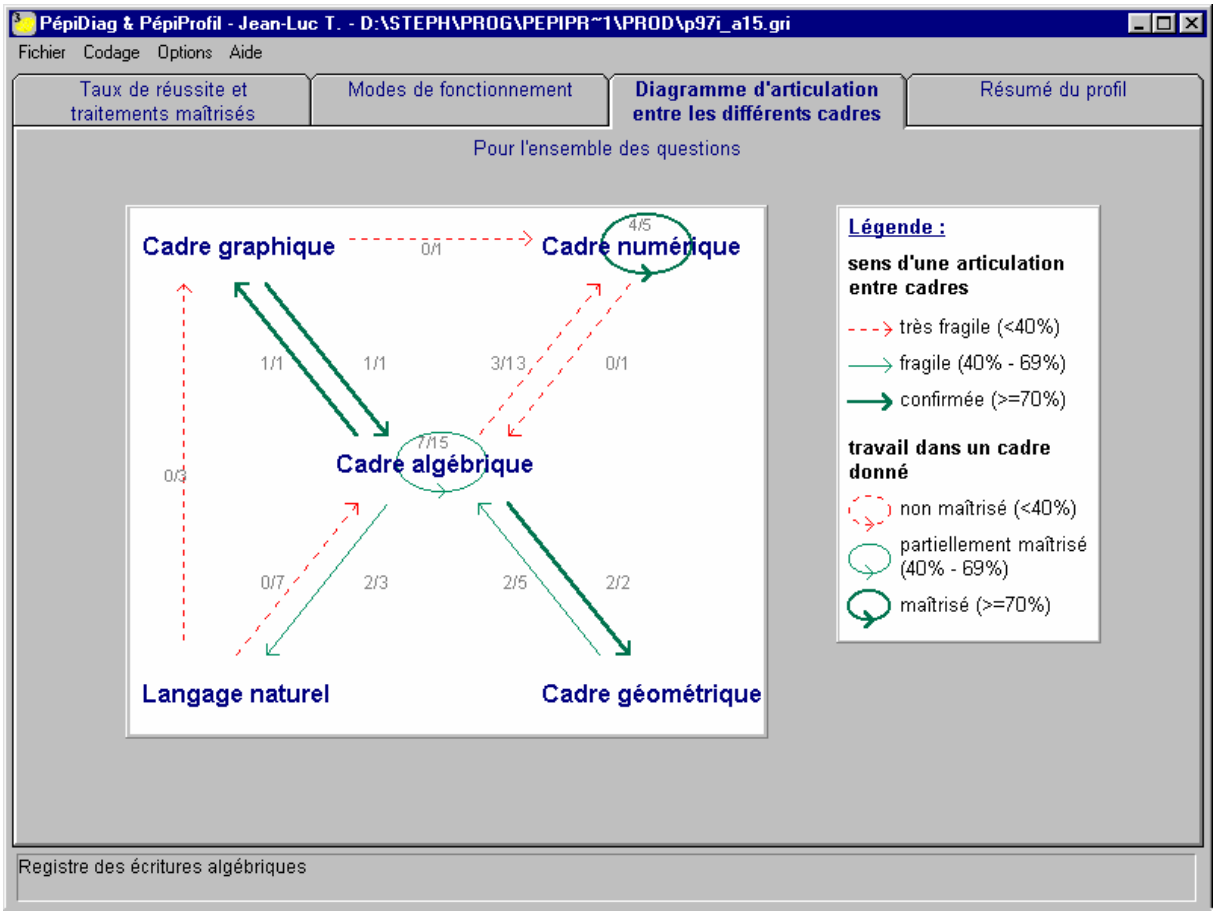
Construction du diagramme :
ALG : Gestion dans le cadre algébrique
NUM : Gestion dans le cadre numérique
num_alg : Articulation entre le cadre numérique et le cadre algébrique
alg_num : Articulation entre le cadre algébrique et le cadre numérique
alg_geo : Articulation entre le cadre algébrique et le cadre géométrique
geo_alg : Articulation entre le cadre géométrique et le cadre algébrique
alg_lan : Articulation entre le cadre algébrique et le langage naturel
lan_alg : Articulation entre le langage naturel et le cadre algébrique
alg_gra : Articulation entre le cadre algébrique et le cadre graphique
gra_alg : Articulation entre le cadre graphique et le cadre algébrique
gra_num : Articulation entre le cadre graphique et le cadre numérique
lan_gra : Articulation entre le langage naturel et le cadre graphique
Les éléments entre crochets indiquent les contraintes à appliquer pour que la réponse de l'élève soit considérée comme valide du point de vue de l'articulation pour la question. [T1+T2] signifie que l'articulation est considérée comme maîtrisée si les codes T1 ou T2 sont mis en œuvre pour la réponse de l'élève. [T1R1] signifie que l'articulation est considérée comme maîtrisée si les codes T1 et R1 sont mis en œuvre.

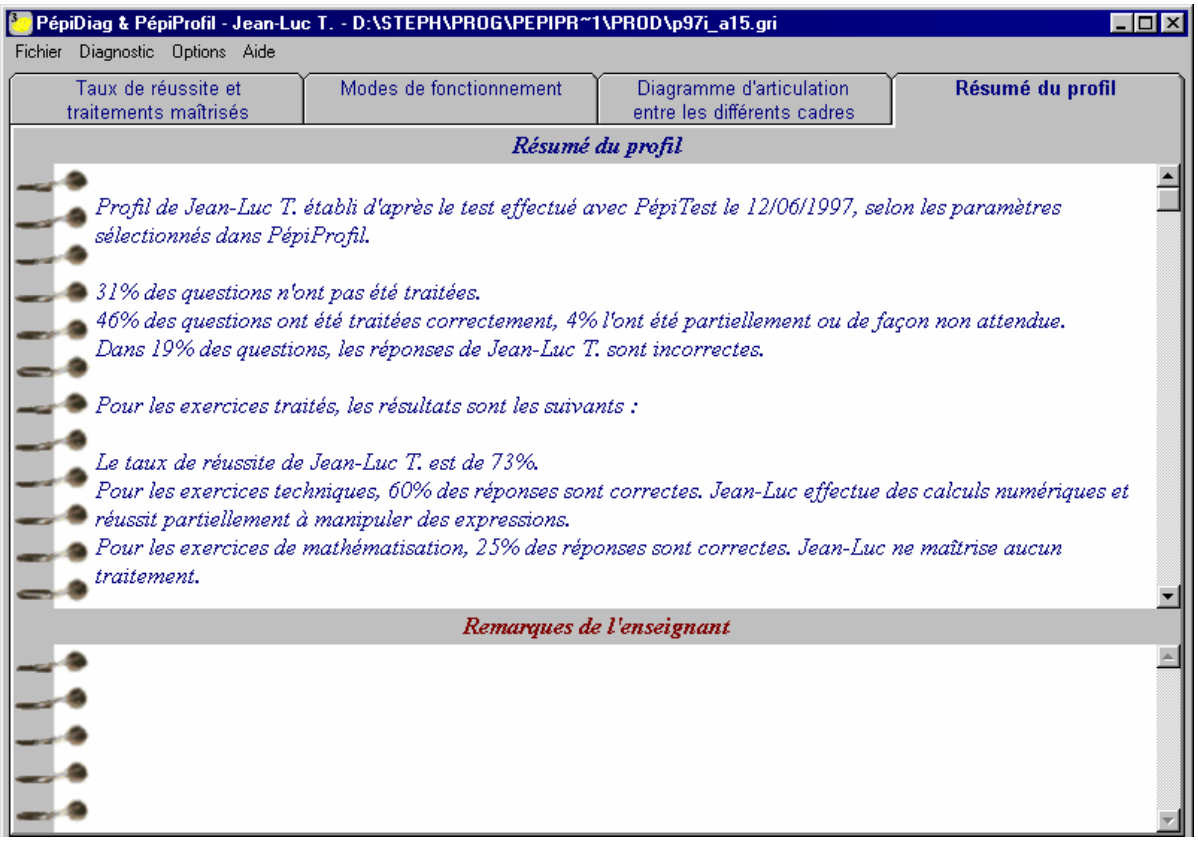
Annexe 15
PÉPIPROFIL – LE PROFIL DE JEAN-LUC T.

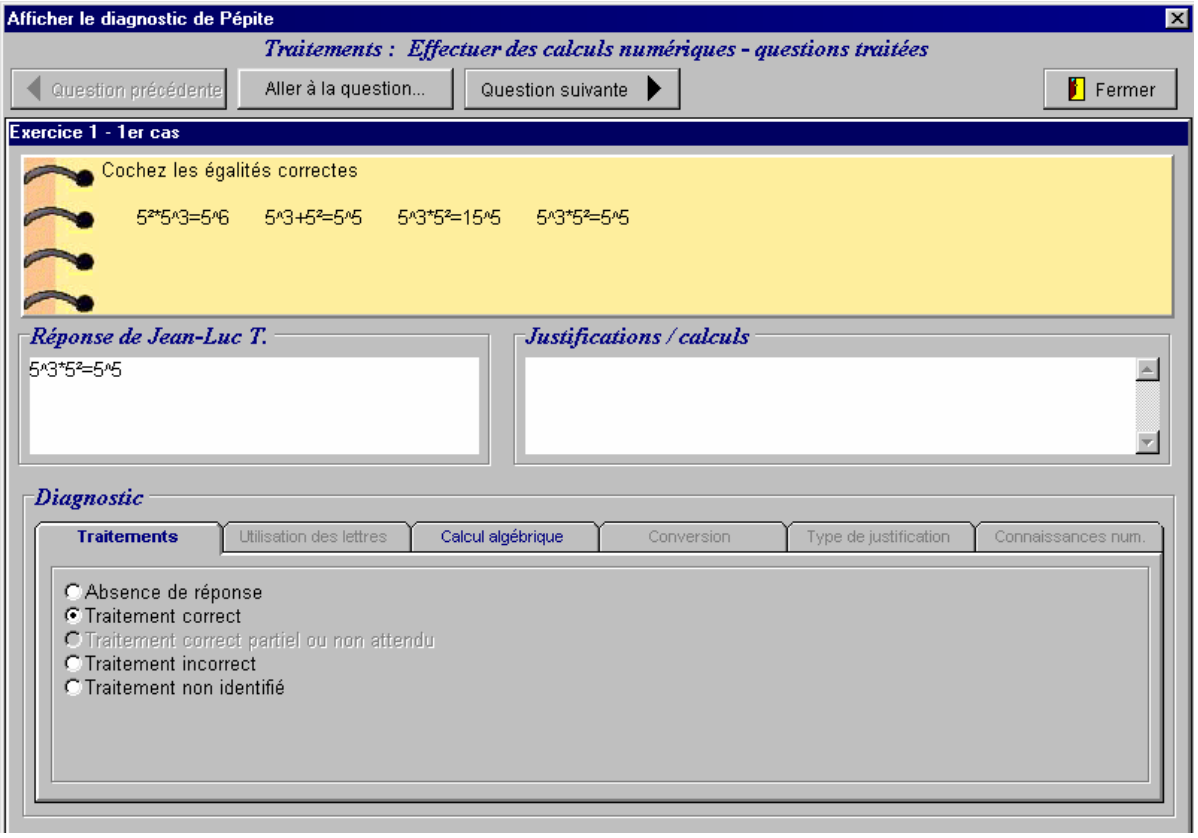




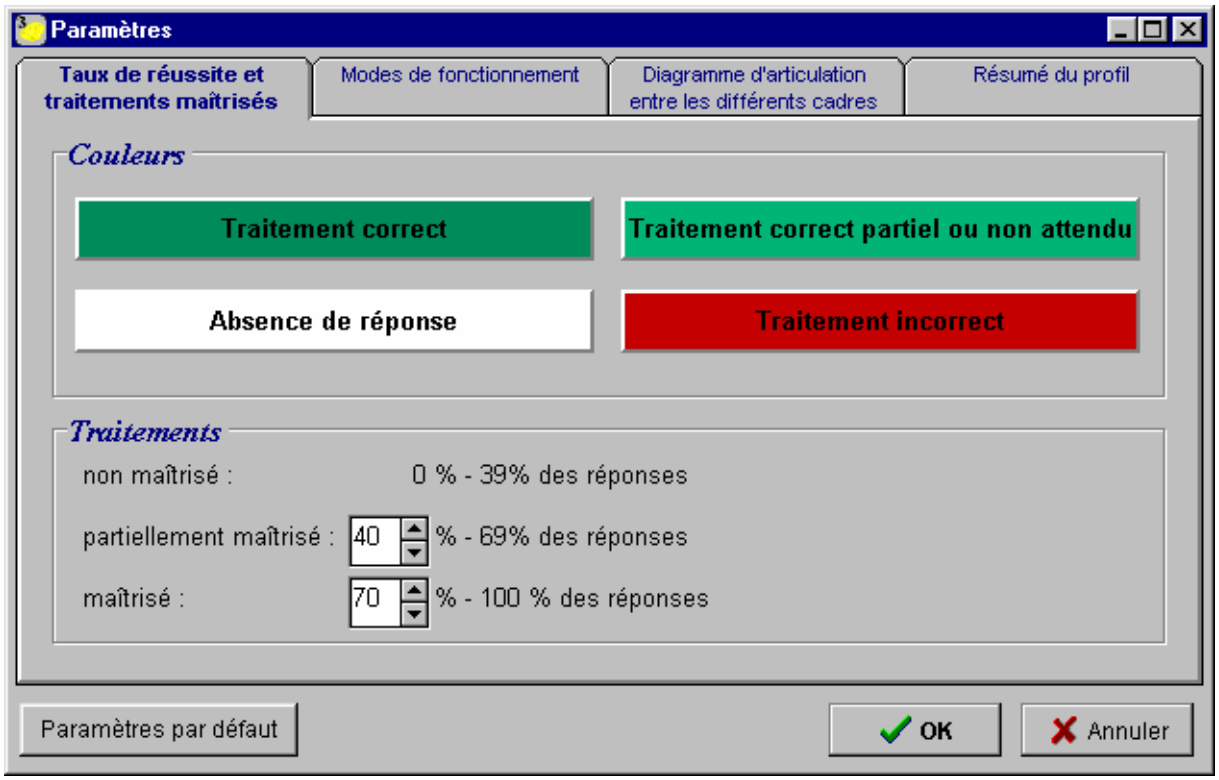

PépiDiag & PépiProfil - Jean-Luc T. - D:\STEPH\PROG\PEPIPR~1\PROD\p97i_a15.gri
Fichier Codage Options Aide
Taux de réussite et traitements maîtrisés
Modes de fonctionnement
Diagramme d'articulation entre les différents cadres
Résumé du profil
Pour les questions traitées
Utilisation des lettres
Utilisation correcte des lettres 2
Utilisation des lettres pour leur substituer des valeurs numériques
Utilisation des lettres pour faire du calcul algébrique avec des règles fausses
Utilisation des lettres comme étiquettes ou abréviations
Aucune utilisation des lettres
Utilisation des lettres non identifiée
Calcul algébrique
Bonne maîtrise des règles de transformation 15
Maîtrise technique fragile
Règles de transformation non maîtrisées, mais identification correcte du rôle des opérateurs + et × 1
Identification incorrecte du rôle des opérateurs + et ×
Calcul sans repérage des blocs
Calcul non identifié 4
Conversion
Conversion correcte 11
Conversion correcte non attendue
Conversion incorrecte 2
Conversion abréviative
Conversion non identifiée 2
Type de justification
Pas de justification 4
Justification par l'algèbre 2
L'élève utilise une démarche algébrique qui mobilise des lettres ayant le statut attendu (variable dans cadre fonctionnel, inconnue dans une mise en équation, nombre généralisé dans une preuve).

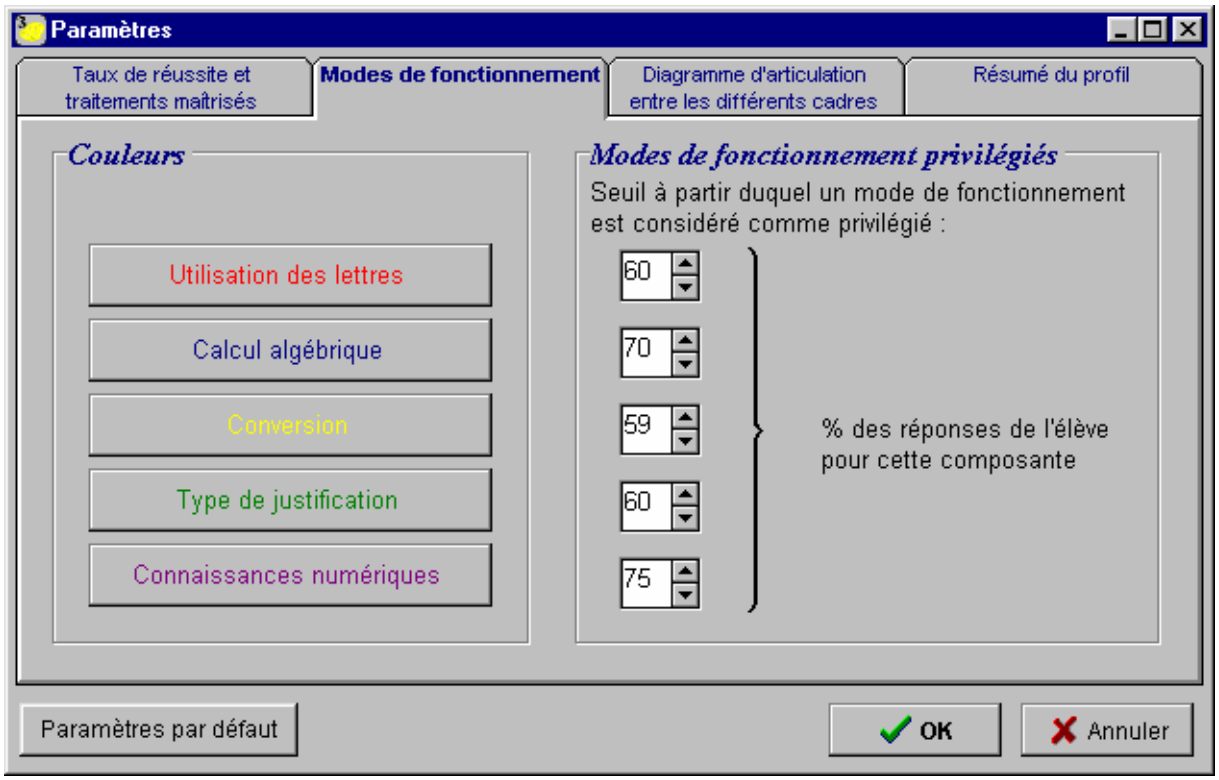

PépiDiag & PépiProfil - Jean-Luc T. - D:\STEPH\PROG\PEPIPR~1\PROD\p97i_a15.gri
Fichier Codage Options Aide
Taux de réussite et traitements maîtrisés
Modes de fonctionnement
Diagramme d'articulation entre les différents cadres
Résumé du profil
Pour l'ensemble des questions
Cadre graphique
Cadre numérique
Cadre algébrique
Langage naturel
Cadre géométrique
0/1
4/5
1/1
1/1
3/13
0/1
0/3
7/15
0/7
2/3
2/5
2/2
Légende :
sens d'une articulation entre cadres
très fragile (<40%)
fragile (40% - 69%)
confirmée (>=70%)
travail dans un cadre donné
non maîtrisé (<40%)
partiellement maîtrisé (40% - 69%)
maîtrisé (>=70%)
Registre des écritures algébriques

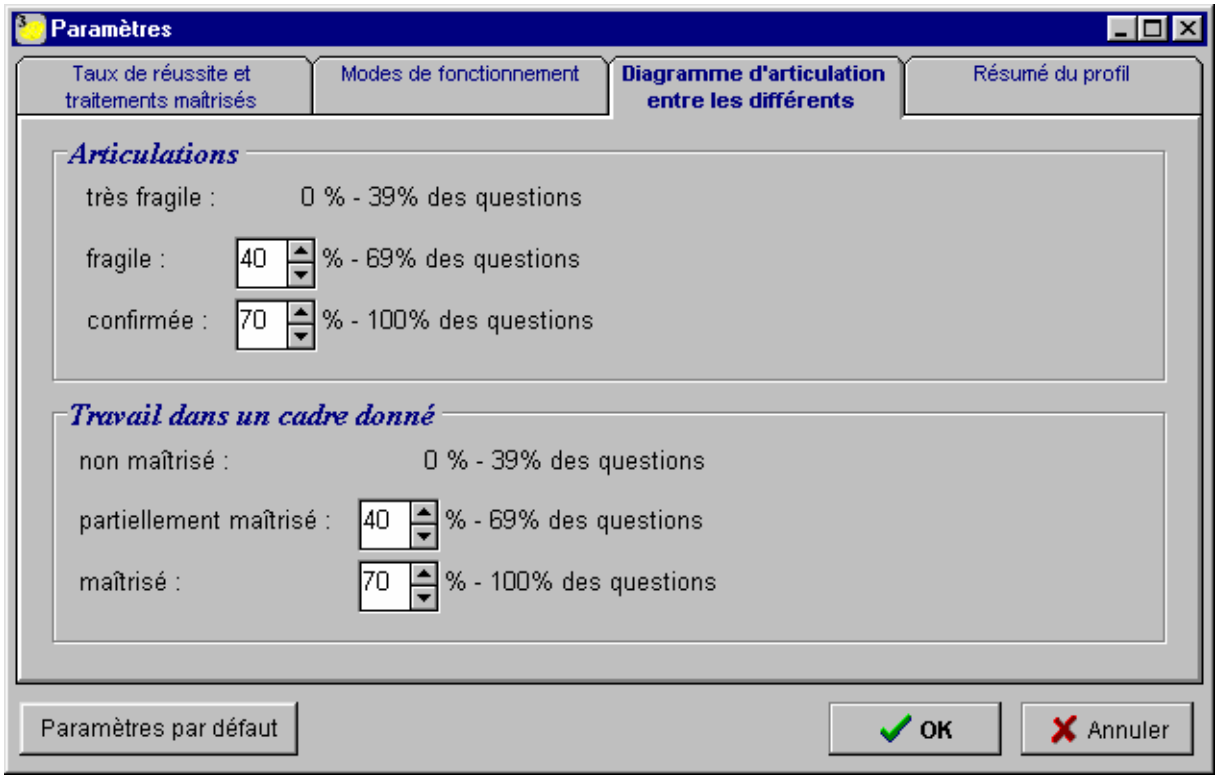


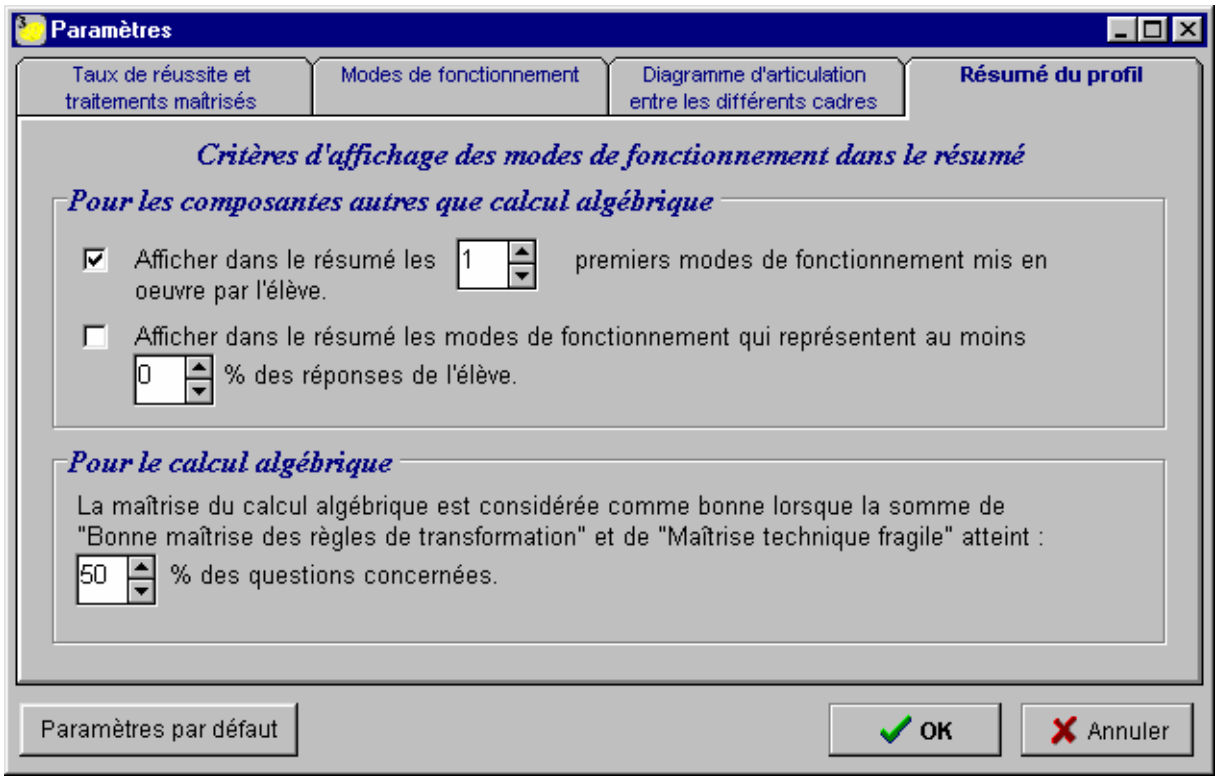


Dans la zone “Diagnostic”, chaque onglet correspond à une composante, pour chaque composante, on a la liste des modes de fonctionnement. Une case cochée indique que le système a détecté le mode de fonctionnement sélectionné dans le comportement de l’élève.


Paramètres
Taux de réussite et traitements maîtrisés
Modes de fonctionnement
Diagramme d'articulation entre les différents cadres
Résumé du profil
Couleurs
Traitement correct
Traitement correct partiel ou non attendu
Absence de réponse
Traitement incorrect
Traitements
non maîtrisé : 0 % - 39% des réponses
partiellement maîtrisé : 40 % - 69% des réponses
maîtrisé : 70 % - 100 % des réponses
Paramètres par défaut
OK
Annuler


Paramètres
Taux de réussite et traitements maîtrisés
Modes de fonctionnement
Diagramme d'articulation entre les différents cadres
Résumé du profil
Couleurs
Utilisation des lettres
Calcul algébrique
Conversion
Type de justification
Connaissances numériques
Modes de fonctionnement privilégiés
Seuil à partir duquel un mode de fonctionnement est considéré comme privilégié :
60
70
59
60
75
% des réponses de l'élève pour cette composante
Paramètres par défaut
OK
Annuler


Paramètres
Taux de réussite et traitements maîtrisés
Modes de fonctionnement
Diagramme d'articulation entre les différents
Résumé du profil
Articulations
très fragile : 0 % - 39% des questions
fragile : 40 % - 69% des questions
confirmée : 70 % - 100% des questions
Travail dans un cadre donné
non maîtrisé : 0 % - 39% des questions
partiellement maîtrisé : 40 % - 69% des questions
maîtrisé : 70 % - 100% des questions
Paramètres par défaut
OK
Annuler


Paramètres
Taux de réussite et traitements maîtrisés
Modes de fonctionnement
Diagramme d'articulation entre les différents cadres
Résumé du profil
Critères d'affichage des modes de fonctionnement dans le résumé
Pour les composantes autres que calcul algébrique
Afficher dans le résumé les 1 premiers modes de fonctionnement mis en oeuvre par l'élève.
Afficher dans le résumé les modes de fonctionnement qui représentent au moins 0 % des réponses de l'élève.
Pour le calcul algébrique
La maîtrise du calcul algébrique est considérée comme bonne lorsque la somme de "Bonne maîtrise des règles de transformation" et de "Maîtrise technique fragile" atteint : 50 % des questions concernées.
Paramètres par défaut
OK
Annuler

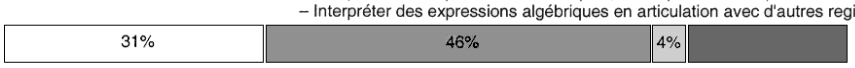
Annexe 16
PÉPIPROFIL – L'IMPRESSION DU PROFIL DE JEAN-LUC T.

Profil de Jean-Luc T. établi d'après le test effectué avec PépiTest le 12/06/1997, selon les paramètres sélectionnés dans PépiProfil.

» Taux de réussite

Traitements maîtrisés

Taux de réussite global : 73%
Exercices techniques : 60% – Effectuer des calculs numériques, – Manipuler des expressions
Exercices de mathématisation : 25%
Exercices de reconnaissance : 88% – Interpréter des expressions numériques, – Interpréter des expressions algébriques
– Interpréter des expressions algébriques en articulation avec d'autres registres d'écritures



Absence de réponse | Traitement correct | Traitement correct partiel ou non attendu | Traitement incorrect

» Modes de fonctionnement

Utilisation des lettres 2/19
Utilisation correcte des lettres 2
Utilisation des lettres pour leur substituer des valeurs numériques
Utilisation des lettres pour faire du calcul algébrique avec des règles fausses
Utilisation des lettres comme étiquettes ou abréviations
Aucune utilisation des lettres
Utilisation des lettres non identifiée

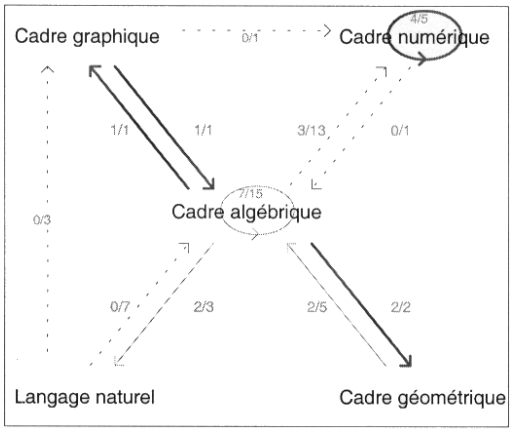
Calcul algébrique 20/42
Bonne maîtrise des règles de transformation 15
Maîtrise technique fragile
Règles de transformation non maîtrisées, mais identification correcte du rôle des opérateurs + et ×
Utilisation inadaptée des parenthèses qui conduit à un résultat correct
Utilisation inadaptée des parenthèses qui conduit à un résultat incorrect 1
Utilisation de règles de transformation fausses identifiées
Erreurs de signes au cours d'un calcul
Identification incorrecte du rôle des opérateurs + et ×
Les règles de transformation utilisées linéarisent les expressions
Les règles de transformation utilisées "assemblent" les termes
Calcul sans repérage des blocs
Calcul non identifié 4

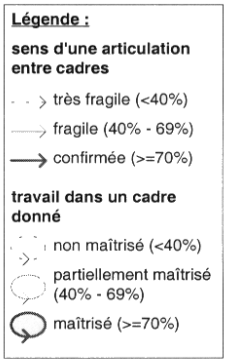
Conversion 15/30
Conversion correcte 11
Conversion correcte non attendue
Conversion incorrecte 2
Conversion abréviative
Conversion non identifiée 2

Type de justification 7/17
Pas de justification 4
Justification par l'algèbre 2
Justification par l'exemple numérique
Justification de type scolaire
Justification reposant sur l'application de règles incorrectes
Justification en langage naturel par argumentation 1
Justification s'appuyant sur des formulations d'ordre légal 1
Justification non identifiée

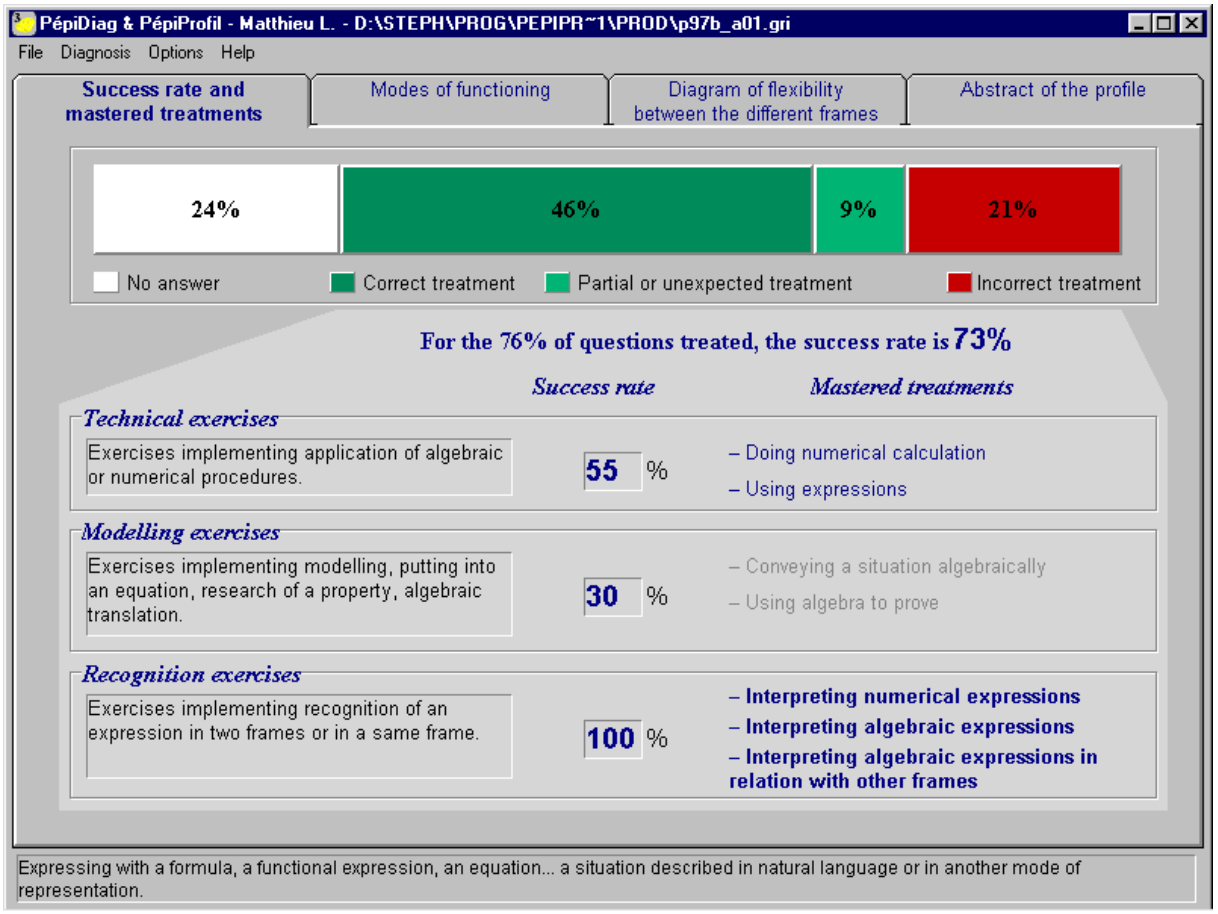
Connaissances numériques 0/1
Statut du signe égal
Relation d'équivalence
Annonce de résultat
Erreur sur l'ordre des nombres
Erreur sur l'ordre des décimaux
Erreur sur l'ordre des négatifs

» Diagramme d'articulation entre les différents cadres





Annexe 17
PÉPIPROFIL EN ANGLAIS



La première partie du profil dans la version de PÉPIPROFIL en Anglais.

Matthieu L.'s profile based on the test done with PépiTest on the 05/06/97, according to the parameters selected in PépiProfil.

24% of the questions have not been treated.
46% of the questions have been correctly treated, 9% have been partially or unexpectedly treated.
In 21% of the questions, Matthieu L.'s answers are incorrect.

For the treated exercises, the results are as follows:

Matthieu L.'s success rate is 73%.
For technical exercises, 55% of the answers are correct. Matthieu partially succeed to doing numerical calculation and partially succeed to using expressions.
For modelling exercises, 30% of the answers are correct. Matthieu ne maîtrise aucun traitement.
For recognition exercises, 100% of the answers are correct. Matthieu is able to interpret numerical expressions, is able to interpret algebraic expressions and is able to interpret algebraic expressions in relation with another frame.

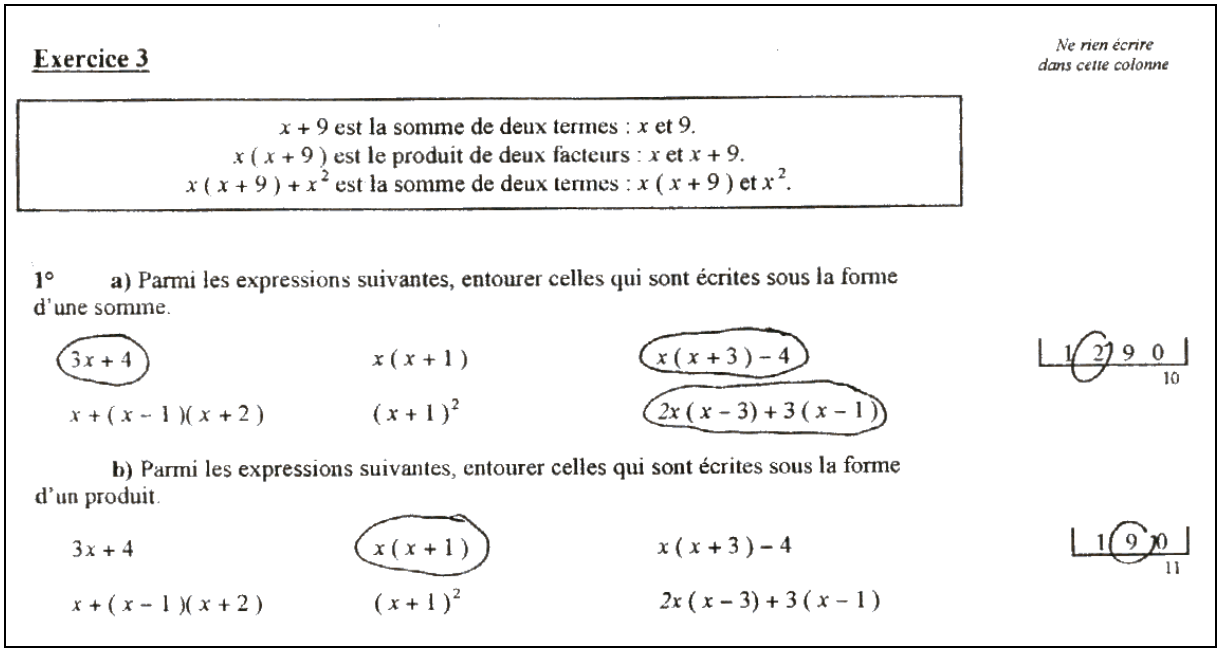
The main modes of functionning spotted by Matthieu L. are:
Use of letters to do algebra calculation with erroneous rules in 43% of the answers.
The mastery of algebraic calculation is still inadequate (48% of the questions). Difficulties are linked to:
- Transformation rules non mastered, but correct identification of the role of operators + and × in 6% of the answers (unsuitable use of brackets leading to incorrect result).
- Incorrect identification of the role of operators + and × in 6% of the answers (the transformation rules used make expressions linear).
Correct conversion in 78% of the answers.
No justification in 57% of the answers.
No information has been obtained concerning the numerical knowledge.

Links between the different frames for all the exercises (treated or not):
Work in a specified frame:
The numerical frame is mastered.
The algebraic frame is partially mastered.

Links between frames:
5 links are nonexistent, but the following links exist:
Link from the register of graphical writings to the register of algebraic writings
Link from the register of numerical writings to the register of algebraic writings
Link from the register of natural language to the register of graphical writings
Link from the register of natural language to the register of algebraic writings
Link from the register of algebraic writings to the register of natural language

Le résumé du profil dans la version de PÉPIPROFIL en Anglais.

Annexe 18
L'ÉVALUATION NATIONALE EN SECONDE : TEST ET RÉSULTATS



Exercice 3

Ne rien écrire dans cette colonne

$x + 9$ est la somme de deux termes : x et 9.
$x(x + 9)$ est le produit de deux facteurs : x et $x + 9$.
$x(x + 9) + x^2$ est la somme de deux termes : $x(x + 9)$ et x^2.

1° **a)** Parmi les expressions suivantes, entourer celles qui sont écrites sous la forme d'une somme.

$3x + 4$ $\quad x(x + 1)$ $\quad x(x + 3) - 4$

$x + (x - 1)(x + 2)$ $\quad (x + 1)^2$ $\quad 2x(x - 3) + 3(x - 1)$

1 2 9 0
10

b) Parmi les expressions suivantes, entourer celles qui sont écrites sous la forme d'un produit.

$3x + 4$ $\quad x(x + 1)$ $\quad x(x + 3) - 4$

$x + (x - 1)(x + 2)$ $\quad (x + 1)^2$ $\quad 2x(x - 3) + 3(x - 1)$

1 9 0
11

Un exemple d'exercice dans l'évaluation nationale en seconde.

Signification des codes portés par l'enseignant dans la colonne de droite

Codage d'une réponse correcte

Le **code 1** est attribué à toute réponse attendue. On appelle réponse attendue tantôt un résultat numérique, tantôt l'élément d'une démarche, tantôt une autre caractéristique de la réponse. Il peut donc arriver qu'une réponse soit considérée sous plusieurs aspects, chacun de ces aspects étant codé séparément.

Le **code 2** est attribué à d'autres réponses qui sont correctes, mais différentes du modèle codé 1 ou à des réponses partielles voisines des réponses codées 1, son utilisation est toujours précisée et commentée.

Codage des réponses erronées

Le **code 6** est attribué aux réponses inexactes que l'on souhaite mettre en évidence en raison de leur fréquence ou de l'intérêt pédagogique qu'elles peuvent présenter.

Le **code 9** est attribué à toute réponse différente de la réponse attendue et éventuellement des réponses codées 2 ou 6. En particulier, toute réponse ambiguë ou illisible sera codée 9.

Codage de l'absence de réponse

Le **code 0** est attribué lorsque l'exercice (ou la partie de l'exercice) n'a pas été traité.

Signification des codes pour l'analyse des réponses

NOM : M. PRÉNOM : Stéphanie CLASSE : Seconde 9

RÉCAPITULATION DES RÉSULTATS

CAPACITÉS	COMPÉTENCES	NUMÉROS DES ITEMS	Codes 1 ou 2	Codes 6 ou 9	Codes 0
Lire et comprendre	Lire Observer Identifier	FS : 18 TNA : 10 - 11 G : 44 - 38			
Rechercher	Conjecturer	TNA : 54 - 55			
	Élaborer et organiser une démarche	FS : 42 TNA : 12 - 14 - 16 - 53 G : 25 - 28 - 30 - 36 - 45 - 46 - 47 - 49 -50 - 51			
Réaliser	Exécuter	FS : 19 - 20 - 39 - 40 - 41 TNA : 1 - 2 - 3 - 5 - 13 - 15 - 17 - 52 G : 7 - 8 - 26 - 29 - 31 - 32 - 33 - 34 - 35 - 37 - 48			
	Critiquer	FS : 21 - 22 - 23 - 24 - 43 TNA : 4 G : 6 - 9			
Mettre en forme	Présenter un texte, un graphique, un dessin	G : 27			

FS : Fonctions, statistique ; TNA :Travaux numériques et algébriques ; G : Géométrie

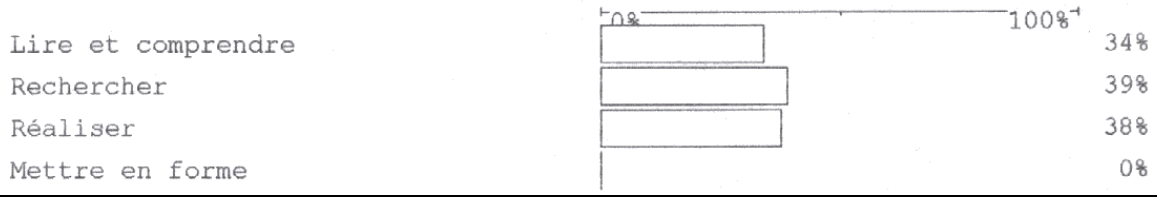
Résultats de l'évaluation pour une élève.

EVAREM Version 2.0
EValuation et Aide à la Répartition des Elèves en Modules

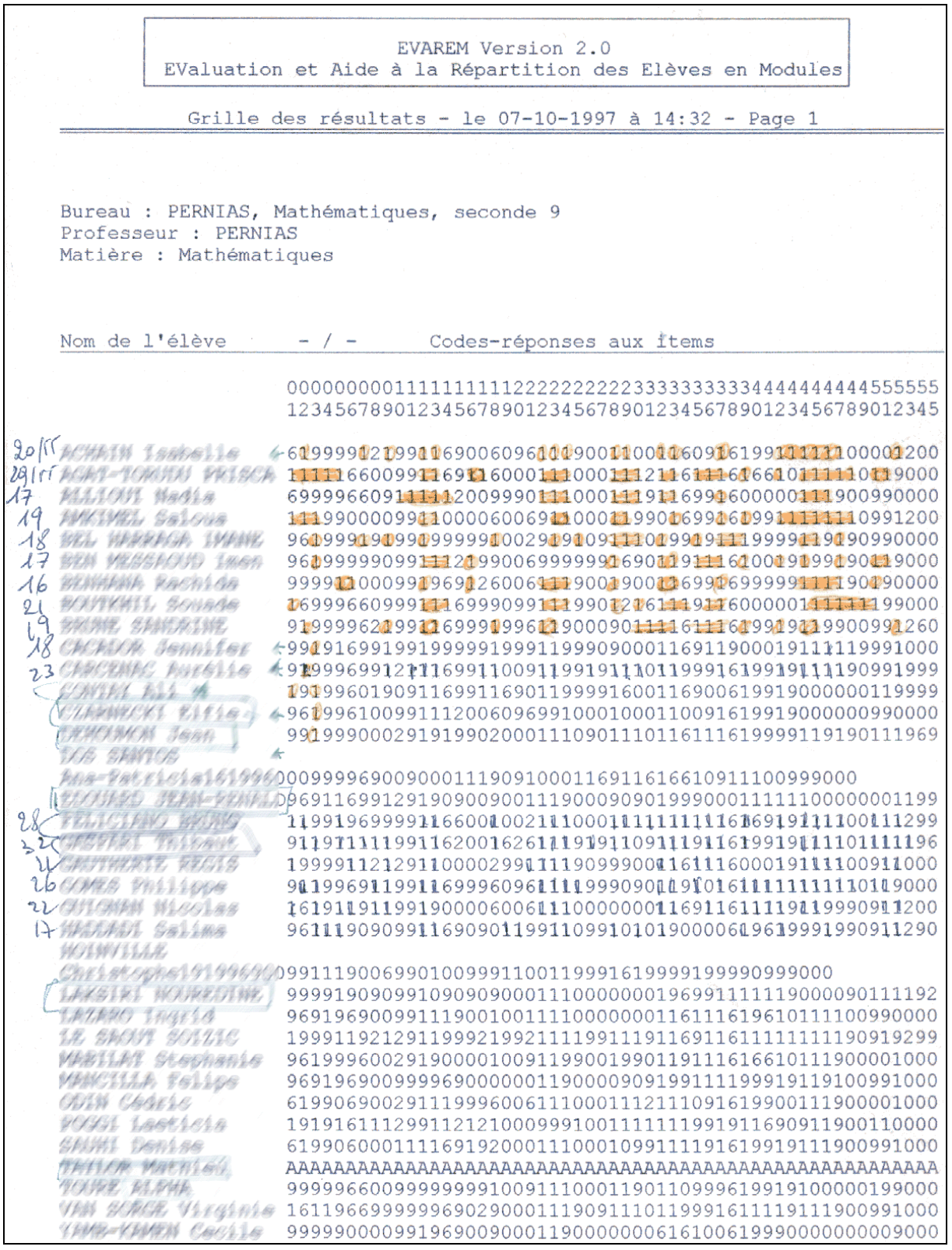
Bilan de la classe - le 07-10-1997 à 14:33 - Page 1

Bureau : PERNIAS, Mathématiques, seconde 9
Professeur : PERNIAS
Matière : Mathématiques

Pourcentages de codes {1 ou 2} obtenus aux capacités



Résultats de l'évaluation pour une classe.



EVAREM Version 2.0
EValuation et Aide à la Répartition des Elèves en Modules

Grille des résultats - le 07-10-1997 à 14:32 - Page 1

Bureau : PERNIAS, Mathématiques, seconde 9
Professeur : PERNIAS
Matière : Mathématiques

Nom de l'élève - / - Codes-réponses aux items

```
                    000000000011111111112222222222333333333344444444445555555
                    123456789012345678901234567890123456789012345678901234567
ACHAIN Isabelle     6199999121991169006096111900111001160916199111111000001200
ACHT-TOMOU VRISCA   1111166009911691160001110001112116111661661011111011119000
ALLIOM Nadia        6999966091111120099901110001119116991600000111900990000
AMCIMEL Salous      1119900009911000060069110001199016991661991111111090991200
BEL HARRACH IMANE   9609999190999999910029109109111101991911199999119090990000
BEN MESSAOUD Iman   9609999990991112199006999999169011911116100019199019011900
BENHAMA Rachida     9999911000991969126006111900190001699769999911119090990000
BOUTKHIL Soraida    1699966099911169990991111990121761119117600000111111199000
BRUNE SANDRINE      9199999621991169991996119000901111611161991911990099911260
CACHEUX Jennifer    9991916991991999991999119990900011691190001911111999100O
CARCENAC Aurélie    9199996991211169911009119919111011999161991911119099199
CONTAL Ali          1919996019091169911690119999160011690061991900000011999
CZARNECKI Elisa     9619961009911120060969910001000110091619919000000990000
DEMONMON Jean       9919990002919199020001110901110116111619999119190111969
DOS SANTOS
Eva-Patricia1619960009999690090001119091000116911616610911100999000
ELOUARD JEAN-RENALD 9691169912919090090011190009090199900011111100000001199
FELICIANO BRUNO     1199196999911660001002111000111111111116169191111001112299
GERARD Thibaut      9119711119911620016261119191109111911611991911110111119G
GAUTHERIE REGIS     1999911212911000029911119099900411611160001911110091100O
GOMES Philippe      9019969119911699960961111999090119101611111111111010900O
GUIGNON Nicolas     1619119119919000060061110000000116911611119119990911200
HAZARI Salima       9611190909911690901199110991010190000619619991990911290
HOUVILLE
Christophe1919960009911190069901009991100119991619999199990999000
LAKSIRI NOUREDINE   9999190909910909090001110000000196991111119000090111192
LAZARO Ingrid       9691969009911190010011110000000116111619610111100990000
LE SAUT SOIZIC      1999119212911999219921111991119116911611111111190919299
MABILAT Stephanie   9619999600291900001009119900199011911161661011190000100O
MANCILLA Felipe     9691969009999690000001190000909199111199919119100991000
ODIN Cédric         6199069002911199960061110001112111091619900111900001000
POGGI Laeticia      1919161112991121210009991001111111991911690911900110000
SAUMI Denise        6199060001111691920001110001099111191619919111900991000
TAYLOR Mathieu      AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
TOURE ALPHA         9999966009999999910091110001190110999619919100000199000
VAN SORGE Virginie  1611966999999690290001119091110119991611119111900991000
YMB-KAMEN Cecile    9999900009919690090001190000000616100619990000000009000
```

Résultats de l'évaluation pour l'ensemble des élèves.