

# Habilitation à diriger des recherches

Spécialité : INFORMATIQUE

Université du MAINE

Présentée par Éric BRUILLARD

## CONCEPTION ET USAGES DES INSTRUMENTS INFORMATIQUES POUR L'APPRENTISSAGE ET L'ENSEIGNEMENT

Soutenue le 6 novembre 1998 devant un jury composé de :

M. Alain Derycke	Professeur à l'Université Lille I (rapporteur)
Mme Monique Grandbastien	Professeur à l'Université Nancy I (rapporteur)
M. Jean-Marie Laborde	Directeur de Recherche, IMAG, Grenoble
M. Marc Nanard	Professeur à l'Université de Montpellier
Mme Brigitte de La Passardière	Maître de conférences à l'Université Paris VI
M. Jean-Pierre Peyrin	Professeur à l'Université Grenoble I (rapporteur)
M. Martial Vivet	Professeur à l'Université du Maine

---

### **Remerciements**

*Je tiens à remercier chaleureusement les personnes qui ont accepté de faire partie du jury. Leurs encouragements, leurs critiques et commentaires éclairés sont pour beaucoup dans l'accomplissement de ce travail.*

*Une pensée particulière va à Martial Vivet qui a dirigé mon travail de recherche depuis de nombreuses années et m'a amicalement soutenu de manière constante. Sa disparition laisse un grand vide.*

*Je remercie tous les collègues qui m'ont aidé à l'IUFM de Créteil, à l'INRP et au LIUM.*

*Enfin, j'adresse un remerciement tout particulier à Georges-Louis Baron. Outre les nombreuses recherches que nous menons en commun, son aide et ses remarques ont été essentielles.*

# TABLE DES MATIERES

<b>0. INTRODUCTION</b>	<b>5</b>
<b>1. UN CHEMINEMENT DE RECHERCHE</b>	<b>7</b>
<b>1.1. Micromondes et simulations actives</b>	<b>8</b>
1.1.1. Simulations actives et apprentissage de la programmation	8
1.1.2. Conception et usage des micromondes en éducation	10
1.1.3. Le FILICOUPEUR	13
<b>1.2. Hypertextes et tuteurs intelligents</b>	<b>17</b>
1.2.1. SEVE : système auteur intégrant PROLOG et un générateur hypertexte	17
1.2.1.1. APILOG	18
1.2.1.2. LYRE	19
1.2.1.3. ARRIA et la rédaction des démonstrations	21
1.2.1.4. La conception avec SEVE	24
1.2.2. HYPERINFO et HYPERIMAGE	25
1.2.3. Diagnostic automatique dans des tâches procédurales	26
1.2.4. Le calcul formel	27
<b>1.3. Conception et usages des EIAO</b>	<b>29</b>
1.3.1. Hypertexte et résolution de problèmes	29
1.3.1.1. Thème et hypothèses	29
1.3.1.2. Premiers résultats	30
1.3.1.3. Vers un travail autour d'une classe particulière de problèmes	32
1.3.2. Analyse des situations d'apprentissage	33
1.3.2.1. Ébauche de cadre méthodologique pour la conception	34
1.3.2.2. Éléments pour l'évaluation des EIAO	35
1.3.2.3. Place de l'enseignant dans le processus de conception	35
1.3.3. Histoire des courants de pensée en EIAO	36
<b>1.4. L'informatique et ses usagers dans l'éducation</b>	<b>38</b>
1.4.1. L'intégration des TIC dans le système éducatif	39
1.4.2. Représentations et usages chez de futurs enseignants	42
1.4.3. La question des instruments : l'exemple de la calculatrice	45
1.4.3.1. Pourquoi s'intéresser à une telle question ?	45
1.4.3.2. L'évolution de la situation depuis la fin des années 1970	46
1.4.3.3. Quelques résultats issus des questionnaires et des entretiens	47
1.4.3.4. Discussion	49
1.4.4. La place des instruments dans l'enseignement des mathématiques	51
1.4.5. Quel bilan peut-on tirer ?	52
<b>1.5. Éléments de synthèse d'un parcours de recherche</b>	<b>55</b>
1.5.1. Quelques évolutions en EIAO	55
1.5.2. Évolution de l'informatique	56
1.5.3. Retour sur le parcours personnel	57

<b>2. DES RECHERCHES EN COURS : DU LIVRE IMPRIMÉ AU LIVRE ÉLECTRONIQUE</b>	<b>59</b>
<b>2.1. Le cas des dictionnaires</b>	<b>61</b>
<b>2.2. Le cas des manuels scolaires</b>	<b>64</b>
2.2.1. Description générale du projet	64
2.2.2. Hypothèses de conception	65
2.2.3. Point sur les réalisations	66
2.2.4. Nouvelles pistes de recherche	70
2.2.5. Éléments de bilan	73
<b>3. DE NOUVELLES DIRECTIONS DE RECHERCHE</b>	<b>75</b>
<b>3.1. Quels contextes de recherche ?</b>	<b>76</b>
3.1.1. Constitution de réseaux pluridisciplinaires	76
3.1.2. La place des IUFM dans la recherche	77
<b>3.2. Sujets et cadres de recherches</b>	<b>79</b>
3.2.1. Sujets de recherche	79
3.2.2. Cadre de recherche	86
<b>4. RÉFÉRENCES</b>	<b>87</b>
<b>5. LISTE DE PUBLICATIONS</b>	<b>89</b>

---

*Remarque : dans la suite de ce document, les nombres entre crochets renvoient à ma liste de publications personnelles regroupée à la fin.*

## 0. Introduction

« *De la conception aux usages et des usages à la conception* », cette formule résume à la fois mon itinéraire de chercheur et mes directions de recherche actuelles. Comment combiner harmonieusement, synthétiser des travaux de nature informatique liés à la construction de modèles et de programmes, et des études, à caractère sociologique, psychosociologique, historique et technique, sur les usages des technologies, les représentations des acteurs et le fonctionnement des organisations éducatives ? Comment mener des recherches à caractère fortement interdisciplinaire et un ancrage universitaire de nature disciplinaire ? Ce document a pour ambition de fournir des éléments de réponse à ces différentes questions.

Par la force des choses, les recherches que j'ai menées ont été à la fois diverses et foisonnantes, mais orientées vers une direction unique, celle de la conception et de l'étude des problèmes d'intégration et d'utilisation des instruments informatiques dans l'éducation. Ainsi, ce sont les problèmes traités qui sont ici organisateurs de la recherche. Les thèmes abordés, les méthodes utilisées et les pistes pratiquées ont été choisis afin de mieux comprendre et d'améliorer la conception des instruments logiciels à finalité éducative, qu'ils soient destinés aux élèves ou aux enseignants.

Différentes institutions jalonnent ce parcours, de par le caractère mortel si ce n'est éphémère de certaines d'entre elles. Ainsi, le Centre Mondial de l'Informatique et des ressources humaines n'a existé que durant cinq ans et les écoles normales d'instituteurs se sont fondues dans les instituts universitaires de formation des maîtres. L'avenir de l'Institut National de la Recherche Pédagogique est incertain, la forme de sa renaissance étant encore loin d'être claire au moment où ces lignes sont écrites. Tantôt les changements dans les institutions sont bénéfiques, tantôt, ils coupent court des recherches qui commençaient à porter leurs fruits<sup>1</sup>. Ces suppressions ou évolutions amènent souvent à refonder les recherches et obligent à consacrer un temps non négligeable pour constituer à nouveau un environnement de travail satisfaisant.

Afin d'éviter un simple catalogue par trop fastidieux des différents travaux effectués, la perspective adoptée dans ce texte consiste à mettre en évidence ce qui a trait à la conception des environnements d'apprentissage intégrant des ressources informatiques, c'est-à-dire le large spectre des usages possibles de l'ordinateur à des fins d'apprentissage et d'enseignement. Il s'agit de rendre compte des multiples tentatives pour intégrer les usagers, qu'ils soient les véritables utilisateurs ou assument des rôles d'intermédiaire et de prescripteur, d'identifier les hypothèses à la base des réalisations, les méthodes adoptées et les problèmes rencontrés. Par ailleurs, le champ couvre non seulement la réalisation de produits destinés à être utilisés par d'autres, mais intègre également les instruments d'aide à la recherche, c'est-à-dire les moyens d'organiser et de traiter des ensembles de données et d'informations pour les rendre intelligibles et en tirer du sens, le chercheur devenant le premier utilisateur des environnements qu'il développe.

---

<sup>1</sup> Rappelons que, lors de la suppression du Centre Mondial de l'Informatique et des ressources humaines, devait se constituer un centre de développement sur les tuteurs intelligents. Claude Pair était sollicité pour en assumer la direction scientifique et Martial Vivet était disposé à y consacrer une bonne partie de son temps de recherche.

La première partie de ce document donne les principales directions de recherche qui ont été suivies, en essayant de reconstruire le cheminement de pensée qui les a accompagnées.

Deux grands axes de recherche apparaissent : travaux de conception d'environnements d'apprentissage expérimentés dans divers contextes ; études générales sur les usages des technologies dans l'éducation et leur intégration dans le système scolaire et universitaire.

Le premier axe correspond à mes premières recherches, orientées essentiellement vers la production d'environnement d'apprentissage : des micromondes LOGO (LOGO-CONTE, PROD, PROLOGO, REEC, FORMATEXTE, MULTI-TORTUES...), le FILICOUPEUR, les simulations actives (INTERPRÉTEUR LOGO), Hypertextes et tuteurs intelligents (ARRIA, LYRE, PHILO, AIP, APILOG, CAMELEON), GRHYP, système de diagnostic (BADAUD). La plupart ont été expérimentés dans divers contextes et leur conception a souvent associé divers partenaires, notamment des enseignants. Par contre, ils ne sont pas fondés sur des études d'usage des technologies dans l'éducation.

Le second axe est fortement lié à mon investissement au sein de l'IUFM de Créteil. Il correspond à une prise de distance vis-à-vis des technologies elles-mêmes pour mieux comprendre leurs contraintes d'utilisation dans l'éducation : étude des représentations et des opinions des futurs enseignants concernant les technologies d'information et de communication dans l'éducation, usage des calculatrices (école primaire et collège), recherches sur l'intégration des TIC (technologies de l'information et de la communication) dans l'éducation.

Certaines recherches actuelles, présentées dans la deuxième partie, opèrent une synthèse des deux directions précédentes, associant des études sur les usages réels et sur les processus de conception. Elles sont centrées autour de la mutation de ressources traditionnelles dans l'éducation comme les manuels scolaires et les dictionnaires, c'est-à-dire le passage des formes imprimées aux documents électroniques.

La troisième partie présente les pistes de recherche que je compte développer. Essayant de dégager les problèmes nouveaux posés par l'extraordinaire diffusion de l'informatique, elle s'attache à expliciter les conditions de développement, les liens possibles entre les institutions de recherche, l'apport de la formation d'enseignants, les travaux possibles pour des étudiants en DEA ou en thèse.

Dans la suite du texte, je ne m'appesantirai pas sur les aspects proprement informatiques des différents environnements décrits, ceci afin de faciliter la lisibilité du document et lui garder un caractère orienté vers les problèmes posés, la façon de les aborder et de les traiter.

*Si une partie du document est consacrée à l'exposition d'un parcours personnel, il est sans doute indispensable de situer ce dernier dans le contexte général de l'évolution des recherches dans le domaine. Ayant publié récemment un livre sur ce thème [1], je n'ai pas jugé utile de tout reprendre en détail et me suis contenté de signaler quelques liens me paraissant importants, considérant ce livre comme une annexe à ce document.*

## **1. Un cheminement de recherche**

Cette première partie décrit les différentes pistes de recherche qui ont été suivies en s'attachant à expliciter les idées sous-jacentes à la conception de réalisations informatiques ou les raisons des études plus générales, ne débouchant pas obligatoirement sur des produits, mais permettant de mieux appréhender les contraintes d'intégration des technologies informatiques dans l'éducation. Quatre courants sont ainsi présentés : les micromondes et les simulations actives, les hypertextes et les tuteurs intelligents, l'étude de la conception et des usages des environnements d'apprentissage, l'informatique et ses usagers dans l'éducation et les problèmes de transfert de livres papiers en livres électroniques.

L'exposition ne correspond qu'en partie à la chronologie puisque des axes de recherche ont souvent coexisté. Dans la rédaction, je me limiterai à un bref descriptif des produits développés ou des recherches menées en indiquant leur intérêt ou leur originalité, en précisant ce qui a trait aux questions de conception et renverrai aux articles les décrivant.

## 1.1. Micromondes et simulations actives

Cette première étape correspond à des travaux effectués entre le début et le milieu des années quatre-vingt, bien que certains d'entre eux se soient achevés au début des années quatre-vingt-dix.

Le contexte, au début des années quatre-vingt, est caractérisé, au plan de l'utilisation de l'informatique dans l'éducation, par le débat entre informatique outil ou objet d'enseignement. LOGO, créé à la fin des années soixante, se popularise et des machines personnelles permettent de le faire tourner. Après les premières expérimentations lancées par l'OFRATEME (puis l'INRP), les IREM et quelques universités (notamment les universités Paris VIII et Paris VI), la création du Centre Mondial de l'Informatique et des Ressources Humaines, sous l'impulsion de Papert qui y est invité, met un coup de projecteur sur l'intérêt des ordinateurs pour l'éducation.

Des expérimentations dans des classes ou avec des publics d'enseignants en formation confirment l'intérêt indéniable du langage LOGO, mais mettent aussi en lumière des difficultés et des limites à son utilisation productive dans le contexte scolaire. Apparaissent notamment des problèmes de compréhension du fonctionnement du langage LOGO lui-même, empêchant de tirer réellement bénéfice des erreurs faites et d'interpréter les messages délivrés par la machine. En outre, si les primitives de base fournies permettent de piloter aisément une tortue afin de réaliser des dessins simples, se pose la question de proposer aux apprenants des situations motivantes et intéressantes et de développer d'autres micromondes ou environnements d'apprentissage. Deux concepts clés vont fonder ces réalisations : permettre de réelles productions, c'est-à-dire aboutir à un objet « montrable » et partageable, et favoriser la coopération entre les apprenants.

### 1.1.1. Simulations actives et apprentissage de la programmation

Comme je viens de l'évoquer, la mauvaise compréhension du fonctionnement même du langage LOGO, s'avère un sérieux obstacle dans la poursuite des projets des apprenants. Or, une des différences notables de LOGO avec des langages développés à l'époque dans l'éducation, était que les messages d'erreur étaient écrits en clair, ce qui était censé faciliter leur interprétation et leur compréhension et orienter ainsi les corrections éventuelles. Diverses expériences montrèrent qu'une telle allégation n'était pas suffisamment étayée.

Ainsi, au cours d'une expérimentation LOGO dans une école primaire d'Orly au début des années quatre-vingt, Gérard Weidenfeld a eu l'idée, à l'insu des enseignants et des élèves, d'inclure un programme tirant aléatoirement un message en cas d'erreur. Les enseignants et les élèves ne se sont pas aperçus de la substitution opérée, tout au plus certains ont trouvé qu'il y avait quelque chose de bizarre sans être à même de préciser quoi. Cela montrait essentiellement que les messages d'erreur n'étaient pas compris, voire même pas lus, par les utilisateurs. Des essais en formation d'instituteurs et avec des étudiants en psychologie ont donné des résultats similaires<sup>2</sup>.

Savoir lire et surtout interpréter un message d'erreur est une expertise que la plupart des

---

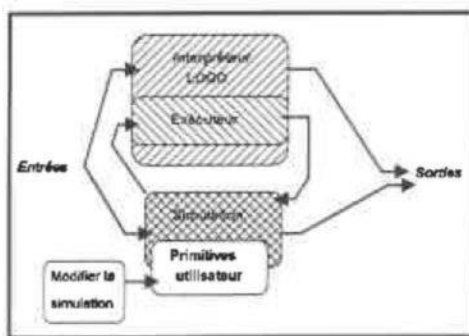
<sup>2</sup> J'ai également conduit des tests auprès de ces publics. A partir de phrases LOGO incorrectes sur le plan syntaxique, la consigne était de se mettre à la place de la machine et de proposer un message à renvoyer à l'utilisateur censé les avoir écrites. Ces exercices s'avéraient très délicats, montrant la difficulté à se représenter la logique de fonctionnement de la machine.

usagers n'ont pas acquise. Soit, le simple fait qu'une erreur ait été détectée suffit pour que l'utilisateur en identifie la source, soit il est perdu et a tendance à tout refaire. Cela montre l'importance d'un entraînement à la compréhension des erreurs, relié à une meilleure représentation même de la machine, du moins de l'interprète par l'intermédiaire duquel on converse avec elle. En effet, malgré une conception proche de la langue naturelle, des messages en clair guident insuffisamment les utilisateurs (enfants, enseignants). Les simulations actives ont été conçues dans le but d'apporter un embryon de solution à ce problème.

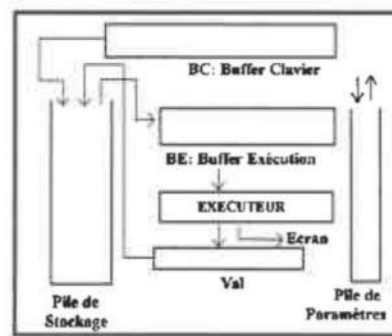
L'idée de simulation active fut d'opérer une synthèse entre les activités dans les micromondes et celles couramment développées dans les simulations. Plusieurs exemples concernant l'apprentissage de l'informatique ont été développés au Centre Mondial de l'Informatique : le *microprocesseur* (Jean-Luc Méheust et Gérard Weidenfeld), l'*interpréteur LOGO* (Nicole Rocland et Eric Bruillard) et la *simulation d'arbre* (Isabelle Péreira). Ces environnements exploratoires, conçus sur des modèles voisins, étaient destinés à l'apprentissage de connaissances informatiques de base. Ils cherchaient à tirer parti de métaphores familières et à proposer un modèle simple de principes généraux de fonctionnement dans un environnement de résolution de problèmes. Ce modèle pouvait être progressivement complexifié en vue d'intégrer les contraintes techniques et les approfondissements que celles-ci déterminent.

Dans le cas de l'interpréteur LOGO ([58], [50] et [1], p. 159-162), l'objectif était dans un premier temps de comprendre la manière dont les programmes LOGO sont interprétés par la machine et, dans un deuxième temps, d'explorer les possibilités de ce type d'interprète.

La simulation est construite au-dessus de LOGO et intègre un interprète LOGO *réel* pour son propre fonctionnement. Il est possible de comparer la simulation et le LOGO sous-jacent en exécutant des programmes soit directement soit par l'intermédiaire de la simulation. La fidélité de la simulation est vérifiée par ce type de comparaisons. On peut s'en écarter en acceptant dans la simulation des programmes autrement refusés et explorer des modes de fonctionnement particuliers. Différents modes, tel un mode dit CACHE dans lequel les objets ne sont pas visibles, permettent de résoudre des problèmes de complexité croissante.



La simulation et le LOGO sous-jacent



Représentation visuelle de l'interprète

Figure 1 : la simulation d'interprète LOGO

La conception des simulations actives s'est donc fondée sur l'idée de représentation visuelle, afin de permettre à l'apprenant d'explorer comme dans une simulation puis de piloter une machine virtuelle (par l'intermédiaire de primitives langagières) pour en comprendre le

fonctionnement, d'automatiser et de transformer ce fonctionnement. Différentes sessions de travail avec l'INTERPRÉTEUR LOGO ont montré la pertinence de la représentation choisie pour communiquer une image plus cohérente du fonctionnement de l'interprète LOGO, mais l'usage trop limité de ce langage dans des formations informatiques plus approfondies n'a pas permis de tester réellement l'intérêt de l'environnement complet pour faire comprendre des concepts avancés de programmation (comme la récursivité terminale)<sup>3</sup>, bien que sa conception l'y destinait.

Depuis lors, l'idée de programmation visuelle a été utilisée dans de nombreuses réalisations, notamment dans des programmes pour faciliter l'apprentissage du langage LISP<sup>4</sup>.

### 1.1.2. Conception et usage des micromondes en éducation

Si l'usage de LOGO se développait peu à peu dans quelques écoles et si des formations pour les enseignants commençaient à être dispensées (sous forme soit de stages lourds d'une année, soit de formations plus légères à destination des enseignants du premier degré), il apparaissait nécessaire de concevoir des situations pertinentes, voire de créer de nouveaux environnements ou micromondes pour tirer bénéfice des potentialités éducatives du langage. LOGO s'y prêtait plutôt bien, puisque l'un de ces points forts était la facilité qu'il offrait pour créer des surcouches incluant les primitives de base et donc pour adapter le langage aux utilisateurs ou aux tâches qu'on leur assigne.

Ces travaux s'inscrivent dans une action d'études et de recherches portant sur la conception et l'expérimentation d'environnements informatiques autour de LOGO destinés à susciter une démarche constructive dans l'approche des objets manipulés. Ils eurent pour cadre l'INRP (Institut National de Recherches Pédagogiques, direction de programmes n°5, groupe coordonné par Frédéric Robert) et des activités de formation d'enseignants (initiale et continue pour le premier degré, et dans les stages lourds). J'ai ainsi été amené à concevoir et réaliser un certain nombre de micromondes LOGO, pour les élèves et pour la formation des maîtres. Ils eurent des fortunes diverses. Certains se sont diffusés et ont été utilisés de manière intensive dans les écoles, d'autres ont eu un usage beaucoup plus limité voire uniquement cantonné à la formation des enseignants.

En continuité des simulations actives pour l'enseignement de la programmation, LOGO étant un langage puissant incorporant des concepts de programmation avancée et permettant facilement de créer des surcouches par ajout de primitives ou modifications des primitives existantes, il paraissait être une base solide pour un apprentissage de la programmation. Plusieurs paradigmes différents ont ainsi pu être explorés, la programmation par règles, que ce soient des règles de production, de réécriture ou des clauses, et la programmation objet.

FORMATEXTE est un formateur de texte qui a diverses particularités comme d'intégrer complètement les fonctions LOGO, disposer de fonctions de remplacement étendues (remplacer un caractère par un dessin, jouer sur les couleurs, etc.). Il a été utilisé assez longuement dans plusieurs écoles (alors que les traitements de texte n'y étaient pas encore très répandus et n'offraient pas de fonctionnalités équivalentes).

---

<sup>3</sup> Notons qu'une version simplifiée de ce logiciel a été intégrée dans les valises de logiciels distribuées dans le cadre du plan Informatique pour tous (IPT).

<sup>4</sup> Avant la disparition du Centre Mondial de l'Informatique, un projet autour de la récursivité en LISP avait ainsi débuté. Il a dû être interrompu.

PROD ([3], p. 213-221) est un système de production, orienté vers les transformations morphologiques : mise au féminin d'un adjectif, pluriel d'un nom, formation des adverbes, etc. Dans les règles de production, la partie condition porte sur la terminaison d'un mot ou son appartenance à une liste définie, la partie action précise la transformation à effectuer sur les mots. On écrit ainsi des règles du type :

*si term? "f alors remplace "f"ve*  
(si le mot est terminé par "f alors remplacer "f par "ve , exemple vif -vive)

Au départ, le système n'a aucune connaissance, le but est d'écrire de telles règles et d'ajouter des cas particuliers (on précise alors le mot et son transformé) pour prendre en compte le maximum de mots. C'est en fait une sorte de micro système expert adapté aux élèves des classes primaires. Il fournit un exemple de programmation déclarative (ou presque déclarative puisque l'ordre des règles intervient), en liaison avec des connaissances élémentaires ne traitant pas d'une classification. Il permet en outre de mieux comprendre le fonctionnement de certains aspects de la langue et de montrer comment créer un logiciel de test capable d'expliquer ses réponses (par l'élaboration de tests utilisant les règles produites sur un ensemble de mots spécifiés, montrant aussi qu'une machine peut écrire des absurdités, en appliquant des connaissances fausses qu'on lui a rentrées, et dont on peut retrouver l'origine). Le repérage de l'erreur peut s'effectuer ici à l'aide d'un dictionnaire.

PROLOGO, interprète PROLOG construit dans un environnement LOGO, permet à la fois de disposer de LOGO et d'un moteur de type PROLOG. Ce moteur, étant écrit en LOGO, est accessible à l'utilisateur afin d'en mieux comprendre le fonctionnement et effectuer certaines transformations ou adaptations. LOGO apporte un éditeur de clauses et des possibilités graphiques (par exemple pour programmer un robot du type azertyop inspiré de SHRDLU de Winograd). Cet environnement complète PROD (vu comme un moteur d'ordre 0).

Ces trois environnements, FORMATEXTE, PROD et PROLOGO ont été diffusés par le Centre National de Documentation Pédagogique. Seul le premier aurait rencontré un certain succès.

Un autre environnement de programmation par règles est directement inspiré des travaux de Rowe (1976) et de LOGOGRAM (Robert, 1986), un environnement de réécriture plutôt destiné à l'apprentissage de la langue et à la maîtrise de la grammaire. La reprise du modèle de Rowe m'a permis de créer un modèle simple de réécriture, nommé REEC, destiné à la génération d'énoncés de problèmes de mathématiques avec leur solution. L'idée est d'approcher la formalisation d'une manière duale : on part du modèle mathématique et on l'enrichit par des réécritures successives pour produire un énoncé. Si cet environnement est intéressant en formation d'enseignants, ces derniers sont rarement convaincus de l'intérêt de la démarche associée pour des enfants jeunes. Bien que, techniquement, la déclaration des réécritures ne pose pas de problème dans cet environnement simplifié, à ma grande surprise, les enseignants demandent invariablement une façon de transformer la génération en un test de connaissances (demander à un élève la production du résultat). Ils ne semblent pas croire à l'efficacité d'une telle approche avec les élèves.

Enfin, pour explorer une forme de programmation différente de la programmation par règles, MULTITORTUES, sorte de langage objet mono-classe (la classe *tortues*), a été réalisé. Son intérêt est de pouvoir manipuler directement plusieurs tortues (faire des courses ou des

poursuites, comme la courbe du chien, montrer les isométries, etc.)<sup>5</sup>.

```

POUR POURSUITE
MAITRE [AV 3]
DONNE "PM ENVOIE "POS "MAITRE
CHIEN [FCAP VERS :PM AV 5]
SI PLP? DISTANCE "MAITRE "CHIEN 4 [STOP]
POURSUIE
FIN
    
```

Figure 2 : Exemple du programme de la « courbe du chien » avec MULTITORTUES

Notons que dans tous ces exemples, la programmation sous une forme ou sous une autre reste centrale. Avec le rejet progressif de la programmation dans l'éducation à partir de la fin des années quatre-vingt, leur pertinence s'en est trouvée très amoindrie. D'autres exemples de programmes Logo sont décrits dans [4].

Une autre série de programmes a plutôt été conçue pour fournir des activités faciles à installer en formation ou dans les classes, qu'elles soient créatives comme LOGO-CONTE, orientées vers l'entraînement comme CIBLES et FLÈCHES ou destinées à des enfants plus jeunes comme MINILOGO.

LOGO-CONTE permet de construire un conte illustré. Le travail s'effectue en deux étapes. La première consiste à créer l'ensemble des personnages et des éléments de décor nécessaires à la réalisation de l'histoire. La seconde est la création des scènes incorporant les éléments construits lors de la précédente phase. Aucune programmation n'est ici nécessaire, des utilitaires permettent de positionner la tortue directement sur l'écran par pointage avec le crayon optique et d'exécuter un dessin à la taille désirée (à l'aide de deux procédures GROSSIS et DIMINUE<sup>6</sup>). La scène créée est sauvegardée et des textes sont écrits dans l'éditeur inclus dans LOGO. Les scènes et textes associés sont sauves avec un numéro d'ordre ce qui permet un chaînage automatique des éléments construits. La production finale est une histoire que l'on peut faire défiler à l'écran ou imprimer. LOGO-CONTE est un exemple d'environnement favorisant la coopération des apprenants en vue d'une production collective, chacun pouvant intervenir selon ses possibilités. En créant un personnage, chacun participe à la création et est amené à utiliser le travail des autres dans la réalisation de la scène dont il a la responsabilité. Un des atouts du nanoréseau, l'ouverture vers des formes de coopération entre les apprenants, fortement affirmé par ses concepteurs (Loosfelt, 1986), est ici mis en exergue.

MINILOGO est un programme classique grâce auquel on pilote la tortue en appuyant sur des touches associées à des actions (transposition de la tortue plancher), intégrant la possibilité de créer des sortes de macro, c'est-à-dire d'associer une construction à une nouvelle touche. Cet environnement a été très utilisé car il permet de travailler dès la fin de la maternelle ou dans les classes primaires. De même CIBLES et FLÈCHES sont des environnements d'entraînement à l'évaluation des mesures d'angle et de distance. Leur spécificité est d'offrir de nombreux

<sup>5</sup> De nombreuses extensions « objet » de LOGO ont été créées, notamment par Isabelle Borne (1983) et Drescher (1987).

<sup>6</sup> Pour construire ces deux procédures, on redéfinit les primitives AV et RE en ajoutant un coefficient multiplicateur :  
 DEFINIS "AV [[L] [AVANCE :#H \* :L]] DEFINIS "RE [[L] [RECULE :#H \* :L]] DONNE "#H 1  
 Ensuite, on détermine la valeur de ce coefficient que l'on passe comme une variable d'environnement :  
 POUR GROSSIS :N :L                    POUR #EX :#H :L  
 #EX PROD :N :#H :L                    EXEC :L  
 FIN    FIN

paramétrages, notamment de travailler avec une tortue visible ou non, et de garder les trajets effectués pour être à même de les comparer.

Au delà de cette énumération, il est intéressant de constater que les plus utilisés dans les classes ont été MINILOGO, car il permet de travailler avec des élèves très jeunes (CP ou CE1, voire grande section de maternelle) et CIBLES, car il se présente comme un jeu. LOGO-CONTE, très apprécié en formation, essentiellement parce qu'il permet des travaux en collaboration et conduit à une production montrable, n'a pas été très utilisé, sans doute parce qu'il nécessite plusieurs séances et un suivi pas toujours aisé à effectuer.

Alors que les environnements plutôt dédiés à des formes de programmation ont surtout été utilisés en formation, afin d'explorer de manière simple d'autres paradigmes de programmation que la programmation procédurale, ces derniers logiciels ont pu être utilisés autant en formation que dans les classes. Si PROD a été testé dans une classe, la démarche qu'il suscite s'adapte relativement malaisément à des travaux dans des salles spécialisées comme nécessite le nano-réseau. Sa place est plus dans la classe, comme une mémoire collective, que l'on consulte, corrige et complète au fur et à mesure que l'on rencontre de nouveaux mots.

Pour les différents environnements qui viennent d'être énumérés, l'un des problèmes était d'élaborer des situations d'usage en formation d'enseignants ou dans les classes. Nécessitant un certain apprentissage, au moins des primitives spécifiques associées à chacun de ces environnements, il fallait que cet apprentissage ne soit pas trop long pour ne pas détourner les apprenants des objectifs poursuivis. Il pouvait se justifier par une première approche de certaines notions de programmation. Mais, comme nous l'avons déjà dit, l'abandon de la programmation a peu à peu rendu ces environnements obsolètes.

Au niveau du mode de conception, il s'agissait le plus souvent de développer une idée personnelle ou d'adapter des environnements plus ou moins similaires. Les caractéristiques des environnements construits n'étaient pas fondées sur des études des besoins des utilisateurs et ne prenaient pas en compte les compétences des enseignants censés les mettre en œuvre, d'autant moins qu'ils étaient aussi conçus pour les former. Indépendamment du problème peut-être conjoncturel du repli de la programmation, leur succès limité s'explique en partie par le caractère sans doute trop techniciste de la démarche adoptée. La concrétisation d'une idée conduisait à un produit. Il fallait ensuite convaincre les usagers potentiels de se l'approprier et de l'intégrer dans leurs pratiques. Le projet FILICOUPEUR s'est appuyé sur un partenariat plus affirmé avec les utilisateurs et prescripteurs potentiels.

### 1.1.3. Le FILICOUPEUR

Le FILICOUPEUR est dispositif constitué d'un fil chauffant pouvant découper des plaques de polystyrène et se déplaçant suivant deux axes orthogonaux ([46]). Sa genèse remonte au deuxième colloque LOGO au cours duquel Martial Vivet (1982) avait présenté son projet de chariot de cariste (CARISTO). Il s'agissait d'une part d'amener la technologie dans les écoles et, d'autre part, de proposer de nouveaux micromondes intégrant des environnements techniques directement pilotables et programmables par les enfants.

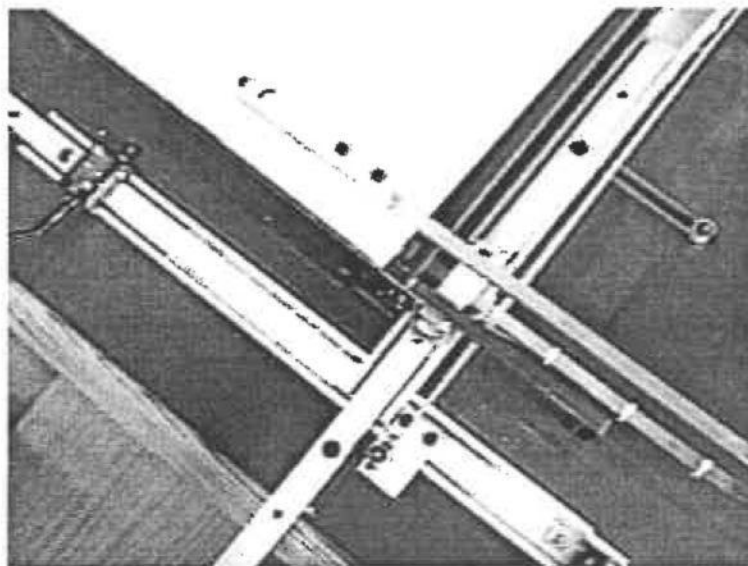
La conception s'est déroulée en plusieurs phases et a associé différents partenaires : des instituteurs en formation initiale à l'école normale de Bonneuil et deux groupes d'étudiants du CFPET (Centre de formation des professeurs de l'enseignement technique). Deux cahiers des

charges ont été élaborés, le premier concernant le filicoupeur, le second une grue pilotable dont la pince était remplacée par un aimant.

La première année (1984-1985) a consisté dans l'étude et dans la réalisation de maquettes uniquement au plan mécanique avec des allers et retours pour préciser le cahier des charges (contraintes de coût, de précision, de transparence, etc.).

La deuxième année (1985-1986) a permis aux étudiants du CFPET de traiter les parties électronique et informatique, l'ensemble de leur réalisation correspondant à leur projet de fin d'étude validé pour leur examen de sortie. Ils ont en outre étudié les problèmes de production (petite industrialisation). Un groupe d'élèves-instituteurs a travaillé parallèlement sous ma direction pour définir les contraintes de pilotage informatique en vue d'une utilisation pédagogique. Différentes rencontres de mise au point ont été organisées. Plusieurs logiciels ont été conçus : une simulation de fonctionnement de la grue sur écran et divers programmes de pilotage.

La troisième année (1986-1987) a été consacrée à l'expérimentation dans les écoles des prototypes réalisés. Si le filicoupeur s'est avéré intéressant, la grue s'est révélée décevante, essentiellement en raison de problèmes mécaniques (certains frottements inévitables rendaient le pilotage très approximatif), en dépit d'une grande richesse sur le plan physique et technologique (les transformations de mouvement étaient toutes différentes et très visibles). Cette grue a été abandonnée.



**Figure 3 :** *vue de dessus du FILICOUPEUR*

La quatrième année (1987-1988) a permis de poursuivre les travaux entrepris dans les écoles et une première série de filicoupeurs a été partiellement réalisée par des élèves de seconde d'un lycée technique sous la direction d'un des concepteurs du CFPET. Ce dernier a dirigé une fabrication de quatre filicoupeurs en partant du prototype initial.

La cinquième année (1988-1989) a conduit à une première généralisation puisque cinq machines ont pu voyager dans diverses écoles du Val de Marne. De nombreux projets intéressants se sont déroulés dans différents lieux, notamment la réalisation de tangrams, de pavages et de cartes de géographie (construction de la carte d'une région de France en relief en représentant les courbes de niveau).

Une société, spécialisée dans la production d'équipements et de machines pour les lycées techniques, s'est intéressée au projet, a commencé à réaliser certaines adaptations, mais faute de marché, a ensuite renoncé. Ainsi, ce projet s'est arrêté à la phase d'industrialisation. Comme pour de nombreux projets de recherche, la phase d'extension a conduit à sa disparition.

Sur le plan de la réalisation, le filcoupeur constituait un environnement d'apprentissage à la fois simple et riche, de par la simplicité de la géométrie de pilotage (deux degrés de liberté), son caractère orienté vers la production fonctionnant d'une manière assez proche d'une imprimante ou d'une table traçante (il était d'ailleurs possible de remplacer le fil par un stylo), sa précision (de l'ordre du millimètre ce qui permettait une bonne adéquation entre les simulations à l'écran et les pièces découpées), et son ouverture (par extension d'une couche de pilotage).



Figure 4 : exemple de découpe d'un bateau avec le FILICOUPEUR

Dans le projet FILICOUPEUR, la conception a été largement participative. Elle s'est déroulée sur une période assez longue, compte tenu des contraintes des différents acteurs. Mais le maintien au fil du temps d'un tel projet n'a pas été sans difficulté et, vu l'échec de l'industrialisation, nous avons buté sur des problèmes de maintenance. La rareté des machines disponibles a contraint à ne travailler qu'avec des personnes fortement motivées, garantissant toutefois un usage éducatif pertinent dans le cadre de projets de production avec des groupes d'enfants. Les différents enseignants expérimentateurs ont fait preuve d'une grande imagination dans la recherche de situations innovantes et motivantes pour les enfants, situations qui n'avaient pas été entrevues lors de la phase initiale d'élaboration des maquettes. Ceci tend à montrer qu'un environnement convenablement conçu, autour de quelques situations d'apprentissage de référence, et suffisamment simple et ouvert, permet aux enseignants d'exercer leur créativité pédagogique.

Pour dresser un bilan de ce premier axe de recherches centré sur la réalisation

d'environnements d'apprentissage ouverts, on peut dire qu'il a effectivement montré l'intérêt des activités de production et des projets coopératifs en classe, bien qu'ils nécessitent des enseignants motivés et créatifs, disposant de certaines compétences techniques. De telles activités, parfois disciplinaires, ont pu être menées dans des écoles élémentaires (et dans des classes de SES) dans lesquelles elles peuvent être plus facilement organisées qu'en collège ou en lycée. Elles ont existé en tant qu'innovations et ont disparu sous l'effet de différentes contraintes. Peu ont perduré.

## 1.2. Hypertextes et tuteurs intelligents

Au milieu des années quatre-vingt, le groupe didacticiels du Centre Mondial de l'Informatique a élargi son champ d'investigation en s'intéressant aux tuteurs intelligents, tout en conservant une vision de l'apprentissage assez voisine des micromondes de type LOGO. Les recherches se sont en effet attachées à intégrer des modes d'aide et de guidage dans les micromondes, l'apprentissage par la découverte ne semblant pas donner les résultats escomptés, des formes de découverte guidée apparaissant meilleures. En outre, des techniques hypertextuelles, en filiation certaine avec les idées sous-jacentes aux micromondes, ont été intégrées aux environnements développés. L'essentiel de ces recherches sont décrites dans ma thèse ([3]). Elles s'appuient sur le système de développement SEVE.

### 1.2.1. SEVE : système auteur intégrant PROLOG et un générateur hypertexte

Le système SEVE ([51], [3], p. 92-93), conçu au Centre Mondial de l'Informatique dans le cadre du groupe didacticiels dirigé par Gérard Weidenfeld, est un système auteur que l'on peut qualifier de complet et complexe. Sa conception repose sur l'idée de disposer d'un environnement adaptatif pour expliquer des textes, notamment des documents de nature administrative, à diverses classes d'utilisateurs. L'expérience a montré qu'une telle fonctionnalité s'avère utile dans bien d'autres contextes, par exemple pour aider des élèves bloqués dans des activités de résolution de problèmes à cause d'une incompréhension de l'énoncé.

SEVE, écrit en langage C, présente les caractéristiques suivantes :

- un gestionnaire de documents structurés hiérarchiquement avec des pages, des chapitres et des sections,
- des champs de saisie pouvant s'étendre sur plusieurs lignes avec un éditeur associé,
- un système hypertexte et un système de fenêtres, des ancres, visualisées par des surbrillances, pouvant être associées à des entités (mots ou groupes de mots) et des champs,
- des points de vue associés à l'hypertexte (attributs des liens), permettant de changer les explications et de transformer dynamiquement le document par la visualisation des ancres,
- un langage PROLOG écrit également en C, communiquant complètement avec le reste du système pour les entrées/sorties, des programmes pouvant être attachés à des touches, des champs ou des entités,
- des gestionnaires de menus et de bases de données.

Il ne s'agit donc en aucun cas d'un langage auteur au sens classique du terme mais plutôt d'un système de développement riche et ouvert intégrant un langage de programmation complet et puissant (PROLOG) et un générateur d'hypertextes très simple d'emploi, l'environnement général étendant d'une manière appréciable, tout au moins à l'époque (au milieu des années quatre-vingt), les possibilités de PROLOG pour les entrées / sorties.

L'hypertexte de SEVE supporte divers types de liens, des liens figés ancrés dans le document sur une entité (un mot ou un groupe de mots) ou associés à des champs. La dépendance vis-à-vis du contexte est assurée par une hiérarchie de dictionnaires (suivant l'arborescence des répertoires) et un attribut associé aux nœuds destinations. La couche PROLOG contrôle éventuellement l'accès aux fiches hypertextes, ce qui permet la flexibilité

des destinations calculées ou déduites<sup>7</sup>. L'hypertexte se présente comme un système de notes récursif (d'où l'appellation de dictionnaires donnée aux fichiers hypertextes). Les notes sont affichées dans des fenêtres munies d'un titre et dont le contenu peut défiler à l'écran. Quand plusieurs notes sont ouvertes, les fenêtres sont automatiquement décalées, la suite des titres reste visible et facilite le repérage.

Une application SEVE est organisée de manière arborescente en chapitres, pages et sections. Les chapitres sont accessibles par des menus, la circulation est libre entre les différentes pages d'un même chapitre. Cependant, un chapitre ne peut donner accès directement à un autre chapitre. Il est nécessaire de remonter à la table des matières. C'est la nature éducative des applications développées avec SEVE qui a justifié ce choix, sans doute erroné, un chapitre pouvant être considéré comme une leçon, dans la perspective initiale du système.

Le système SEVE a permis de réaliser plusieurs applications éducatives dans des domaines très divers comme l'aide à la rédaction d'une démonstration mathématique (ARRIA), un système d'auto-formation au langage PROLOG (APILOG), une aide à la rédaction d'un commentaire composé (LYRE) et à la lecture de textes philosophiques (PHILO) et un système de formation à un progiciel (AIP)<sup>8</sup>. Ces applications fournissent des exemples de diverses formes d'intégration de l'hypertexte dans des outils d'enseignement et illustrent des points de vue complémentaires sur les problèmes de conception. A la fermeture du Centre Mondial de l'Informatique, ces travaux ont été poursuivis au sein d'une société nommée SOFTIA. Nous allons brièvement décrire, au plan de la conception, certaines de ces réalisations. Dans la plupart des cas, je ne dispose que de peu de renseignements sur les usages réels, n'ayant pas eu de contact direct avec les utilisateurs.

#### 1.2.1.1 APILOG

APILOG ([3], p. 93-94), programme d'auto-formation au langage PROLOG, illustre certaines potentialités des livres électroniques. Il se compose d'une partie cours, d'un manuel sur les prédéfinis du langage, d'exemples de programmes complets commentés et d'un environnement de programmation. L'utilisateur apprend PROLOG en écrivant des programmes en PROLOG dans un environnement contrôlé et riche en explications. Le fait d'écrire dans le langage cible règle la plupart des problèmes de plus bas niveau et évite une séparation trop grande entre la phase d'appropriation et la mise en application éventuelle.

L'hypertexte gère l'interface active de lecture et donne une documentation en ligne de tous les prédéfinis (mots de base du langage) et des concepts généraux de PROLOG, accessibles directement pour la conception des programmes. Les points de vue (attributs des liens) permettent de différencier deux profils distincts (utilisateur débutant en informatique ou connaissant déjà un peu de programmation) et de fournir ainsi des explications plus adaptées. Des dictionnaires locaux (attachés à chacun des chapitres) offrent des explications spécifiques à des concepts particuliers. Un éditeur permet d'entrer des paquets de clauses et des requêtes, PROLOG intervient à la fois comme langage cible et comme vérificateur pour les exercices.

---

<sup>7</sup> D'autres systèmes offrent la possibilité de liens calculés (i.e. leur destination est l'objet d'un calcul ou d'une déduction), c'est le cas pour le système StrathTutor (Kibby & Mayes, 1989). Il est aussi possible d'attribuer plusieurs destinations possibles à un lien, des éléments de contexte permettant de choisir une destination dans un contexte donné (ou laisser l'utilisateur faire ce choix).

<sup>8</sup> Des maquettes ont aussi été construites, l'une sur les systèmes experts (avec Monique Baron et Odile Paliès) et une autre sur les probabilités.

Aucune analyse fine des erreurs de programmation n'est effectuée, les vérifications étant essentiellement d'ordre syntaxique.

APILOG, vu comme un produit d'autoformation, fournit un tour d'horizon assez complet du langage PROLOG. L'utilisateur (lecteur / apprenant) n'est pas contrôlé et a toute liberté de se déplacer dans les chapitres, de naviguer dans les explications de l'hypertexte, de regarder les exemples, de faire des exercices, d'écrire des programmes. La documentation propose diverses cartes de circulation et suggère des stratégies (comme aller rapidement aux exercices, chercher les explications en cas de besoin, revenir en arrière, etc.). Elle contient une partie expliquant comment utiliser le programme et insiste sur les nombreux itinéraires possibles.

*« APILOG se présente délibérément comme un environnement ouvert dont vous pourrez « feuilleter » les différentes pages dans l'ordre que vous choisirez. Cette fonctionnalité est particulièrement utile en seconde lecture et vous permettra de réétudier tel phénomène à la lumière de tel autre, d'en approfondir un troisième, etc. »* (Documentation d'APILOG, p. 16)

Nonobstant ces mises en garde, il semble que les premiers utilisateurs aient rencontré des difficultés pour tirer parti de l'ouverture du logiciel. Ainsi, une évaluation rapide, effectuée par deux trinômes à l'Ecole Supérieure d'Electricité durant l'année scolaire 1987-1988 alors que la notion d'hypertexte était encore très peu connue en France, a mis en évidence deux problèmes<sup>9</sup> : la nécessité d'apprendre des nouvelles stratégies de lecture pour utiliser les hypertextes et le fait que le manque de soutien ou de guidage rend l'apprentissage parfois difficile (comme l'apprentissage autonome avec un livre).

La conception, s'inspirant au départ de LISP-TUTOR, se fondant sur une idée d'apprentissage par l'action dans un environnement informatif, s'est basée sur l'organisation d'un manuel classique : cours, exemples, exercices, (plus un catalogue d'exemples expliqués et un environnement de programmation) tout en la dépassant en offrant une grande liberté de navigation. Les expérimentations montrent que cette liberté n'a pas été comprise par les premiers utilisateurs.

La structure d'APILOG est celle d'un cours découpé suivant les prédéfinis, mais intégrant des erreurs caractéristiques. Un essai a été fait afin de différencier dans certaines explications différents profils de lecteur/apprenant grâce à une notion de point de vue associée aux fiches hypertextes. Si cette fonctionnalité résout bien les problèmes techniques, elle s'est avérée très délicate à opérationnaliser du fait d'un manque de connaissances didactiques sur la manière optimale d'aborder les concepts PROLOG selon les connaissances antérieures des apprenants. Le logiciel LYRE s'est également appuyé sur cette notion de point de vue, mais associée à l'analyse même des poèmes et non à un profil de lecteur/apprenant.

#### 1.2.1.2. LYRE

LYRE ([3], p. 95-97) est un système d'aide à l'analyse de textes littéraires en vue de la rédaction d'un commentaire composé. Il a été conçu avec Mme Marina-Médiavilla sur la base

<sup>9</sup> Les deux groupes ont rencontré des difficultés, en partie dues à une ergonomie insuffisante du programme, mais surtout liées à des stratégies de travail peu adaptées. Ils ont adopté en effet une démarche analytique de lecture linéaire, page par page, antinomique de la conception même du logiciel. S'ils ont en général apprécié les exemples et les exercices, ils n'ont pas géré leur parcours, revenant rarement en arrière et n'explorant jamais en avant. Un groupe a fait une étude détaillée en suivant systématiquement le déroulement séquentiel du programme, pour être sûr d'en évaluer toutes les possibilités. Il a ainsi perdu beaucoup de temps à parcourir en tous sens des chemins dans l'hypertexte. Aucun n'avait lu la documentation accompagnant le logiciel.

d'une méthode qu'elle a mise au point et qu'elle enseigne depuis plusieurs années. Selon elle, écrire un commentaire composé consiste à rendre compte des procédés employés par un écrivain pour communiquer, au sens premier du terme, rendre communs à celui qui écrit et à celui qui lit une émotion, un sentiment, une idée. Il s'agit ainsi de trouver des remarques sur la forme d'un texte, les procédés d'écriture qui permettent de communiquer, non seulement une information, mais une émotion : la signification rendue sensible, sons et sens indissolublement unis. Cette méthode se décompose en trois moments : la lecture méthodique du texte, qui s'effectue un crayon à la main pour noter au fur et à mesure les résultats obtenus, l'élaboration du plan, pour lequel on peut découper et regrouper les diverses remarques glanées durant la première étape, et la rédaction du commentaire composé.

Le logiciel LYRE fournit un environnement favorisant l'apprentissage et l'application de cette méthode. Il illustre l'idée d'éclairage, notamment développée par Nanard (1995) à propos de l'hypertexte. Il considère en effet un hypertexte comme une « vue », un éclairage particulier, plusieurs éclairages différents pouvant être projetés sur un même ensemble d'informations sans l'affecter. Sur un poème ou un texte littéraire, LYRE offre divers points de vue de lecture standards correspondant à des formes d'analyse des textes littéraires (étude du lexique, des images, des niveaux phonique et prosodique, de la syntaxe, de la sémantique), des possibilités de croiser ces divers points de vue en les visualisant sur le texte initial et d'effectuer une recherche transversale à l'aide d'un point de vue dit global. La figure 6 illustre la dynamique de consultation dans LYRE sur le poème de Rimbaud, « Le dormeur du val », avec les points de vue *IMAGES* et *GLOBAL*. Les expressions en surbrillance ouvrent des explications dans le point de vue courant, le point de vue dit *GLOBAL* permettant d'accéder à tous les points de vue implantés sur le texte, ancrés sur les différentes expressions.

Le point de vue *IMAGES*

**LE DORMEUR DU VAL**

C'est un trou de verdure où chante une rivière  
Accrochant follement aux herbes des haillons  
D'argent, où le soleil, de la montagne fière,  
Luit : c'est un petit val qui mousse de rayons.

Un soldat jeune, bouche ouverte, tête nue,  
Et la nuque baignant dans le frais cresson bleu,  
Dort ; il est étendu dans l'herbe, sous la nue,  
Pâle dans son lit vert où la lumière pleut.

Les pieds dans les glaïeuls, il dort. Souriant comme  
Sourirait un enfant malade, il fait un somme :  
Nature, herce-le chaudement : il a froid.

Les parfums ne font pas frissonner sa narine ;  
Il dort dans le soleil, la main sur sa poitrine  
Tranquille. Il a deux trous rouges au côté droit.

Arthur RIMBAUD

Le point de vue *GLOBAL*<sup>10</sup>

**LE DORMEUR DU VAL**

C'est un trou de verdure où chante une rivière  
Accrochant follement aux herbes des haillons  
D'argent, où le soleil, de la montagne fière,  
Luit : c'est un petit val qui mousse de rayons.

Un s  
Et l  
Dort  
Pâle  
Les  
Son  
Nat

Point de vue :

HOMME  
NON-MOUVEMENT  
REJET  
SYNTAXE

verte, tête nue,  
e frais cresson bleu,  
'herbe, sous la nue,  
la lumière pleut.

ort. Souriant comme  
, il fait un somme :  
: il a froid.

Les parfums ne font pas frissonner sa narine ;  
Il dort dans le soleil, la main sur sa poitrine  
Tranquille. Il a deux trous rouges au côté droit.

Arthur RIMBAUD

**Figure 6** : deux exemples de point de vue dans LYRE

Grâce au point de vue *GLOBAL*, on voit que le mot « Dort » fait partie des champs lexicaux « Homme » et « Non-mouvement ». Il est également en « Rejet » et a des particularités au plan de la syntaxe. En cliquant sur le point de vue correspondant on accède à des informations contextuelles.

Le travail de conception de LYRE s'est présenté comme une rencontre entre des idées générales d'un auteur ayant développé une méthode particulière et un système offrant des

<sup>10</sup> Toutes les expressions expliquées suivant un point de vue quelconque sont mises en surbrillance. En cliquant sur un mot, ici le verbe « Dort », on peut choisir l'explication liée à un point de vue particulier.

fonctionnalités qu'on pourrait croire conçues de façon *ad hoc* alors qu'elles sont très générales. Cette correspondance a permis de concevoir un système d'utilisation très libre, axé sur l'apprentissage méthodologique, évitant le recours à un système de type EAO crowdérien (c'est-à-dire correspondant à un cycle exposition, question, réponse, analyse de la réponse puis branchement), trop vite souhaité par les enseignants. Le logiciel PHILO, élaboré à la suite de LYRE n'a pas pu complètement éviter un tel écueil.

On peut remarquer l'importance de la notion de point de vue dont nous venons de présenter deux applications, associée à des types de lecture dans LYRE et à des explications différenciées suivant le profil de l'utilisateur dans APILOG (voir aussi [3], p. 223-230 ; [13] ; [1], p. 263). Dans ce dernier programme, cette notion permet aussi de sélectionner les explications associées à un programme PROLOG suivant l'instanciation des variables (le comportement d'un programme incluant des générations et des tests peut radicalement changer, un même code étant utilisé dans des contextes distincts). L'affichage des ancres par surbrillance permet de donner une certaine dynamique aux textes présentés. Cette notion de point de vue est loin de se limiter au domaine des hypertextes. Elle apparaît également dans les recherches sur les tuteurs intelligents (Moysse, 1989) : mise en évidence dynamique d'un objet ou d'une représentation particulière d'un objet dans le cadre d'un but spécifique. On représente la même information sous différents formalismes d'où l'obtention de modes complémentaires d'analyse qui peuvent être requis dans un contexte donné, référant aux mêmes objets mais les identifiant et les structurant de façons différentes. ARRIA, développé aussi avec le système SEVE, nous fournit un exemple dans lequel l'aspect hypertexte prend une importance moindre en regard des techniques d'intelligence artificielle.

#### 1.2.1.3. ARRIA et la rédaction des démonstrations

ARRIA (Aide au Raisonnement et à la Rédaction, Intelligence Artificielle) est un système général de développement destiné à aider des apprenants dans des tâches incluant des raisonnements et leur communication. Il s'appuie sur une première réalisation de type scolaire concernant l'apprentissage de la rédaction d'une démonstration mathématique, réalisation décrite dans plusieurs articles ([3], p. 113-143 ; [45] ; [41]).

ARRIA a concrétisé la rencontre entre des préoccupations d'enseignants de mathématiques ayant imaginé un scénario et du système SEVE, dont les caractéristiques (association d'hypertexte et de PROLOG) permettaient un développement rapide. Le scénario, document papier précisant les idées générales et décrivant quelques interactions, a été bâti autour de l'idée de puzzle. Une démonstration correcte est décomposée en fragments élémentaires qui sont proposés en vrac à l'élève. Ce dernier doit reconstruire une démonstration en utilisant ces fragments et des conjonctions ou des signes de ponctuation. Pour cela, trois étapes successives sont proposées :

1. Lecture active de l'énoncé avec diverses aides accessibles. En particulier, un énoncé « bis » donne des indications stratégiques sur une démonstration possible.
2. Typage des fragments fournis, selon quatre classes : hypothèse ou donnée, conclusion, outil (théorème, résultat du cours), résultat intermédiaire.
3. Rédaction effective en utilisant les fragments précédents, les conjonctions "et", "ou", "or", "car", "donc" ("mais" et "ni" ont été supprimées), la virgule, le point-virgule et le point. La démonstration une fois réalisée peut être imprimée.

S'agissant d'enseigner des démarches dans un domaine réputé difficile, la rédaction des démonstrations, une forme d'interaction centrée sur l'activité de l'utilisateur, aboutissant à une

production a été privilégiée. La machine a un rôle mixte, à la fois tuteur et assistant. Elle doit pouvoir résoudre, au moins partiellement<sup>11</sup>, les exercices qui se posent à l'apprenant. La doter de telles capacités excluait l'usage des langages auteurs, ces derniers n'offrant pas les outils suffisants pour de tels développements.

La réalisation d'ARRIA, logiciel issu d'un scénario « labelisé » par le Ministère de l'éducation nationale, a mis en évidence quelques points épineux<sup>12</sup> liés à la nécessaire réflexion sur la nature même de la démonstration dans le contexte scolaire, sur son mode d'appropriation par les élèves et à la formalisation des rédactions admissibles. En effet, nombre d'éléments cachés dans le scénario ont dû être explicités dans la construction du logiciel.

Si la difficulté d'extraire les connaissances des experts est bien connue des cognitivistes, la question est de nature différente s'agissant de l'enseignement. Comment différencier ce qui a trait aux connaissances de ce qui est lié aux méthodes d'enseignement ? En fait, ces dernières n'ont pas à être explicitées complètement. Ce sont des sortes de « trucs » dont la validité est garantie par un enseignant. Les « pirouettes » et les imprécisions sont permises, puisqu'elles restent sous contrôle de l'enseignant, elles n'ont pas de caractère institutionnel et n'ont rien à voir avec les connaissances censées être acquises par les élèves. Or, les méthodes, dès qu'elles sont implantées en machine, doivent être formalisées entièrement, elles prennent alors un autre statut et peuvent être testées. Trois types de problèmes émergent alors :

- un problème didactique (auquel le scénario apporte une réponse) lié aux modes d'apprentissage de la démonstration,
- un problème épistémologique sur la nature de la démonstration et sur la reconnaissance des rédactions correctes et incorrectes (les auteurs imaginaient des listes exhaustives de rédaction admissibles),
- des problèmes d'utilisation par les enseignants.

En effet, la démonstration n'a pas de statut scolaire ; le cours de mathématiques ne la définit pas. Face à un texte d'élève, l'enseignant décide si c'est acceptable ou non en ne fournissant que des justifications locales. En gros, l'élève ne sait pas ce qu'est une démonstration tandis que le professeur est capable d'en reconnaître une. Ainsi la démonstration scolaire n'est pas celle du mathématicien, qui s'inscrit dans une communauté de pairs, mais un exercice, dont la finalité reste souvent obscure, évalué par une autorité supérieure dans le cadre de contraintes sociales.

Dans une perspective logique, la démonstration est généralement vue comme une suite de propositions commençant par des prémisses, utilisant des théorèmes et appliquant le *modus ponens* aux propositions successives pour construire une chaîne logique des prémisses aux conclusions. Cette vision linéaire de la démonstration en masque deux aspects importants : sa structure d'arbre et le fait que l'on peut travailler aussi bien des hypothèses vers la conclusion que de la conclusion vers les hypothèses.

Dans une perspective pragmatique, on sépare habituellement la production d'une démonstration en deux phases : trouver un plan, traduire ce plan dans une preuve effective. La

---

<sup>11</sup> ARRIA ne résout pas, à proprement parler, les exercices proposés, mais il est capable de générer et de vérifier toutes les rédactions obéissant à certaines règles, sur la base des relations entre les fragments qui lui ont été données. Plutôt que résolveur, l'expression semi-résolveur paraît plus adéquate.

<sup>12</sup> Voir [39] pour une réflexion sur la conception et les modes d'usage du logiciel et [9] qui explicite le cycle de conception du produit.

première phase correspond à la recherche d'un chemin plus ou moins complet reliant les hypothèses et la conclusion, la deuxième étant la traduction de ce chemin dans un langage pseudo-mathématique. Ce découpage, s'il reflète bien les moments différents dans la production d'une démonstration, peut conduire à une distinction abusive du type fond/forme. En effet, on a trop tendance à considérer la première phase comme seule relevant d'une intelligence créative, la deuxième étant une simple transcription mécanique. Ceci est sans doute vrai pour ceux qui connaissent parfaitement le rôle et l'écriture de la démonstration, mais sûrement pas pour ceux qui n'ont pas encore attachés de signification claire à cette notion.

Si la séparation en deux phases, phase de résolution (recherche d'un chemin) et phase de rédaction (traduction de ce chemin dans une preuve effective), paraît légitime, car les tâches qu'elles impliquent ne sont pas de même nature du point de vue cognitif, on peut se demander s'il est possible de réussir la première phase sans comprendre la deuxième ou si la maîtrise de cette dernière phase a une influence sur les aptitudes pour résoudre la première. Les études réalisées par Duval et Egret (1989) ont apporté des éléments de réponse, conférant une certaine validité didactique au scénario à la base d'ARRIA<sup>13</sup> : « Tout se passe comme si les élèves qui ont appris à maîtriser le jeu de l'organisation déductive disposaient d'un cadre pour interpréter correctement, pour généraliser des procédures rencontrées et pour contrôler les solutions obtenues. »

Pour vérifier les démonstrations, il a fallu créer une grammaire, définir des formes de rédaction acceptables, éléments qui n'apparaissent pas de manière classique dans l'enseignement, ce qui a amené certaines difficultés. En effet, les techniques utilisées et les connaissances représentées dans ARRIA n'étaient pas celles des enseignants. Elles n'avaient pas de caractère institutionnel ce qui rendait leur usage suspect. Il n'y a pas de consensus sur les contraintes de rédaction, et ces dernières correspondent à des positions individuelles censées être contrôlées par la compréhension qu'ont les enseignants des raisonnements effectués par les élèves. D'un autre côté, les réductions imposées par ARRIA et, plus particulièrement, la pauvreté des rédactions possibles pouvaient être jugées trop contraignantes. Or, il s'agissait ici plutôt d'intégrer l'utilisation du logiciel dans des situations pertinentes, le travail sur la démonstration ne pouvant en aucun cas se limiter à des séances avec le logiciel. Loin d'imposer une certaine forme de rédaction acceptée par la machine, ne constituant qu'un éclairage ou qu'une étape, il était suggéré d'améliorer, de transformer, de réécrire les démonstrations produites. De nouveaux modes d'usages étaient à inventer.

L'idée essentielle d'ARRIA est dans la séparation effective entre l'organisation déductive et la recherche d'une solution et se traduit dans la réalisation d'une sorte de puzzle. Son mode de conception et de création n'a pas consisté à faire rentrer un contenu dans des interactions informatiques générales prédéfinies (mode de création codifié) mais plutôt en une rencontre entre informatique et discipline nécessitant réinterprétation et reconstruction. Les formes d'interaction sont radicalement nouvelles, les contraintes de production (par les élèves) sont spécifiques mais ouvrent des voies intéressantes. On ne se situe pas dans le cadre d'une forme de transposition informatique, mais on est conduit à la formulation de nouvelles connaissances.

Le savoir scolaire est objet de diverses négociations qui le rendent le plus souvent inefficace, incomplet, incohérent, instable. Les connaissances intégrées aux systèmes ne sont

---

<sup>13</sup> Validation toutefois *a posteriori* puisque ces études ne nous étaient pas connues au moment du développement du logiciel.

pas les connaissances des enseignants. La bonne question à poser est de savoir quelles connaissances sont nécessaires pour utiliser de manière productive ces systèmes informatiques ? Quelles nouvelles connaissances doivent avoir les enseignants, quelles connaissances les élèves doivent-ils acquérir ? A titre de comparaison, les manuels scolaires sont des ressources intégrés depuis longtemps dans le travail scolaire. Or, les enseignants savent faire face aux inévitables erreurs qu'ils contiennent (qui ne portent pas sur les éléments de savoir), alors qu'une telle tolérance ne semble pas encore applicable aux logiciels.

Cet exemple illustre les limitations des scénarios conçus par des non-informaticiens dans la production des logiciels d'ÉIAO, vu l'absence de modèle générique des interactions. Dans le cas d'ARRIA, la description complète des chemins devant être suivis par l'apprenant (idée de grammaire remplacée par une énumération exhaustive) n'est pas cohérente avec la création d'applications basées sur une interactivité forte. La notion de script, issue de l'audiovisuel, qui se développe dans les applications de vidéo interactive ne peut s'appliquer dans des domaines où l'interactivité est réellement importante. Dans le processus de conception d'ARRIA, un travail continu avec l'auteur a pallié l'absence de spécifications initiales (ou les imprécisions et erreurs). Le scénario a joué le rôle de document non contractuel permettant d'induire des spécifications plus générales pour guider le développement. Le problème finalement posé est celui des méthodes de conception d'applications insuffisamment spécifiées ou incomplètement spécifiées.

Si ARRIA a connu une certaine diffusion, il n'a pas rencontré un très grand succès. Des changements de programmes en mathématiques ont rendu les exercices qui y étaient inclus, en décalage face aux nouvelles exigences. Un système de création d'exercices a été mis au point (il n'a pas été diffusé). Il restait toutefois aux enseignants un travail important à effectuer : il leur fallait inventer de nouvelles démarches d'apprentissage incluant l'usage du logiciel. Ce travail complémentaire n'a pu être effectué.

#### 1.2.1.4. La conception avec SEVE

L'analyse des différentes réalisations précédentes permet de dresser un premier bilan des problèmes de conception avec le système SEVE ([48]). Ce dernier se révélait être un système complexe au niveau de la conception. Pour l'utiliser pleinement il fallait écrire des hypertextes (il n'y avait pas encore de grande habitude à la fin des années quatre-vingt) et des programmes PROLOG. Partant d'une description abstraite des fonctionnalités du système (les premières applications en donnaient aussi une image), correspondant à des types d'interaction encore peu classiques, il fallait les traduire et leur donner du sens dans un cadre disciplinaire. L'apport de PROLOG ne devenait réellement significatif que si l'on arrivait à donner de la connaissance au système. Malheureusement, dans la plupart des cas, la connaissance nécessaire est rarement formalisée, d'autant moins quand on travaille au niveau des méthodes plutôt que directement au niveau des contenus.

Coopérant avec des enseignants non informaticiens, on s'aperçoit vite que ces derniers ont souvent soit une représentation un peu datée des capacités des ordinateurs, soit une vision trop naïve et futuriste. Ils ont ainsi tendance à essayer de reproduire sur machine leur enseignement habituel et à imaginer des interactions pauvres (style questions-réponses) ou loin des possibilités techniques actuelles (compréhension de toutes les subtilités du langage naturel). Leur vision reste souvent emprunte de comportementalisme, même s'ils s'en défendent.

Le problème revient à trouver des auteurs experts dans leur domaine, capables de proposer des éléments de réponses à des questions réelles d'apprentissage et à tenter de dégager avec eux une solution dans un travail d'équipe. N'ayant pas de structure entièrement prédéterminée à leur proposer (comme dans un langage auteur), il est nécessaire d'effectuer une sorte de transfert de leurs connaissances via un nouveau médium, ce qui entraîne inmanquablement un réexamen de ces connaissances. Ce mode de travail conduit à rechercher une synergie entre SEVE et les domaines traités, ceux-ci devant donner un sens intrinsèque aux fonctionnalités abstraites du système. Il faut en effet se débarrasser de l'illusion de l'universalité d'un système dès qu'on essaye d'intégrer les spécificités d'un thème d'application.

La difficulté de développer des applications a conduit à développer un système plus léger, fondé uniquement sur l'aspect hypertexte et évitant toute nécessité de recours à de la programmation. Une première réalisation nommée HYPERGUIDE ne conservant que les documents et l'hypertexte incluant la notion de point de vue a été menée. La lourdeur rémanente de ce logiciel a conduit à une nouvelle réalisation appelée HYPERINFO, programmée par Paolo Machado, puis une extension gérant des liens graphiques nommée HYPERIMAGE.

Auparavant, je voudrais mentionner un dernier développement à partir de SEVE, qui a été conduit dans un contexte très différent. En effet, les systèmes précédemment décrits étaient destinés à la formation initiale. Une difficulté importante est qu'il est difficile d'influer sur les conditions réelles dans lesquelles ils seront utilisés. L'application AIP, ayant pour cadre la formation professionnelle, fournit un exemple différent. Cette application (Avis d'Incident de Paiement) a été conçue pour la formation des agents des centres de chèque postaux. Un système informatique de traitement de chèques impayés étant mis en place, il s'agissait de former les agents à l'utilisation de ce nouveau système, de faciliter le transfert de leurs compétences dans le traitement manuel à une procédure partiellement informatisée. La conception a consisté à simuler sur micro-ordinateur l'application implantée sur gros système, en y ajoutant des fonctionnalités utiles pour la formation : un ensemble de cas typiques, une couche hypertexte donnant accès à toutes les informations utiles aussi bien sur l'application elle-même que sur la procédure en cours, ses justifications et ses conséquences.

L'assistance au formateur se situait sur plusieurs plans : aide à la manipulation du clavier et à la compréhension des informations affichées à l'écran, étude des cas proposés par référence à la réglementation applicable. Un éditeur permettait de rentrer de nouveaux cas, pour que les formateurs de la poste puissent adapter le logiciel aux situations locales et l'améliorer progressivement. D'après mes informations, ce système a bien rempli les objectifs pour lesquels il avait été conçu, il a été intégré à la formation dispensée<sup>14</sup> en association avec d'autres moyens (formation frontale, diaporama, travail sur l'application réelle). Ainsi, il semble que quand la conception d'un logiciel d'enseignement tient compte du contexte réel d'utilisation, et, mieux, si ce contexte peut être adapté pour l'intégrer de manière satisfaisante, il est possible de réaliser des environnements d'apprentissage utilisables et performants.

### 1.2.2. HYPERINFO et HYPERIMAGE

Si SEVE s'est avéré un système puissant, permettant de créer effectivement des applications dans des domaines variés, son utilisation requerrait des compétences non négligeables. Par

<sup>14</sup> Sa réalisation ayant respecté les délais impartis, le logiciel a pu être opérationnel lors du lancement des formations alors que l'application réelle n'avait pu être livrée.

réduction et focalisation sur une fonctionnalité, les liens par mots entre des blocs d'information, nous avons été amenés à concevoir un générateur hypertexte dont l'une des caractéristiques souhaitées était d'assurer une grande simplicité d'emploi (voir [3], p. 99-101).

HYPERINFO se compose d'un éditeur spécialisé pour la création et de deux modules de consultation. Le premier est résident en mémoire (i.e., il peut être utilisé de manière conjointe avec d'autres applications) et offre un mode d'accès contextuel. Le second n'est pas résident mais offre des possibilités d'intégration (lancement de programmes externes). Une application conçue avec HYPERINFO se présente comme un ensemble de fiches que l'on peut visualiser dans des fenêtres. Chaque fiche comporte des mots-clés, apparaissant en surbrillance et permettant d'ouvrir d'autres fiches. Le module de création permet de réaliser une application intégrant de nombreux liens par simple marquage.

Si de telles fonctionnalités peuvent être maintenant considérées comme classiques, c'était encore loin d'être le cas à la fin des années quatre-vingt. Les applications visées étaient avant tout l'aide en ligne<sup>15</sup> et la documentation, mais plusieurs auteurs l'ont utilisé pour concevoir des applications éducatives, notamment Forte *et al.* (1991) en thermodynamique, Schmitt (1991) en technologie, Noël-Gaudreault (1995) pour l'aide à l'écriture, etc. (voir [8]). Ces réalisations confirment le bien fondé des hypothèses de conception quant à la simplicité d'emploi ainsi qu'une certaine universalité. J'ai abondamment utilisé HYPERINFO en formation d'enseignants pour bâtir des hypertextes dans différents domaines. Nous y reviendrons à l'occasion de la description du projet GRHYP.

Une extension vers le graphique nommée HYPERIMAGE a ensuite été réalisée. Elle permettait de créer des liens ancrés sur des zones graphiques marquées. Ce programme a été intégré dans le produit SERPOLET développé chez Bull puis par la société A6, langage de développement d'applications notamment éducatives. Il est amusant de constater que, partant d'un système puissant mais complexe, SEVE, on a conçu un système HYPERINFO, isolant une fonctionnalité. Ce système a par la suite été étendu pour supporter le graphique puis réintégré dans un système auteur !

### 1.2.3. Diagnostic automatique dans des tâches procédurales

Un tout autre type de travail de conception fut la réalisation d'un système de diagnostic comportemental. BADAUD ([3], p. 161-170) a été élaboré et testé dans deux domaines, les opérations sur les fractions et la chimie quantitative (problèmes sur les réactions chimiques). Son objectif était de rechercher des cheminements plausibles permettant de reproduire le résultat obtenu par un élève, sans s'occuper véritablement de modéliser globalement son comportement (qui est affaire d'interprétation au plan didactique).

La méthodologie dégagée s'est fondée sur une catégorisation des erreurs et comprend quatre étapes :

1. Recueil d'erreurs locales et de comportements types conduisant à une première typologie. C'est essentiellement une analyse didactique qui permet d'obtenir un catalogue d'erreurs effectivement produites, couvrant un champ très large sans garantie d'exhaustivité. Cette analyse a été menée par Jean-Philippe Drouhard et Yves Paquelier pour les fractions,

---

<sup>15</sup> Un des points forts est l'idée d'utilisation conjointe avec un autre logiciel (aspect résident sous DOS), avec des accès contextuels, facilement adaptables et personnalisables, ce qui le rend très intéressant pour l'aide en ligne. On peut citer par exemple HYPERINFO DOS aide contextuelle complète sur l'utilisation de MS-DOS (l'aspect résident permet à l'utilisateur de travailler sous MS-DOS et d'appeler à tout moment des fiches pour l'aider à maîtriser le système), et HYPERINFO LOGO.

- Monique Schwob et François-Marie Blondel pour la chimie.
2. Construction d'un résolveur dit « perturbable » prenant en compte toutes les erreurs cataloguées dans la phase précédente, sans aucun contrôle.
  3. Test et validation du système de diagnostic, vérification de la prise en compte des erreurs détectées en phase 1 et analyse des phénomènes de dispersion et d'explosion (chemins dénués de sens, chemins différents aboutissant au même résultat). Il s'agit ici d'analyser les formes de contrôle syntaxique et sémantique susceptibles d'éviter les phénomènes d'explosion combinatoire sans perte d'exhaustivité dans la recherche des chemins plausibles. Cette phase doit conduire à un nouveau codage des erreurs élémentaires (ou des formes de traduction entre l'interprétation des erreurs élémentaires et leur codage en déviation élémentaire utilisée par le programme de diagnostic).
  4. Introduction d'un mode de contrôle plus fin sur la base du codage des erreurs élémentaires et de relations entre elles, à l'aide d'une théorie locale sur l'origine des erreurs permettant de modéliser certains comportements.

D'autres paramètres pouvaient éventuellement être intégrés (type d'enseignement reçu, profils génériques d'élèves, contextes favorisant l'apparition des erreurs, etc.) afin de faciliter la recherche d'un chemin plausible.

L'intérêt d'un tel travail réside dans le processus de construction adopté. En partant d'un recueil raisonné effectué par des didacticiens en mathématiques et en chimie, il s'agit d'imaginer des perturbations élémentaires et des règles de composition pour induire un comportement plausible. Notons qu'indépendamment de l'usage dans les systèmes d'EIAO, un système de diagnostic automatique pourrait jouer un rôle d'assistant pour un enseignant, lui permettant de prévoir les résultats que les élèves risquent de lui fournir ou pour l'aider à interpréter les productions des élèves et choisir les modes d'intervention qu'il juge appropriés. Il ne s'agit pas de réaliser et de maintenir un modèle élève, dans le cadre d'un système tuteur automatique, mais de voir comment aider un enseignant à interpréter les erreurs des élèves.

Alors que le système sur les fractions n'a pas été repris, une version entièrement refondue et réécrite à l'INRP a été intégrée dans le système SCHNAPS (Blondel *et al.*, 1997). Notons que BADAUD offrait une première ébauche de système conçu comme une aide pour l'enseignant et non pour les élèves.

#### 1.2.4. Le calcul formel

Alors que toutes les réalisations précédemment décrites avaient pour vocation première d'être effectivement utilisées en formation, CAMÉLÉON s'est attaché à montrer la faisabilité de nouvelles approches dans le domaine de l'apprentissage du calcul algébrique et de l'étude des fonctions. Il est décrit dans [3] (p. 181-208) et dans [43] (également présenté dans [20]).

Initialement engagé comme un prolongement de CAMÉLIA (Vivet, 1984), en vue de réaliser un programme tuteur/assistant dans le domaine de l'étude des fonctions, le travail a d'abord consisté à établir une évaluation des résolveurs pédagogiques en calcul algébrique. Une réalisation informatique a alors été entreprise dans le but de dépasser certaines limitations constatées de ces résolveurs, notamment le manque de connaissances sur les objets mathématiques, un mode de contrôle trop limité, l'absence de reconnaissance explicite du type d'une expression et un langage d'expression par trop insuffisant.

CAMÉLÉON s'est centré sur la notion d'évidence, c'est-à-dire la reconnaissance perceptive

de propriétés. Il s'est agi de donner un sens à la formule magique : « on voit que ... », « c'est trivial », etc. Alors que savoir repérer les « évidences » est un signe « évident » d'expertise, un tel coup d'œil est assez difficile à simuler sur machine. Sans en donner une définition générale, on peut le caractériser par l'expression suggérée par Martial Vivet de « fonctions perceptives évoluées », correspondant à la reconnaissance de propriétés d'un objet mathématique à partir de son expression. L'idée sous-jacente est d'attacher à un problème non seulement des méthodes de résolution, mais aussi des techniques de caractérisation et de typage. Les questions que l'on est amené à se poser sont : qu'a-t-on besoin de savoir pour pouvoir résoudre ? Que faut-il regarder dans l'expression ? Quelles sont les caractérisations utiles ? Il est nécessaire de développer plusieurs points de vue sur la même expression, quitte à effectuer certaines transformations immédiates (grosso modo celles que l'on exécute mentalement). Ceci conduit à une analyse ou à un traitement ascendant d'une expression, en essayant de propager les propriétés utiles des sous-expressions à partir de connaissances de stabilité des opérateurs. Une maquette a été réalisée, montrant la faisabilité de l'approche décrite ci-dessus.

L'un des aspects importants de cette réalisation informatique a été de la fonder sur une problématique didactique. En effet, une analyse, que l'on peut qualifier d'intrinsèque (non liée à un usage effectif en formation), a d'abord été effectuée. Elle a servi de base pour la conception. Il faut noter qu'une telle implantation bute sur le choix de l'outil adéquat pour la réaliser. On est confronté à une alternative qui est de réécrire un système de calcul formel ou de créer une surcouche d'un système de calcul formel existant ayant l'ouverture suffisante pour permettre ce type de développement. Une idée équivalente consiste à écrire une couche pédagogique et disciplinaire au-dessus des progiciels, à l'exemple du tableur ([49]), qui va déboucher sur la réalisation de systèmes d'aide ou de systèmes conseillers.

Le développement considérable des systèmes de calcul formel (DERIVE, MAPLE, MATHEMATICA...) a conduit à leur intégration, bien qu'encore timide, dans l'enseignement. Mais le problème de création de couches pédagogiques est encore loin d'être réglé. Pour ce faire, les méthodes développées autour de CAMÉLÉON devraient pouvoir être réutilisées avec profit, notamment pour aider les élèves à mieux comprendre les stratégies de traitement des expressions algébriques.

### 1.3. Conception et usages des EIAO

A partir du début des années quatre-vingt-dix, après la soutenance de la thèse, mes travaux se sont orientés vers un approfondissement des problèmes de conception d'environnements d'apprentissage, en conservant une vision d'informaticien, essayant de mieux comprendre l'histoire du domaine tout en élargissant du côté des compétences et représentations des acteurs et des contraintes liées aux institutions de formation et d'éducation.

#### 1.3.1. Hypertexte et résolution de problèmes

Alors que les travaux autour de LOGO et des micromondes s'attachaient essentiellement à l'acquisition de connaissances procédurales, il semblait que des techniques hypertextes pouvaient s'avérer utiles pour l'acquisition d'autres types de connaissances ([44]), notamment pour aider à la résolution de problèmes en mathématiques ([47]). Il s'agissait également de reprendre un processus participatif avec les enseignants, tant dans la conception même que dans les tests et expérimentations pour voir dans quelle mesure des enseignants standards peuvent être de bons concepteurs. Le projet GRHYP (Groupe de Recherche HYPertexte, [40]) s'est ainsi constitué à l'IUFM de Créteil autour de l'idée de mener de manière conjointe le développement d'hypertextes et leur évaluation dans un cadre scolaire formel, avec des enseignants en formation initiale ou continue, reprenant ainsi certains éléments du processus de conception du FILICOUPEUR.

##### 1.3.1.1. Thème et hypothèses

Le thème choisi a été l'aide à la résolution de problèmes de mathématiques pour les enfants de l'école primaire, en se centrant sur la compréhension du sens des opérations et des énoncés. Le processus permettant de passer d'un énoncé en langage courant à sa formalisation mathématique (ici, le choix pour l'essentiel d'une ou de plusieurs opérations) est peu travaillée. Le recours à des outils de type hypertexte était susceptible de permettre une meilleure appréhension de cette étape difficile.

Le travail s'est articulé autour de deux axes complémentaires : (1) une étude spécifique sur le développement et l'analyse d'outils d'aide à la résolution de problèmes en mathématiques et (2) la création d'un environnement de travail pour les mathématiques au niveau du cycle III de l'école élémentaire intégrant les environnements précédents et des outils spécialisés (ardoise électronique, outils de représentation ou de schématisation, lexiques, ...). L'hypertexte intervenait à deux niveaux : tout d'abord comme intégrateur offrant des accès rapides et éventuellement contextuels à des ressources au cours de tâches de résolution ou d'écriture ; ensuite, comme forme d'organisation de l'information particulière de certaines ressources (graphes de résolution de problèmes, lexiques...). Les facilités offertes pouvaient s'avérer intéressantes :

– pour l'utilisateur : simplicité des modes d'accès ("cliquage" sur des liens visualisés à l'écran), facilité de parcours, mode de contrôle aisé (unicité des formes de pilotage avec pluralité des modes d'accès),

– pour l'enseignant (créateur) : pas de programmation (la création correspond à l'écriture de textes) ce qui minimisait les problèmes de nature technique, modularisation aisée du travail (répartition en tâches indépendantes), possibilité de tests immédiats durant le processus de création, développement incrémental aisé (ajout successif de ressources supplémentaires).

Concrètement, un énoncé est présenté à l'élève, sur cet énoncé certains mots sont en

surbrillance (visualisation de l'ancre d'un lien). En cliquant sur ces mots, l'élève peut obtenir des définitions générales. Ensuite, afin de répondre à la question posée, divers pistes sont proposées, certaines conduisant à la solution, d'autres erronées. L'élève peut les suivre, revenir en arrière en cas d'erreur, obtenir différents types d'aide et d'explication, jusqu'à l'obtention d'une solution. Il a toute liberté de circuler dans le réseau d'informations. Différents modules complémentaires lui sont proposés : une aide stratégique (explication des choix de parcours), un lexique français, un lexique mathématique, des tables d'opération, des représentations imagées, une ardoise électronique, etc. Il s'agit de favoriser un questionnement sur un énoncé de problème de mathématiques, en essayant de matérialiser le passage d'un énoncé (souvent sans question) à un modèle calculatoire.

#### 1.3.1.2. Premiers résultats

La première phase de ce projet, essentiellement de nature exploratoire, a abouti à la réalisation d'un premier prototype avec HYPERINFO au cours d'un stage de formation continue d'instituteurs (mai 1991). Cette maquette a ensuite été testée durant le premier trimestre de l'année scolaire 1991-1992 dans plusieurs écoles du Val de Marne. Cette version initiale s'est en fait élaborée en incluant des mini-tests dans différentes écoles. Elle comprend douze problèmes complets. Au niveau création même, ce travail a enrichi la vision des concepteurs : prise en compte des représentations imagées, contraintes de présentation et d'interface, travail collaboratif. Notons qu'au cours du même stage, d'autres applications plus classiques, comme des textes à trou ou des logiciels d'entraînement au calcul, ont été réalisées.

Les quelques expérimentations effectuées par les enseignants participants (ou des enseignants qui leur étaient proches) ont montré la faisabilité de l'approche adoptée et l'aptitude des élèves à utiliser les outils fournis, ainsi qu'une compréhension générale des processus mis en jeu, indices favorables de l'impact sur les élèves. S'il n'y avait pas d'obstacle technique majeur pour la manipulation, il s'est avéré cependant nécessaire de prévoir un module de premier usage pour la prise en main et favoriser une exploration libre des ressources. Toutefois, certaines difficultés ont pu être constatées concernant :

- l'usage des lexiques associés, ce qui semble dû conjointement à des problèmes d'interface et à l'absence de pratique habituelle. Soit ils ne sont pas consultés, soit les élèves se perdent. On peut remarquer qu'on obtient des résultats similaires sur les lexiques associés au traitement de texte (Hopper) où les élèves dit faibles n'accèdent pas aux ressources qui leur sont proposées. Les causes possibles sont à rechercher d'une part dans les compétences générales des élèves (difficulté de lecture, recherches inusuelles, difficultés à faire le lien avec le problème courant, etc.) et d'autre part à des insuffisances dans la réalisation informatique (pas de repérage clair, textes difficiles ou peu intéressants, etc.).
- la lecture lors des erreurs, les enfants n'étant pas enclins à en rechercher les causes.

Ces remarques ont permis de restructurer les applications et, entre autres, ont amené une redéfinition de l'interface. Trois écueils ont cependant été constatés : une certaine incompréhension de la part des enseignants (méconnaissance des processus mis en jeu dans la résolution de problèmes et notamment l'absence de recours aux représentations intermédiaires comme instruments heuristiques), des phénomènes locaux de régression dus au manque de relation avec le travail scolaire traditionnel (amenant un manque d'implication des enfants) et enfin une difficulté certaine de création des exercices (rédaction des énoncés, des pistes et des

aides). Un changement de vision des enseignants a accompagné la création du produit, indiquant une sorte de formation par la recherche, de par une analyse plus fine des difficultés des élèves et des activités, situations, interventions permettant d'y remédier.

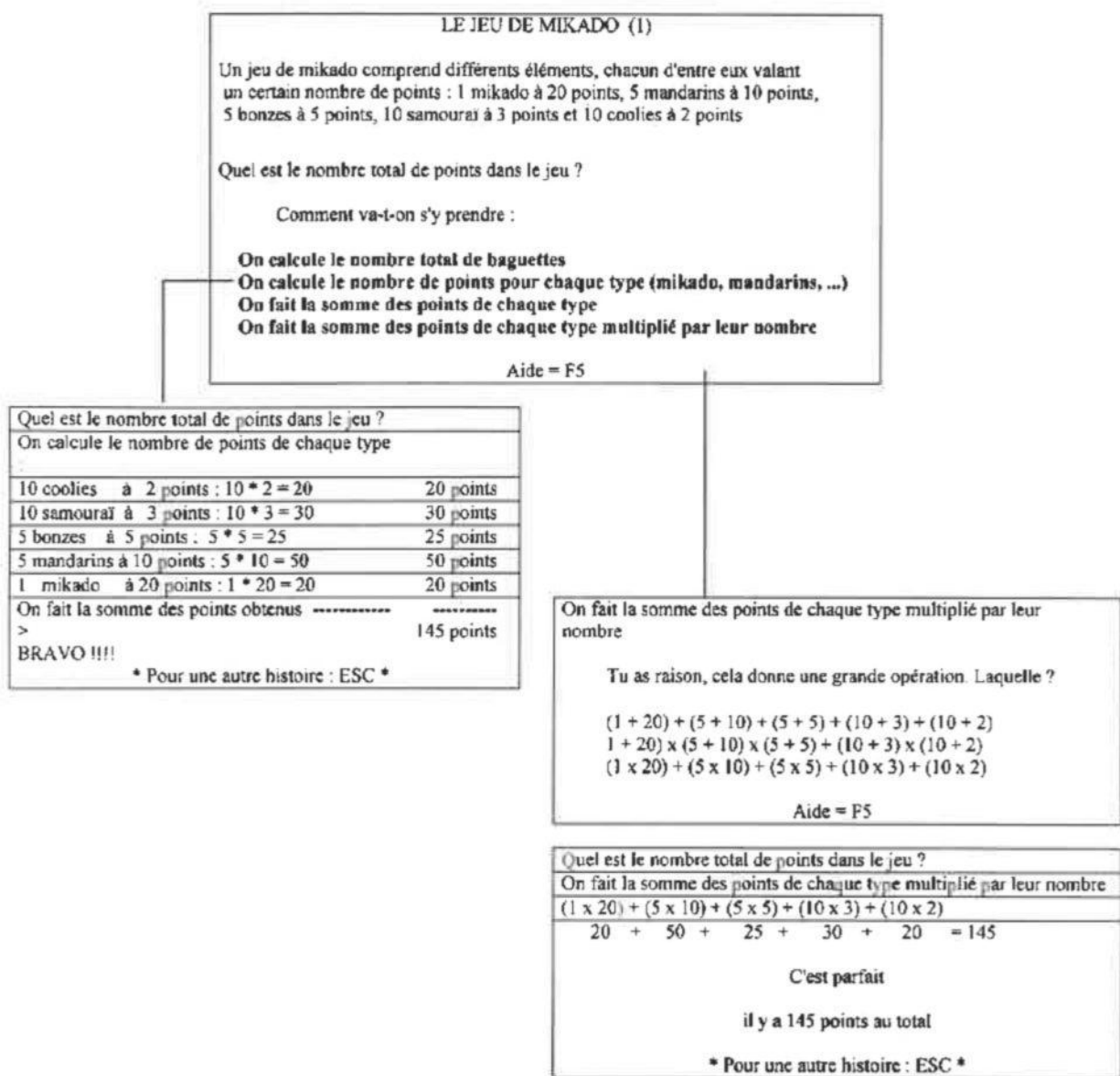


Figure 7 : Exemple de problèmes avec deux pistes correctes. L'empilement des titres des fenêtres permet de garder trace du cheminement et d'imprimer le problème avec énoncé et résolution.

En effet, l'usage de l'environnement nécessite une réflexion sur son intégration dans des progressions (travaux à effectuer en amont et en aval) et à une formulation des contraintes que l'enseignant doit ajouter (temps limité, réécriture de la solution trouvée, résumé de la bonne démarche, etc.). Garantir des usages scolaires pertinents nécessite la création de séquences, de situations didactiques, incluant les outils proposés. Les phases initiales d'expérimentation sauvage amènent une première approche de ces problèmes. Elles rendent compte de ce que les élèves arrivent à faire avec les outils proposés et leur appropriation générale du système. Les variations des contraintes externes, les activités connexes développées fournissent un premier retour des usages scolaires possibles.

Ainsi, un important travail incombe aux enseignants participant au processus de conception, amenés à formaliser les difficultés rencontrées par les élèves et les techniques de remédiation au sens large, à mener une réflexion distanciée par rapport au terrain (l'objet est générique), réflexion en termes de ressources, non exclusivement en termes de progression.

Bien que de nombreux obstacles aient pu être identifiés, une piste prometteuse semblait se dégager concernant des possibilités de transfert méthodologique, c'est-à-dire un effet bénéfique de l'usage de tels outils sur les modes habituels de travail des élèves. Si une amélioration significative des performances semble difficile à obtenir, un changement d'attitude des élèves face aux problèmes de mathématiques, dans les environnements habituels (non informatiques) de résolution peut être raisonnablement obtenu. Mais les difficultés de création des exercices<sup>16</sup> nous ont conduit à modifier l'approche suivie.

### 1.3.1.3. Vers un travail autour d'une classe particulière de problèmes

Compte tenu de la difficulté de création des exercices (à la fois sur le contenu et les formes de rédaction employées), la recherche s'est ensuite focalisée sur une classe particulière de problèmes, ceux liés aux structures additives ([37]). Ce domaine, déjà étudié de manière assez approfondie par les chercheurs (Vergnaud, Carpenter et Moser, Fayol, Guin), semblait bien indiqué, à la fois parce que les classifications mises en évidence sont opératoires et parce que divers outils de représentation respectant la structure interne des problèmes (schémas, diagrammes) peuvent être construits. Par « structures additives », nous entendons des structures où les relations en jeu ne sont formées que d'additions et de soustractions. Vergnaud (1982) a dégagé une classification en six grandes catégories.

Des études de différents chercheurs ressort une forte convergence sur le fait que les stratégies des enfants sont fortement influencées par la structure des problèmes (Carpenter et Moser 1982, 1984 ; De Corte et Verschaffel 1987...). L'étude de la trame de variance des énoncés possibles a conduit à s'intéresser non seulement à la structure des problèmes mais également à la nature des descripteurs et aux contextes associés à ces descripteurs. En effet, les stratégies de mises en relations par lesquelles l'enfant structure le problème et se le représente, sont influencées par l'habillage que revêt le problème dans son énoncé. Sur les représentations, nous avons émis l'hypothèse que l'enfant adopte des procédures de résolution différentes et spécifiques selon l'habillage et ce, pour un même type de problème.

La validation (ou non) d'une telle hypothèse devait conduire à déterminer quels types de représentations graphiques et symboliques et quels types de procédures favoriser en tant qu'aides, dans l'élaboration d'un environnement d'apprentissage informatisé.

Sur cette classe particulière de problèmes, l'objectif consistait à construire un générateur automatique de problèmes et d'hypertextes associés. A l'aide d'un tel générateur, un lot important d'exercices, respectant des contraintes contrôlables et vérifiables, pourrait être créé ce qui faciliterait l'intégration dans les progressions scolaires. De même, la création automatique de représentations intermédiaires (instanciées avec les conditions particulières des énoncés générés) devrait permettre une meilleure compréhension de leur rôle facilitateur dans la résolution (pour les élèves et les enseignants) et les schématisations introduites par

---

<sup>16</sup> Un travail de rédaction d'énoncés, avec aides et explications à destination des élèves, a été effectué avec des professeurs stagiaires. Il a révélé la grande difficulté que rencontrent les enseignants à formuler clairement les éléments demandés. Les énoncés étaient le plus souvent truffés d'implicites, les rendant incompréhensibles, et les stagiaires avaient du mal à distinguer aides et explications.

Vergnaud (représentation symbolique par un schéma sagittal) l'introduction de représentations graphiques isomorphes à la structure des problèmes additifs étudiés.

La recherche n'a finalement pas pu se dérouler comme prévu, d'abord en raison de difficultés institutionnelles, la création des IUFM ayant rendu le travail avec le terrain plus difficile à monter (pour de simples querelles de territoire), tout au moins dans un premier temps. Ensuite, les coopérations souhaitées n'ont pas abouti et pour des raisons essentiellement conjoncturelles, les recherches inter-catégorielles n'ont pu se mettre en place.

Il reste des résultats intéressants sur les problèmes de conception avec la participation effective des enseignants, montrant qu'ils ne sont pas les meilleurs concepteurs, puisque des produits nouveaux ou des fonctionnalités innovantes nécessitent le plus souvent une remise en cause de leurs conceptions pédagogiques ([38]). Concevoir des outils avec les enseignants apparaît alors comme un révélateur des leurs idées ou croyances sur l'enseignement et l'apprentissage, et peut, en dehors de la production éventuelle d'environnements utilisables dans les classes, avoir un effet sur les enseignants eux-mêmes. Ces expériences m'ont incité à mieux comprendre les conceptions des enseignants et à les considérer comme d'éventuels obstacles à l'intégration des instruments informatiques dans l'enseignement.

### 1.3.2. Analyse des situations d'apprentissage

Les différents travaux de conception de logiciels ont conduit à une réflexion plus théorique sur le processus de conception et ce qui pouvait le guider ([9]). Cette réflexion a été menée avec Martial Vivet. Elle se base sur différents constats.

Tout d'abord, l'évolution et l'ouverture accrue du domaine de l'EIAO ont été patentes. On est passé du tuteur au système coopératif, de l'apprentissage individualisé à l'apprentissage situé, et du seul découpage des contenus à enseigner à la prise en compte des processus d'apprentissage. D'une orientation « contenu », on est passé à une orientation « élève », avec une réflexion poussée sur le statut des connaissances, et la reconnaissance de l'aspect fortement social de leur construction. On réfléchit ainsi de plus en plus en termes d'activité du (ou des) apprenant(s) en interaction avec des ressources et on cherche à créer des logiciels *hautement* interactifs, coopératifs et tutoriels, des solveurs contraints offrant des interactions compatibles avec des processus d'apprentissage.

Pour cela, il faudrait tenir compte d'une pluralité de contextes d'usage, voire les anticiper, alors même qu'il n'y a pas encore de marché et que le niveau réel d'utilisation reste encore très embryonnaire. En effet, on peut déplorer un *déficit d'usage* : peu de produits sont réellement disponibles et les contraintes relatives aux modes d'usage sont rarement prises en compte.

Enfin, s'il existe un consensus dans la communauté des chercheurs en EIAO sur la nécessité de travaux interdisciplinaires, leur mise en œuvre est encore délicate, pour des raisons sans doute internes aux recherches mais également liées à l'organisation fortement disciplinaire de la recherche et à ses modes de validation.

Les cycles de création les plus classiques de logiciels d'enseignement se fondent sur la création de modèles ([10]), souvent concrétisés par des langages ou systèmes auteurs. Concevoir un logiciel revient alors à instancier un modèle générique. On constate vite les limites des modèles les plus usités, de par l'évolution de l'offre technologique, l'apport de

nouvelles visions de l'apprentissage ou de l'enseignement et le choix de nouveaux domaines, pour lesquels la conception de résolveurs s'avère très difficile, voire impossible. On est alors conduit à définir de nouveaux modèles abstraits et à créer des ateliers de conception correspondants, permettant ensuite de créer une classe particulière d'applications. Les contraintes d'usage interviennent peu dans ce cycle alors que subsiste un fossé important entre ces méthodologies de conception basées sur des modèles abstraits et des logiques d'usage peu établies. En ce sens, il nous a semblé que partir de situations d'usage pouvait favoriser les échanges inter-disciplinaires et la spécification des contraintes souhaitées (informatique, psychologie, didactique, sciences de l'éducation...).

### 1.3.2.1. Ébauche de cadre méthodologique pour la conception

Cet écart grandissant entre les potentialités offertes au niveau technique et les usages encore très limités conduit à s'intéresser aux recherches expérimentales sur l'intégration des EIAO dans le contexte scolaire. Avec Martial Vivet, nous avons ainsi présenté un cadre méthodologique pour la conception des EIAO tenant compte des contraintes scolaires, bâti autour de quatre propositions :

- partir de l'élève en situation d'apprentissage, caractériser ces situations d'apprentissage et les prendre comme fondement de la conception,
- définir un système de spécification des situations permettant de préciser et de contraindre le rôle des acteurs et des outils,
- baser l'évaluation sur ces spécifications, donnant des implications a priori sur les outils et centrer ainsi l'évaluation sur l'analyse globale des situations plutôt que sur les performances techniques des outils,
- structurer une démarche méthodologique intégrant l'ensemble des acteurs dans le processus de conception des EIAO.

Pour définir les situations que l'on veut créer, apparaît le besoin d'un système de spécifications pour les décrire et déterminer quels moyens sont nécessaires pour les mettre en œuvre<sup>17</sup>. Une telle spécification a pour but de dégager le ou les différents rôles confiés aux outils logiciels ainsi que les contraintes générales intervenant dans leur conception. Le premier point est de nature globale et s'appuie sur des modélisations des processus d'apprentissage et d'enseignement tandis que le second a trait aux implications techniques des modèles dégagés<sup>18</sup>.

Le langage de spécifications que nous souhaitons développer correspond à la spécification des besoins (Sommerville, 1992). Il est basé sur différentes classes d'objets de nature variée : *matérielle* : outils multimédia disponibles, autres ressources matérielles, nature des liens entre ces ressources... ; *organisationnelle* : disponibilité du maître, présence de co-apprenants, nombre de postes de travail et d'usagers par poste, gestion du temps... ; *conceptuelle* : connaissances en jeu, connaissances et compétences nécessaires à l'entrée de la situation... ; *pédagogique* : types d'activité et de contrôle sur ces activités, types d'intervention prévues par le maître et les autres apprenants, rôle/ place/ moment/ conditions des évaluations, articulation

<sup>17</sup> Notons que d'autres chercheurs ont insisté sur la nécessité d'une spécification des environnements d'apprentissage, notamment didactique pour Guin (1991). Pour elle, il faut préciser, lors de la conception des environnements, les choix de modélisation pour chacun des domaines suivants : champ conceptuel, interaction didactique, explication. D'autres champs de recherche devraient aussi introduire leurs spécifications (par exemple, modèles d'acquisition des connaissances pour les psychologues) ce qui rend la coopération des différentes disciplines indispensable.

<sup>18</sup> L'aspect technique intervenant aussi dans la phase de modélisation pour conférer aux outils des rôles qu'ils peuvent effectivement jouer compte tenu de l'état de l'art.

travail personnel et travail libre, travail contraint ou imposé... Les propriétés de ces objets modélisent une situation standard. Diverses méthodes spécifiques peuvent aussi être définies, associées à des événements prévisibles perturbant ou contraignant cette situation idéale (temps limité, intervention externe, ...).

La voie que l'on vient d'ébaucher a été développée au sein du LIUM, les applications qui y sont conçues faisant référence au cadre ainsi esquissé. Reste un travail important à effectuer pour préciser le langage de spécifications souhaité, ce qui n'a pas encore été réellement effectué. Peut-être une telle tâche est-elle encore prématurée ?

### 1.3.2.2. Éléments pour l'évaluation des EIAO

Fonder la conception des environnements sur la spécification des situations, précisant les tâches confiées aux apprenants et les moyens qui leur sont attribués pour les réaliser, devrait permettre de clarifier les problèmes d'évaluation en EIAO. Si plusieurs évaluations peuvent être séparées : celle d'un produit, celle de l'apprentissage et celle des performances de l'élève, elles sont néanmoins fortement reliées et difficiles à considérer isolément.

L'absence d'une théorie unifiée de l'apprentissage et l'abandon des modèles comportementaux qui faciliteraient les évaluations conduisent à une séparation entre logiciel et usage du logiciel aboutissant à l'absence de spécification pour la conception et à des difficultés pour séparer des étapes par manque de validation.

Avec Martial Vivet, nous avons ainsi été amenés à distinguer différents types d'évaluation :

- l'intérêt éducatif (pertinence éducative de la situation construite incluant les outils qui y ont été intégrés),
- l'évaluation technique (jugant de la façon dont les outils respectent les contraintes spécifiées)
- l'évaluation ergonomique qui s'occupe de l'adéquation entre le produit (ses fonctionnalités et les modes d'appropriation des usagers) et les fonctions pour lesquelles il est construit.

En particulier, le choix des outils est effectué par les acteurs en fonction de leur perception (qu'elle soit fondée ou non sur une théorie explicite), les outils n'ayant pas de pertinence éducative propre, c'est la théorie éducative sous-tendant la situation qui permet de définir les contraintes sur les outils à développer.

Ce qui complique la tâche de conception est d'une part, la difficulté d'une analyse préalable d'un logiciel, permettant de prévoir l'intérêt des usages, et donc pour le concepteur d'anticiper dès la phase de création, et d'autre part la nécessité de bâtir des séquences pédagogiques incluant le logiciel, ce qui suppose une compréhension de ses potentialités et une grande capacité de mise en situation. D'une manière un peu lapidaire, si on ne peut évaluer, que construire, et comment déterminer des besoins et inventer des séquences pédagogiques sans connaissance préalable des outils.

### 1.3.2.3. Place de l'enseignant dans le processus de conception

Une question que nous avons déjà discutée est l'intervention des enseignants, ou des

spécialistes de didactique, dès les premières phases de conception. Cela paraît une nécessité de bon sens. Comment concevoir des environnements sans connaissance de la discipline concernée, du contexte d'usage et des problèmes liés aux processus même d'enseignement et d'apprentissage ? Reste à déterminer qui est le plus à même d'apporter cette connaissance. En particulier, si l'on admet volontiers que les enseignants disposent d'une expertise certaine, s'agissant de l'enseignement, comment coder cette expertise ou comment permettre aux enseignants de la coder eux-mêmes. L'expérience d'AMALIA ([10]) atteste ainsi de la difficulté d'écrire des plans pédagogiques.

Le public visé par les logiciels dits éducatifs correspond finalement à une double cible (les élèves d'un côté, les enseignants et les prescripteurs de l'autre), avec des écarts entre les connaissances embarquées dans les systèmes et les connaissances traditionnellement enseignées. Par ailleurs, la nature de la connaissance et la valeur qui y est attachée (experte / grand public) jouent un rôle important dans la conception, d'autant plus lorsque la machine intervient comme auxiliaire de résolution, ce qui entraîne le plus souvent une modification des connaissances à enseigner. Ainsi, dans de nombreux cas, l'enseignant n'apparaît pas comme étant le plus à même de participer complètement à la conception de systèmes qui peuvent être en rupture par rapport à sa pratique quotidienne, sauf à être intégré dans une équipe sur un temps suffisamment long.

L'enseignant peut avoir différents rôles ou places vis-à-vis du système. La conception peut conduire à la substitution de l'enseignant par la machine, tout au moins une dévolution importante du travail de l'enseignant à l'ordinateur (Enseignement programmé, EAO, STI). Les enseignants peuvent prendre une part plus active dans la conception (systèmes participatifs) voire même la prendre en charge (langages et systèmes auteurs). Enfin, les élèves peuvent avoir un rôle de concepteurs dans des démarches de type ordinateur-outil ou ordinateur-apprenant (*Tool* ou *Tutee*). On en arrive à une vision très large de la conception. Or, s'il semble que la conception ne s'enseigne pas, il est sans doute possible de l'apprendre. Les outils peuvent jouer un double rôle d'assistance à la conception et d'apprentissage de certaines formes de conception. Un aspect apparaît alors essentiel, celui d'assister le processus de conception, domaine dans lequel historiquement la notion d'hypertexte a été souvent impliquée. Nous y reviendrons un peu plus loin.

### 1.3.3. Histoire des courants de pensée en EIAO

L'usage de machines pour faciliter les processus d'enseignement et d'apprentissage ne date pas d'aujourd'hui. Or, dans le domaine de l'intégration des technologies dites éducatives, plusieurs chercheurs ont mis en évidence des sortes de cycles, notamment Larry Cuban (1985) : apport d'une nouvelle technologie prometteuse soutenue par des discours dithyrambiques; premières expériences de laboratoire plutôt concluantes suivies par un essai de généralisation montrant des difficultés et des obstacles dus notamment à une inadéquation entre l'offre technique et les contraintes des structures éducatives, puis quelques années plus tard, une intégration que l'on peut qualifier de minimale, la révolution annoncée n'ayant débouché que sur de rares usages pérennisés.

Les institutions se révèlent souvent sans mémoire. Sur quoi fonder les projets de recherche liés au développement de technologie si on fait table rase des résultats du passé, perçus trop rapidement comme non pertinents face aux derniers avatars de la technique ?

Afin de pallier un manque de capitalisation des résultats de recherche, dans un domaine qui

apparaît souvent peu cumulatif, prendre appui sur des fondations historiques est sans doute essentiel. La thèse, soutenue au LIUM ([3]), m'avait permis de faire un premier tour d'horizon d'un certain nombre de recherches. Il semblait important de poursuivre et d'approfondir ce travail. Cela s'est traduit par un ouvrage ([1]) faisant le point sur l'état de l'art en EIAO à partir d'une analyse des grands courants de recherche et de leur évolution, depuis les machines à enseigner incorporant un programme jusqu'aux divers instruments pour apprendre des années quatre-vingt-dix.

Une des préoccupations majeures dans la réalisation de ce livre<sup>19</sup> a été de mettre en lumière les grands questions sous-jacentes aux recherches et développements de l'informatique en éducation. Les rapports entre l'informatique et l'éducation sont complexes et s'inscrivent dans des dynamiques souvent floues. Ces deux champs évoluent de manière indépendante et leurs problématiques communes se modifient autant par leurs productions conjointes que par leurs évolutions respectives autonomes. L'extrême rapidité du développement de l'informatique amène des changements parfois importants dans les conceptions des modes d'usage des ordinateurs dans l'éducation, qui risquent de masquer, par des effets de surface, la continuité ou la résurgence périodique de grands courants de pensée. Derrière les vagues technologiques successives, il semble possible de discerner certaines constantes et différentes nouveautés dans les actions de recherche et de développement concernant le domaine éducatif. L'ambition de ce livre était de faire émerger leurs lignes directrices et leurs hypothèses fondatrices.

Concernant la conception, les discours récurrents des chercheurs montrent que les démarches de type langage ou système auteur, si elles ont contribué à diffuser les idées et ont conduit à quelques réalisations, sont le plus souvent vouées à l'échec. Les théories éducatives restent par trop embryonnaires pour fonder véritablement la conception et la technologie se développe sans y faire véritablement référence ou d'une manière plutôt indirecte<sup>20</sup>.

Quand on fait le point sur l'état de l'art et qu'on essaye de voir ce qui s'est répandu, on constate que les choses vont à la fois vite et lentement. Ainsi, pour ce qui concerne les hypermédias ([17] et [14]), à la fin des années quatre-vingt, ils étaient encore très peu connus. Au milieu des années quatre-vingt-dix, ils se sont diffusés et popularisés, mais avec un certain appauvrissement et dans des acceptions parfois non dénuées de confusions<sup>21</sup>. L'environnement de travail a changé, au plan bureautique, mais les aspects plus intéressants au niveau conception restent encore peu diffusés. En fait, les marchés, les usagers, s'emparent de certaines techniques et en laissent d'autres de côté.

---

<sup>19</sup> « Les machines à enseigner ».

<sup>20</sup> Cette remarque est sans doute un peu abrupte. Elle est abondamment étayée dans [1] et nous y reviendrons à la fin de cette première partie.

<sup>21</sup> La plus répandue est sans doute de considérer comme hypermédias des applications utilisant simplement différents médias.

## 1.4. L'informatique et ses usagers dans l'éducation

Nous venons de voir que l'écart existant entre l'offre technique et la trop grande rareté et parfois la pauvreté des usages conduit à s'intéresser aux recherches expérimentales sur l'intégration des EIAO dans le contexte scolaire. Il pourrait être uniquement question de tester en situation des logiciels préalablement conçus ou en cours de conception, mais adopter d'autres approches m'a semblé nécessaire. En fait, un double souci m'a incité à mener des actions de recherche de nature plutôt sociologique.

D'une part, assumant un rôle de chargé de mission sur l'informatique pédagogique à l'IUFM de Créteil, il fallait préciser les types d'enseignement informatique, ou plus largement les types d'activités, qu'il importait de favoriser, tenant compte des objectifs généraux des formations initiales d'enseignants (préparation d'un concours de recrutement en première année et formation professionnelle en seconde année) et des connaissances préalables et des attentes des étudiants et stagiaires.

D'autre part, les recherches précédentes avaient mis en lumière la nécessité de mieux comprendre, du côté du système d'enseignement, les facteurs favorisant et les résistances au développement de l'informatique dans l'éducation, notamment en s'interrogeant sur le système éducatif, en tant qu'organisation, et sur les compétences, conceptions et représentations des acteurs essentiels que sont les enseignants. Ce sont en effet ces derniers qui mettent en œuvre dans les classes les systèmes conçus par les chercheurs en EIAO dès qu'ils ont atteint une « maturité » suffisante pour sortir des laboratoires.

Dans les deux cas, il s'agissait de répondre à la question simple : à quoi peut donc servir l'informatique ou les ordinateurs dans l'éducation ? Une telle interrogation n'est certes pas l'apanage des chercheurs en sciences de l'éducation, mais intéresse également l'informaticien, dans un souci d'application de ses recherches et de rétroaction sur les environnements qu'il développe. En outre, dans le souci de bâtir des équipes pluri-catégorielles de conception, il est central de bien comprendre ce que peuvent apporter les enseignants mais aussi les limites de leurs interventions, fondées sur des représentations liées aux conditions d'exercice de leur métier. Nous verrons d'ailleurs que les analyses qui ont été menées ont permis d'orienter les recherches vers la conception et la mise à disposition de ressources et d'instruments logiciels, en laissant de côté les aspects liés au contrôle fin des apprenants.

Ainsi, un examen approfondi de la prise en compte de l'informatique dans l'éducation permet non seulement de formuler des hypothèses plausibles sur les évolutions possibles, mais ouvre des perspectives pour la conception même des produits dédiés à l'enseignement et l'apprentissage. C'est ce que nous avons étudié avec Georges-Louis Baron en dressant un diagnostic sur la situation actuelle et en tentant de dégager des perspectives, dans un livre ([2]) publié aux Presses Universitaires de France. Il s'agit là d'un regard complémentaire aux analyses précédentes, fondé sur les évolutions dans la prise en compte institutionnelle de l'informatique en éducation et l'analyse des points de vue des usagers.

Dans cette partie, nous allons nous intéresser pour l'essentiel aux points de vue des acteurs sur la place des nouvelles technologies dans l'éducation en nous appuyant sur différentes études de cas. Auparavant, nous allons analyser les différentes places possibles de l'informatique dans l'éducation en essayant de mettre en évidence les problèmes posés par chacune d'entre elles.

### 1.4.1. L'intégration des TIC dans le système éducatif

Quel avenir pour l'informatique dans l'enseignement obligatoire ? Répondre à une telle question est loin d'être aisé. Les relations entre l'informatique et l'enseignement sont à la fois complexes et très évolutives. S'il est encore trop tôt pour dresser un panorama complet et stable, diverses tendances peuvent être mises en évidence, tenant compte des multiples facettes que recouvre le mot « informatique » et des obstacles liés à l'institution ou aux modes d'usage des enseignants et des élèves.

L'informatique est tout d'abord une science, celle du traitement automatique de l'information à l'aide de programmes (logiciels) mis en œuvre sur des ordinateurs. Elle a acquis droit de cité à l'université. C'est également un ensemble de techniques. En revanche, elle ne s'est pas constituée en discipline scolaire. En éducation, l'informatique peut être d'abord considérée comme une technologie éducative, c'est-à-dire un ensemble de moyens pouvant faciliter l'enseignement et l'apprentissage des disciplines scolaires traditionnelles. Mais c'est également un ensemble d'outils, ou plutôt d'instruments, utilisés dans de nombreux contextes, en particulier permettant la production de textes, la conduite de calculs et la réalisation de graphiques. C'est aussi un ensemble de connaissances, qui reste à préciser, dont on peut considérer qu'il devrait être acquis par une grande partie de la population.

Le tableau suivant recense quatre grands rôles que peut assumer l'informatique dans l'éducation : l'informatique comme discipline scolaire, l'informatique comme technologie éducative, l'informatique comme ensemble d'instruments dans des disciplines existantes et l'informatique pour la gestion de documents.

<i>Informatique comme</i>	<i>Rôle</i>	<i>Points clés</i>
<i>Discipline scolaire</i>	spécifique	Pas de spécialistes Quel noyau de connaissances enseigner ?
<i>Technologie éducative</i>	général indépendant des disciplines scolaires	Cycle : promesses, désillusion, intégration minimale Liberté pédagogique des enseignants Plus facile au primaire qu'au secondaire
<i>Accès aux documents Production de documents</i>	transversal nouvelles connaissances	Qui prend en charge. Notion de discipline de service Quel transfert vers le reste Nouvelles disciplines (technologie, documentation)
<i>Instruments disciplinaires</i>	intégrés dans les disciplines	Programmes scolaires Conceptions des enseignants Résistance à l'instrumentation

Tableau 1. *Informatique en éducation*

Chacun des rôles possibles de l'informatique dans l'éducation soulève des questions spécifiques.

Constituer une nouvelle discipline scolaire nommée informatique est un débat toujours d'actualité. Cela avait été sérieusement envisagé au début des années quatre-vingt (Pair, 1996), sans que cela aboutisse, le choix s'étant finalement porté vers l'idée de double compétence pour les enseignants. Mais la création d'une nouvelle discipline scolaire, vu les multiples contraintes de l'enseignement obligatoire, est quelque chose de très délicat. En outre, identifier l'ensemble des savoirs et savoir-faire sur lesquels pourrait se fonder cette discipline demeure encore une question largement ouverte.

Ne voir dans l'informatique qu'une technologie éducative est certainement très restrictif. De nombreux auteurs, notamment Cuban (1986), ont décrit les vicissitudes de différentes « nouvelles » technologies qui, à chaque fois, promettent monts et merveilles pour l'éducation. Les prophéties des zéloteurs, confortées un temps par des expériences de laboratoire apparemment fort concluantes, ne se concrétisent que par des usages rares dans leur confrontation à la réalité du terrain. Au lieu de transformer radicalement le système d'enseignement, les technologies sont absorbées, intégrées pourrait-on dire maintenant, leur influence se révélant pour le moins marginale. Traditionnellement, l'enseignement primaire se les approprie beaucoup mieux que l'enseignement secondaire et dans les contextes acceptant l'idée d'une programmation didactique, cela semble fonctionner de manière relativement satisfaisante. Si de tels phénomènes se retrouvent dans de nombreux pays, les traditions françaises, laissant aux enseignants une totale liberté dans le choix de leurs méthodes pédagogiques et des outils qu'ils emploient, favorisent encore moins la diffusion des technologies éducatives.

Sans entrer dans les détails, plusieurs raisons permettent d'expliquer le succès mitigé des technologies éducatives qui ont accompagné l'histoire récente de l'éducation (voir [2]). En fait, elles illustrent pour l'essentiel l'inadaptation des technologies aux conditions réelles d'exercice des enseignants. Gardant leur liberté pédagogique, les enseignants ne vont s'approprier que des technologies susceptibles de les aider efficacement dans leurs tâches. Or, ces dernières sont toujours plus complexes à mettre en œuvre qu'on a trop tendance à l'affirmer et ne permettent pas aux enseignants de conserver le contrôle qu'ils souhaitent exercer sur les activités de classe.

Comme le notent O'Shea et Self (1983), peut-être que la seule technologie éducative ayant rencontré un franc succès est le bus de ramassage scolaire. C'est bien évidemment une boutade, mais elle attire l'attention sur l'impact des technologies au niveau de l'environnement de travail des enseignants et des élèves. Ce dernier a sans aucun doute évolué. Ainsi, les photocopieuses, au grand dam des éditeurs, se sont généralisées, pas toujours, il faut bien le reconnaître, dans le sens d'une amélioration de l'enseignement.

Dans ce cadre, l'informatique joue sans doute un rôle majeur en renouvelant les manières d'accéder aux informations et de produire des documents. Ce sont d'abord les enseignants eux-mêmes qui en tirent partie, utilisant les ordinateurs pour rechercher des documents ou créer des documents à destination de leurs élèves, voire pour gérer les notes. On peut maintenant considérer que ces savoir-faire devraient faire partie de la culture professionnelle des enseignants d'aujourd'hui, au moins pour les nouveaux sortant des IUFM.

Mais si l'acquisition de savoir-faire dans les domaines de l'accès aux informations et de la production de documents acquiert une importance grandissante pour les enseignants, sans doute est-ce également le cas pour les élèves. En l'absence d'un corps spécifique d'enseignants spécialistes de ces questions, des disciplines nouvellement créées ou récemment transformées comme la technologie (collège) et la documentation, se présentant comme des disciplines de service, tendent à s'approprier l'enseignement de ces savoir-faire. Des compétences transversales devraient ainsi être acquises par les élèves, compétences qu'ils devraient utiliser avec profit dans d'autres disciplines.

Des exemples montrent l'impact que peuvent avoir l'acquisition par les élèves de nouvelles compétences générales, favorisées par un changement dans l'environnement technique. Ainsi,

d'après Paul Lavoie (Lavoie, 1994, chapitre 9 section 2), la disparition de la séquence hiérarchisée traditionnelle du lire-écrire-compter, qui avait cours dans les écoles primaires jusqu'au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, est due au développement de l'enseignement simultané mais aussi à la diffusion des plumes de fer. *« Une des raisons pour laquelle l'écriture intervenait traditionnellement si tard, c'est justement le recours aux plumes d'oie. Il fallait en effet une telle dextérité fine pour les tailler et les utiliser qu'il était normal d'en retarder l'usage... Les plumes de fer annonçaient donc une véritable révolution. [...] Au milieu du 19<sup>e</sup> siècle, la généralisation de la plume de fer et celle du crayon levalaient tout empêchement contre un apprentissage hâtif de l'écriture et de l'arithmétique dont la raison aurait été motivée par l'outil même dont l'élève se servait. »*

Les outils ne sont cependant pas toujours aussi transversaux. A ce propos, la maîtrise des tableurs peut constituer un enjeu de territoire au collège entre les mathématiques et la technologie. S'agit-il uniquement de faire acquérir quelques savoir-faire relativement généraux ? Dans ce cas l'abord par le biais de la technologie est sans doute suffisant. Faut-il traiter de véritables problèmes à l'aide de nouveaux instruments, amenant à traiter de concepts profonds d'un point de vue très particulier, comme celui de variable ? L'apprentissage des mathématiques est alors au cœur du débat.

Un dernier rôle possible de l'informatique est de fournir des instruments pour les disciplines scolaires traditionnelles. Les dispositifs d'expérimentation par ordinateur (ExAO) dans les sciences expérimentales, les systèmes de construction géométrique et de calcul formel en mathématiques, les outils lexicographiques en lettres, les logiciels graphiques en arts plastiques... illustrent leur grande diversité. Partie intégrante des disciplines, leur usage pose la question de leur insertion dans les programmes scolaires. Pour ce faire, il faut admettre des formes d'instrumentation des disciplines, ce qui semble heurter de nombreux enseignants. En tous cas, cela amène à se confronter à des problèmes didactiques difficiles, concernant les contenus et les formes d'apprentissage.

Les catégories précédentes ne sont pas étanches. Les instruments disciplinaires peuvent incorporer des couches didactiques et se transformer en une sorte de technologie éducative. Par là même, on peut ainsi parfois « scolariser » les instruments. Ce qui a trait à la documentation est à la fois transversal mais aussi spécifique aux disciplines scolaires, les pratiques pédagogiques en géographie ne sont les mêmes qu'en mathématiques ou en français. Toutefois, si on cantonne l'informatique à n'être qu'une simple nouvelle technologie éducative, aucune maîtrise des technologies ne peut être attendue des élèves puisque chaque enseignant reste libre des moyens qu'il utilise. Disposer d'interfaces rendant l'usage le plus « immédiat » possible est alors indispensable, les enseignants n'ayant pas de temps à consacrer pour que les élèves puissent s'approprier ces nouveaux instruments. Dès que des compétences s'avèrent nécessaires, il faut qu'une ou plusieurs disciplines soient comptables de leur acquisition, ce qui conduit à créer une nouvelle discipline ou modifier les programmes de disciplines existantes.

Les discours généraux ont tendance à mélanger les différents rôles que nous venons succinctement de présenter. N'établir aucune distinction entre ces catégories rend toute analyse hasardeuse. On risque de se confronter à des problèmes très résistants, déjà bien identifiés, de buter sur des obstacles répertoriés, etc. Il est de la responsabilité du chercheur de démêler des discours embrouillés et de différencier les questions de fond d'intégration des technologies dans l'éducation des stratégies ou tactiques de diffusion que l'on peut souhaiter adopter. C'est ce qui fait la valeur des analyses à caractère historique, sur l'introduction

d'autres technologies, et sociologique, sur les contraintes de structure et les conceptions des acteurs. Par ailleurs, les objectifs apparents, c'est-à-dire ceux qui sont promus par les instances décisionnelles, ne correspondent que très approximativement aux visées souhaitées.

En particulier, l'engouement autour d'internet redonne une nouvelle jeunesse aux conceptions déjà anciennes de la formation comme transmission des connaissances. Or, les modèles fondés sur l'idée de transmission ont prouvé par le passé toutes leurs limitations (voir notamment [1] sur ce point). Si l'enseignement à distance peut se doter d'outils beaucoup plus flexibles et performants qu'auparavant et qu'il est essentiel que ce domaine soit investi par la recherche, la formation obligatoire reste régie par d'autres contraintes qui sont encore loin de disparaître.

Ainsi, avec les technologies informatiques, émergent de nouveaux savoirs et de nouvelles compétences et il importe d'une part que les enseignants en soient conscients, d'où la nécessité de les en informer, et, d'autre part, que les structures s'adaptent en conséquence, d'où l'importance de mieux situer les facteurs d'évolution. Finalement, des problèmes nouveaux sont posés à l'informatique, dans la prise en compte des usagers dans l'éducation, enseignants et élèves, et de leurs conditions réelles d'exercice.

Nous précisons tout d'abord le cas des IUFM, en donnant quelques résultats des études sur les compétences des futurs enseignants ainsi que sur leurs opinions et attentes concernant l'informatique dans l'éducation. Nous poursuivons sur l'étude des conceptions d'enseignants de mathématiques sur le rôle des instruments dans l'enseignement et l'apprentissage de leur discipline, soulignant la nécessité d'informer les enseignants afin de favoriser une intégration harmonieuse des nouvelles technologies et terminons sur diverses considérations sur la question de l'intégration des technologies dans le système éducatif.

#### **1.4.2. Représentations et usages chez de futurs enseignants**

La formation initiale des enseignants est reconnue comme un élément central pour la diffusion des nouvelles technologies dans le système éducatif. Mieux comprendre les contraintes qui pèsent sur cette formation renseigne sur les éventuelles difficultés d'intégration. Un premier bilan, concernant les écoles normales et les enseignants du premier degré ([42]) avait été dressé, mais la création des IUFM a conduit à remettre à plat la formation initiale des enseignants.

Concernant la place de l'informatique dans cette formation, pour évaluer les besoins, il fallait créer un dispositif adapté. Nous avons ainsi, avec Georges-Louis Baron, mis en place un observatoire, basé pour l'essentiel sur un questionnaire distribué à tous les étudiants s'inscrivant à l'IUFM de Créteil en première année. Ce dispositif a été complété par des séries d'entretiens d'étudiants de première année d'IUFM ou de seconde année. Un questionnaire similaire a aussi été distribué aux formateurs second degré de deux disciplines : mathématiques et histoire/géographie.

Ces premiers travaux, initiés en 1992, ont conduit à l'élaboration d'un rapport interne INRP ([57]), et deux articles ([19], [22]). Une description de la situation de l'informatique dans la formation des enseignants en France a donné lieu à un article en langue anglaise ([18]).

Le questionnaire destiné aux étudiants entrant en première année a été administré de

manière régulière, ce qui nous a permis de mettre en perspective les résultats obtenus sur cinq ans ([34] et [15]<sup>22</sup>). Le tableau 2 donne les effectifs des trois années sur lesquelles s'appuient les comparaisons effectuées. Si le questionnaire a aussi été distribué en 1993, son faible taux de retour, dû à un suivi plus lâche lors de l'inscription, nous a déterminé à l'exclure des comparaisons.

	n(92)	n(94)	%	n(96)	%
Professeurs d'école	411	743	81%	765	72%
Lettres	61	95	65%	44	72%
Langues	93	174	55%	83	66%
Sciences humaines	116	157	65%	113	71%
Sciences	68	75	77%	49	65%
Technique	53	87	69%	139	72%
Arts	34	49	67%	44	68%
<b>Total</b>	<b>836</b>	<b>1380</b>		<b>1237</b>	
<b>Taux de réponse globaux</b>	<b>70%</b>		<b>72%</b>		<b>71%</b>

Tableau 2. *Enquête, étudiants de première année, IUFM de Créteil. Effectifs et pourcentages des répondants*

Je ne détaillerai pas les résultats obtenus, amplement décrits dans les articles mentionnés et dans [2], me contentant de souligner quelques évolutions notables.

Un quart des étudiants déclaraient avoir accès à un ordinateur à la maison en 1992, un tiers en 1994 et la moitié en 1996 (mais seulement un tiers dans les disciplines scientifiques). Le taux des étudiants déclarant avoir bénéficié de plus de 50 heures de formation avant leur inscription à l'IUFM a grandi de manière significative, mais de façon différente selon les disciplines (les étudiants des disciplines scientifiques ont toujours des scores élevés, ceux des disciplines littéraires des scores faibles). Environ la moitié des étudiants prétendaient en 1992 avoir une certaine pratique des outils informatiques, proportion à peu près identique dans les champs disciplinaires sauf en ce qui concerne le technique où il est élevé. En 1994, cela montre aux deux tiers et à 70% en 1996. Toutefois, on peut relever des différences suivant le type d'outil considéré. Ainsi, pour le traitement de textes, 40 % affirmaient avoir une pratique en 1992, 60% en 1996. Les chiffres sont beaucoup plus bas pour le tableur : seulement 14% en 1992, 25% en 1994 et 35% en 1996. Mais la proportion de ceux déclarant avoir une certaine pratique des bases de données est restée stable autour de 10%.

Nous avons également étudié les opinions des étudiants sur la place de l'informatique dans l'éducation ainsi que leurs attentes dans la formation à l'IUFM. Si l'on constate une amélioration globale du niveau d'intérêt concernant l'informatique dans l'éducation et du niveau d'attentes pour la formation en IUFM, il se confirme, qu'à l'exception notable des disciplines techniques, il reste encore un long chemin à faire avant que les technologies de l'information ne fassent partie du bagage culturel des futurs enseignants. Les universités ont des difficultés pour favoriser l'usage des nouveaux instruments logiciels, du fait de leur organisation et de l'accroissement de la population auquel elles doivent faire face. Les instituts de formation d'enseignants ont ainsi une responsabilité importante pour apprendre à leurs stagiaires à utiliser les nouvelles technologies dans leur discipline.

<sup>22</sup> Ce questionnaire a également été distribué en juillet 1998. Son traitement est actuellement en cours. Il devrait permettre de donner une image de la situation récente, à la suite des nombreux discours autour de l'importance des technologies d'information et de communication.

Si les travaux effectués portent essentiellement sur les points de vue initiaux des étudiants entrant à l'IUFM, ils sont complétés par des études exploratoires des opinions des stagiaires de seconde année<sup>23</sup> et par une étude de l'offre et de la demande de formation. Des enquêtes analogues ont été menées à l'IUFM de Grenoble et à l'IUFM de Dijon, confirmant pour l'essentiel les résultats obtenus à Créteil.

Si on constate globalement un accroissement de la maîtrise des outils informatiques et du niveau de formation, cela s'accompagne d'une certaine uniformisation des usages personnels déclarés (les aspects jeux et programmation disparaissent) et des types de logiciels utilisés. Ainsi, si certaines applications, centrées essentiellement sur la production de documents, se répandent de manière importante, il ne semble pas que la vision des potentialités générales de l'informatique s'élargisse véritablement.

Dans le cadre des priorités définies par le ministère de l'éducation, s'impose à tout IUFM de développer une politique qui permette à tout enseignant qui y est formé :

- d'acquérir une maîtrise minimale des outils liés aux techniques d'information et de communication, que ce soient les outils de bureautique, d'accès à l'information (lecture de cédéroms, recherche et navigation sur internet) ou d'échanges d'informations (messagerie),
- d'effectuer une première approche des logiciels spécifiques de sa discipline ou des enseignements qu'il devra assurer,
- d'observer et/ou mettre en œuvre des séquences d'enseignement utilisant les nouvelles technologies.

Les études précédentes montrent que l'atteinte de tels objectifs nécessite la mise en place de politiques volontaristes. Elles indiquent également que plusieurs hypothèses a priori plausibles sont fausses. Ainsi, on pourrait croire que les enseignants les plus jeunes, ayant « baigné » dans l'informatique au cours de leur formation initiale, sont plus favorables à leur développement que les plus anciens. Il n'en est rien. En revanche, il semble que les enseignants ayant exercé une autre profession avant d'entrer à l'IUFM soient les mieux disposés. On ne peut donc s'attendre à ce que progressivement les nouveaux enseignants intègrent l'informatique, puisqu'ils ne sont pas encore convaincus de leur utilité dans l'éducation, autrement que pour leur propre usage.

De même, les études montrent que, concernant les disciplines technologiques et professionnelles, l'intégration n'est plus véritablement un problème. Les futurs enseignants de ces disciplines sont en grande majorité équipés, formés et favorables au développement de l'informatique dans l'enseignement. Par tradition, l'instrumentation est intégrée et la présence d'équipements dans les établissements, le bon niveau de maîtrise de l'informatique par les enseignants ainsi que leur acceptation de la programmation didactique favorisent l'ouverture vers les usages pédagogiques généraux des ordinateurs.

Les disciplines scientifiques, notamment les mathématiques, ne semblent pas avoir de meilleures opinions que les autres disciplines en ce qui concerne le rôle de l'informatique dans l'éducation, particulièrement pour ce qui a trait à l'évolution même des contenus enseignés, alors que les outils informatiques qui se développent prennent en charge une partie non négligeable de ce que l'on exige actuellement des élèves. Il semblait intéressant de mieux

---

<sup>23</sup> En mars 1998, un questionnaire a été administré à l'ensemble des stagiaires de second degré de seconde année à l'IUFM de Créteil. Le taux de réponse est de l'ordre de 95%. L'analyse des réponses est en cours.

comprendre leur position. En effet, le lien entre la socialisation des instruments et les processus d'innovation dans l'éducation reste difficile à appréhender. Or, le plus souvent, les technologies dites nouvelles, de par leur caractère de nouveauté, ne sont pas encore socialisées. On essaye d'imaginer leur intégration dans le système éducatif en se projetant dans le futur, sans toujours bien comprendre les phénomènes de diffusion et de socialisation. Afin d'identifier des obstacles à l'intégration des technologies, en jouant sur la polysémie du mot conception, on peut s'interroger en quoi les conceptions des acteurs de terrain, les enseignants, influencent la conception des instruments informatiques.

### **1.4.3. La question des instruments : l'exemple de la calculatrice**

#### 1.4.3.1. Pourquoi s'intéresser à une telle question ?

Comme je l'ai déjà rappelé, la question de l'intégration des technologies dans l'enseignement scolaire est souvent obscurcie par leur incessant renouveau, leur apparente rupture par rapport aux générations précédentes, ce qui incite à ignorer un peu rapidement les leçons du passé. Essayer de questionner l'intérêt réel d'une telle intégration et de mieux cerner les obstacles éventuels qui la freinent voire l'empêchent est un sujet d'étude et de recherche important. Aborder ce problème d'une manière trop générale ou s'intéresser à des technologies trop récemment apparues sur la scène éducative amène à des résultats sans conteste intéressants mais qui, d'un côté, fournissent des visions un peu larges, difficiles à rapporter aux différentes disciplines et aux différents niveaux d'enseignement et, de l'autre, butent sur des phénomènes encore trop liés à l'innovation et des discours fortement décalés par rapport aux réalités du terrain.

Le cas des mathématiques est par lui-même spécifique : tout d'abord, par le rapport étroit qu'elles entretiennent avec l'informatique, à la fois dans la constitution de cette dernière comme discipline universitaire, et par les nombreux objets qu'ils ont en commun ; ensuite par le fait que l'informatique met à la disposition des enseignants et des élèves des instruments puissants qui peuvent se substituer au moins partiellement à des compétences auparavant considérées comme l'apanage des humains.

S'intéresser aux calculatrices, ou plus exactement aux calculettes, c'est analyser la place dans l'éducation d'objets que l'on peut considérer comme socialisés. On se débarrasse des raisons « paravent » expliquant un peu rapidement le non-usage des technologies de l'information dans l'éducation (formation, matériel...). On peut tenter d'analyser le poids des difficultés classiquement mises en évidence : adéquation entre programmes scolaires et logiciels, disponibilité du matériel, respect de l'égalité de traitement entre tous les élèves qui ne disposent pas chez eux des mêmes possibilités, etc.

Un premier repérage à l'école élémentaire ([16]) montrait les difficultés d'intégration de ces instruments à l'école, notamment le fait que bon nombre d'enseignants voyaient dans la calculatrice un instrument éducatif dont il faut soigneusement contrôler l'usage et qui risque de détourner les élèves des apprentissages des opérations de base si on l'autorise trop tôt. Une initiative du conseil général du Val de Marne a fourni l'occasion d'une étude plus complète au niveau des collèges. En effet, cette collectivité territoriale a décidé d'offrir, à la rentrée 1994 une calculatrice à chaque élève lors de son entrée en sixième (cette opération a été reprise à la rentrée 1995 puis reconduite pour les années 1996 et 1997). Cette décision, prise sur la base de recommandations de différents autorités du milieu éducatif, a ouvert des perspectives intéressantes pour les classes de collège.

Une étude complète a été menée, conduisant à un rapport interne [56] et à des publications spécifiques [7]. Ce rapport établit un état détaillé de la question et se fonde sur plusieurs études :

- analyse du prescrit par l'étude des programmes et des manuels
- analyse de la calculatrice fournie par le Val de Marne, sur les plans ergonomique et mathématique
- recueil par entretien du point de vue des élèves
- recueil par questionnaires du point de vue des enseignants (élémentaire et collège)
- test auprès des élèves de sixième de leur connaissance de la calculatrice.

Comme nous venons de l'exposer, réfléchir sur les usages scolaires des calculatrices permet de s'appuyer sur des études anciennes et d'étudier l'évolution des discours, des ressources et des programmes. C'est pourquoi, faire un point sur les prises de position « anciennes » est loin d'être inutile.

#### 1.4.3.2. L'évolution de la situation depuis la fin des années 1970

Les premières recherches concernant l'introduction des calculatrices dans l'enseignement français datent de plus de vingt-cinq ans (INRDP, 1972). De nombreuses études ont ainsi montré l'intérêt pédagogique des calculatrices pour la compréhension des mathématiques et les chercheurs et praticiens ont rapidement tenté de cerner les bénéfices attendus et de repérer les obstacles à un usage généralisé (APMEP, 1979). Dès la fin des années soixante-dix, des auteurs dressent ainsi le pour et le contre de l'usage des calculatrices dans l'enseignement (voir [7]).

Sans reprendre l'intégralité des arguments avancés, on peut toutefois souligner que la défense de l'utilisation des calculatrices s'articule autour d'une vision *expérimentale* des mathématiques et d'un plaidoyer pour les activités de calcul mental. Une analyse des causes des réticences (APMEP, 1979) montre qu'elles proviennent aussi bien des parents que des enseignants eux-mêmes : la référence des adultes à leur propre apprentissage dans lequel une maîtrise parfaite des techniques opératoires de calcul exact était exigée ; certaines pratiques pédagogiques ritualisées comme la présentation de situations de calcul simplifiées, construites sur des problèmes artificiels pseudo-concrets, dans lesquelles les suites de calcul aboutissent à des résultats entiers (des "comptes ronds") rendant inutile l'assistance d'une calculatrice ; le découpage séquentiel des programmes : l'addition doit être maîtrisée avant d'aborder la soustraction, idem pour la multiplication avant la soustraction, les "grands nombres" ne sont introduits dans les calculs que lorsque les élèves sont censés être capables de les identifier et de les estimer...

Si l'utilisation scolaire de la calculatrice est chaudement recommandée, les auteurs mettent en garde les enseignants. En cas de neutralité de l'enseignant, « *les difficultés viendront alors, du fait de la médiocrité des modes d'emploi, de la méconnaissance des élèves pour les possibilités de leur matériel, du mauvais usage qu'ils en feront, par paresse, facilité ou inexpérience* » (*ibid.*, p. 34). Ainsi, l'utilisation pédagogique est recommandée, mais sous plusieurs conditions (*ibid.*, p. 35) :

- que chaque élève puisse disposer à tout moment dans la classe d'une calculatrice ;
- qu'il sache discerner lorsque son utilisation s'avère rentable ;
- qu'il sache utiliser correctement cette machine sans intervention du professeur ;
- qu'il en connaisse les limites et puisse apprécier la justesse du résultat obtenu, ou la

précision de ce résultat.

Comme nous venons de le voir, cet ouvrage publié par l'APMEP propose, d'une part, un constat de la situation des calculatrices et de l'opinion des acteurs du système éducatif et, d'autre part, des recommandations et des mises en garde pour une meilleure prise en compte des instruments de calcul dans l'enseignement obligatoire. Les différentes questions concernant les calculatrices sont bien posées, notamment le fait que les enfants risquent de mal utiliser leur calculatrice si les enseignants ne les aident pas à les maîtriser. Ce dernier point est avéré et a des conséquences importantes.

En examinant la situation actuelle, on constate différents changements :

- l'inscription dans les programmes, bien qu'il resterait à définir des objectifs pédagogiques et des compétences attendues dans l'utilisation des calculettes et à proposer un ensemble de situations pédagogiques qui les illustrent ;
- l'intensification de la diffusion des calculatrices, avec une grande variété dans l'offre allant des simples calculettes quatre opérations avec éventuellement une mémoire, jusqu'aux modèles équivalents à des ordinateurs portables, permettant de gérer des fichiers et intégrant des logiciels spécialisés (tableur, calcul formel...) en passant par les calculatrices scientifiques ;
- le rejet de la programmation.

La place consacrée aux calculatrices dans les manuels scolaires est faible et il faut avoir recours à des livres spécialisés sur une machine précise pour avoir des progressions et un éventail suffisant de situations. On peut s'interroger sur les types et la fréquence des usages en classe, mais aussi essayer de voir comment l'opinion des enseignants a évolué.

#### 1.4.3.3. Quelques résultats issus des questionnaires et des entretiens

Il n'est pas question de passer en revue l'ensemble des résultats obtenus au cours de la recherche menée en 1995<sup>24</sup> mais de se concentrer sur quelques points saillants éclairant la position des enseignants de mathématiques vis-à-vis de l'usage scolaire des calculatrices.

Un certain nombre de propositions semblent rencontrer un fort assentiment de la part des professeurs de mathématiques de collège :

- L'apprentissage de la calculatrice doit se faire en classe (89%), avec le professeur de mathématiques (77%) mais l'élève doit pouvoir s'en servir dans d'autres disciplines (91%).
- La maîtrise des techniques opératoires est un préalable à l'utilisation des calculatrices pour 81% (point de vue partagé par 65% des instituteurs). La calculatrice est plutôt un frein (78%) au calcul mental et ne constitue pas une aide à l'apprentissage de ces techniques (75%), l'hétérogénéité des modèles étant un obstacle pour 73%.
- Les élèves utilisent souvent ou très souvent leur calculatrice chez eux (88%) et pour 93% des enseignants, leur sens critique vis-à-vis des résultats fournis par la calculatrice est faible ou très faible.

Mais la calculatrice n'est utilisée en classe, pour la plupart des enseignants, que rarement

---

<sup>24</sup> Le rapport interne ([57]) en fournit un compte-rendu complet. Précisons que deux séries d'entretiens ont été menés (élèves de sixième et élèves de troisième) et que l'envoi d'un questionnaire aux enseignants de mathématiques des 101 collèges du Val-de-Marne a permis de récupérer 162 réponses, correspondant à un taux de retour d'environ 50%.

voire jamais, que ce soit dans les activités de découverte et les exercices, encore moins durant les contrôles.

Une majorité pense qu'à l'entrée en sixième, l'élève ne doit pas forcément être capable de se servir d'une calculatrice (61%). Par ailleurs, elle ne constitue pas une aide pour la maîtrise des techniques opératoires (60%).

Un certain nombre de points apparaissent controversés :

- l'autonomie des élèves dans le maniement de la calculatrice ;
- que la calculatrice puisse favoriser un entraînement au raisonnement ;
- le fait que la calculatrice serve uniquement à vérifier des opérations faites à la main, bien que la majorité (56%) approuve cette restriction d'usage ;
- la place dans les manuels, quoique 51% la jugent plutôt suffisante ou très suffisante.

Enfin, les enseignants sont très partagés sur ce qui concerne les prescriptions pour l'usage des calculatrices à la maison.

Dans l'ensemble de ces résultats, il ne semble pas y avoir de différence notable suivant le sexe, l'âge ou l'ancienneté des enseignants.

De l'avis même des professeurs de mathématiques, si les élèves utilisent régulièrement leur calculatrice chez eux (ce qui est confirmé par les élèves), leur sens critique vis-à-vis des résultats fournis par la machine paraît faible. Pourtant, nombre d'enseignants ne jugent pas utile d'intégrer la calculatrice dans le travail de classe. Cette apparente contradiction s'explique par le fait que beaucoup d'entre eux estiment que les élèves sauront utiliser une calculatrice dès qu'ils en auront vraiment besoin. Un test effectué en collège et les discours des élèves de troisième montrent qu'il n'en est rien. En particulier, on a pu constater que la plupart des élèves (et certainement bon nombre d'enseignants) ne comprenaient pas la notion de mémoire.

Pour 81% des professeurs de collège et 69% des instituteurs, il est nécessaire de maîtriser les techniques opératoires avant d'utiliser une calculatrice. Les raisons qui motivent une telle position sont partiellement explicitées dans les réponses aux questions ouvertes des différents questionnaires.

Les résultats des évaluations nationales à l'entrée en sixième en 1994 peuvent permettre d'éclairer un peu le débat sur les techniques opératoires.

Champs	%
Numération et nombres décimaux	77,6
Techniques opératoires	71,8
Sens des opérations	45,0
Figures géométriques	68,9
Réception - traitement - production	55,9

Tableau 3 : Pourcentage de réussite en mathématiques à l'entrée en 6<sup>e</sup>  
Résultats par champ (DEP 95)

On remarque dans le tableau la distinction entre les techniques opératoires et le sens des opérations. La comparaison des pourcentages de réussite indique que *les difficultés des élèves ne semblent pas se trouver du côté des techniques mais plutôt sur la maîtrise du sens*. Ainsi,

les justifications pour repousser l'utilisation des calculatrices après la maîtrise des techniques afin que les élèves puissent comprendre le sens des opérations ne semblent pas avoir un fondement très solide.

#### 1.4.3.4. Discussion

La calculatrice, tout au moins sous sa forme calculette, est un objet actuellement socialisé. Les usages les plus répandus sont liés à la tenue des comptes familiaux, notamment les calculs associés à la déclaration de revenus. Par contre, du côté scolaire, l'usage dépend des points de vue des enseignants et des parents. La « coutume » tend à restreindre très fortement cette utilisation et à la cantonner à de simples activités de vérification de calculs effectués sans l'apport d'une calculatrice<sup>25</sup>. A partir de la quatrième, les exigences scolaires et la complexité des calculs conduit à une forme de libéralisation, aussi bien du côté des enseignants que du côté des parents.

Les enseignants sont finalement très réservés. Pour certains d'entre eux, la calculatrice est un outil didactique intéressant. Ils sont prêts à saisir l'opportunité d'une distribution auprès des élèves pour favoriser son utilisation en classe. Pour d'autres, ce n'est qu'une gêne, un mal nécessaire à partir de la fin du collège, il faut se battre pour éviter une trop grande contamination des élèves.

En étudiant les opinions exprimées par les enseignants, on se rend compte que pour favoriser l'intégration des calculatrices, on ne peut se contenter de montrer quelques situations pertinentes d'usage pour emporter l'adhésion. Les objections sont plus profondes et on ne peut passer outre sans convaincre les enseignants du bien fondé « local », c'est-à-dire dans des situations spécifiques, de l'usage des calculatrices, mais aussi plus « global », des progressions possibles et de la place dans les programmes de mathématiques. L'insertion des calculatrices pose des problèmes délicats. La maîtrise de cet objet complexe demande du temps. Pour un enseignant, l'introduire risque d'amener des résultats plutôt négatifs, à moins qu'il n'arrive à rééquilibrer, voire compenser, les activités d'entraînement liées aux calculs écrits. Remettre l'accent sur le calcul mental n'est sans doute pas inutile, mais l'environnement général (avis plutôt opposé aux calculatrices de nombreux parents et enseignants) rend le contexte peu favorable.

Le problème du statut scolaire de la calculatrice est loin d'être élucidé. S'agit-il d'un instrument de calcul<sup>26</sup>, auxiliaire de résolution, dont la maîtrise est nécessaire et qui renouvelle au moins en partie la façon de travailler en mathématiques ? Dans ce cas, il devrait être d'office autorisé dans toutes les activités, à l'exception de celles qui concernent strictement la maîtrise par les élèves des aspects calculatoires pris en charge par la machine. S'agit-il plutôt d'un outil pédagogique qui aide à l'acquisition de certains concepts, mais

---

<sup>25</sup> Nous avons signalé l'impact de la diffusion des plumes de fer pour l'organisation des enseignements dans les écoles primaires. La brochure de l'APMEP déjà citée (AMPEP 1979, p. 9) fournit un extrait d'un cours de pédagogie professé sous Louis-Philippe à l'École Normale de Rennes, (Promotion 1846-1848) : « Les plumes métalliques procurent une grande économie de temps, ainsi ont-elles fait invasion dans presque toutes les écoles. C'est là un mal dû à la paresse des instituteurs. La plume d'oie, par son élasticité, par la facilité avec laquelle on la taille pour tous les genres d'écriture, et par son prix modéré, a une supériorité incontestable. Néanmoins, on peut autoriser les plumes métalliques pour les dictées et les devoirs qui se font à la maison ». On retrouve la même idée, défendue par nombre d'enseignants, qui est restreindre l'usage d'un nouvel instrument à des tâches très circonscrites. Est-ce obligatoire dans une période de transition ?

<sup>26</sup> Notons que, par exemple, si les programmes de sixième précisent qu'il faut permettre à l'élève « d'acquérir et de parfaire l'usage d'instruments de mesure et de dessin », la calculatrice de poche n'est pas qualifiée d'instrument de calcul. En effet, si les programmes intègrent les calculatrices, aucune compétence exigible n'est véritablement explicitée, mis à part le fait d'être capable d'appuyer sur certaines touches.

n'intervient que dans le cadre d'un appareillage technologique particulier devant rester sous le contrôle strict de l'enseignant ? Entre les deux, se profile un aveu d'impuissance du système qui ne sait pas comment traiter des instruments dont le contrôle lui échappe au moins partiellement.

Les calculettes sont des objets techniques et il semble important de s'assurer de leur maîtrise minimale par les élèves. Le rejet de la programmation et l'absence de référence en ce domaine dans les programmes scolaires rendent cette maîtrise problématique. La programmation était mise en exergue à la fin des années soixante-dix. Elle demeure présente dans de nombreux ouvrages consacrés à une calculatrice particulière, surtout en lycée (*mathez votre calculatrice*, titre d'un ouvrage à destination des lycéens). Elle était le liant qui a finalement disparu, le facteur d'adaptation aux programmes et une occupation intéressante pour les enseignants avancés.

Si beaucoup de discours autour de l'informatique se focalisent sur la qualité des interfaces, jugée indispensable pour une certaine diffusion, on peut noter que, sur ce point, la plupart des calculatrices du commerce sont loin d'être irréprochables. Ainsi, très souvent, les signes opératoires ne sont pas affichés et il n'y a pas de retour sur l'expression courante calculée rendant malaisés les corrections éventuelles et les contrôles.

En dehors des aspects purement recherche, le bilan du travail avec le conseil général du Val de Marne est mitigé. Les défauts de conception du premier modèle retenu et sa trop grande fragilité ont conduit à élaborer un nouveau cahier des charges et au choix d'une calculatrice plus adaptée aux élèves de collège. En revanche, le département n'a pas souhaité renforcer ces liens avec les autorités éducatives, aucune dynamique de formation n'a été lancée et aucun document d'accompagnement n'a été élaboré. Il semble que les autorités départementales préfèrent cantonner leur intervention dans l'achat des équipements pour les collèges ou pour les élèves, sans s'immiscer dans des débats pédagogiques difficiles. Cet exemple illustre la place peu assurée des instruments dans l'enseignement des mathématiques.

Cette étude sur les calculettes montre que l'usage des *auxiliaires électroniques* reste très problématique. Ces derniers invitent à des remises en cause, auxquelles ne semblent préparés ni les enseignants ni les institutions. Les quelques lignes qui suivent, extraites du récent rapport sur l'école de la commission présidée par Roger Fauroux, l'attestent d'une manière plutôt virulente.

*« Il est stupéfiant d'entendre certains enseignants, souvent mais pas toujours « littéraires », et par ailleurs bien intentionnés, soutenir que la multiplication des calculettes, la baisse faramineuse de leur prix relatif, la merveilleuse diversification de leurs fonctions rendent aujourd'hui nécessaire, non plus l'apprentissage du calcul sur le mode archaïque du problème de robinets, mais celui de l'emploi de ces prothèses électroniques, qui font appel, disent-ils, aux mêmes capacités de raisonnement. Cette conception de la modernité de l'École et de l'aptitude aux apprentissages, eût-elle l'onction des sciences de l'éducation, est totalement indéfendable. Les actifs, les parents et beaucoup de professeurs siégeant en qualité de parents dans les conseils d'administration des collèges ou des lycées le savent et la combattent. Nos jours et nos années se passent à faire dans les situations les plus diverses des opérations arithmétiques, à établir des proportions, à supputer des ordres de grandeur, à évaluer des surfaces, des volumes, des distances, des durées. En attendant l'avènement de la monnaie unique ou du système métrique universel, nous pratiquons des conversions. Il n'est pas raisonnable d'inviter nos enfants à affronter les traverses de la vie quotidienne et de la vie professionnelle une calculatrice à la main. Celle-ci doit être réservée aux approximations précises des calculs scientifiques, techniques et financiers ou, à la rigueur, aux examens scolaires. » (Fauroux et Chacornac, 1996, p. 63)*

Au-delà du ton péremptoire de ce texte, ne laissant aucune place à un quelconque doute sur les propos avancés, bornons-nous à constater une nouvelle fois qu'il s'agit toujours de

restreindre l'usage de nouveaux instruments. Ceci montre bien les contraintes antagonistes qui pèsent sur les enseignants : il faut qu'ils intègrent les nouvelles technologies, malgré les difficultés de toutes sortes qu'ils sont susceptibles de rencontrer, mais ne doivent pas les utiliser quand elles ne correspondent pas à ce qui est traditionnellement enseigné ! Souhaitons que la réflexion collective des enseignants puisse se développer afin que des solutions raisonnables se dessinent peu à peu.

#### 1.4.4. La place des instruments dans l'enseignement des mathématiques

L'un des points d'achoppement est certainement celui de l'information encore trop parcellaire des enseignants, alors qu'il est clair qu'ils jouent un rôle central et qu'il peut sembler important que nombre d'entre eux révisent leurs conceptions. Aussi semble-t-il éminemment utile de poser le mieux possible les problèmes et donner accès aux enseignants à une littérature qui leur est destinée. S'il s'agit déjà de valoriser les recherches dans le domaine, il est aussi question d'informer les enseignants et loin de discours trop généraux et trop zélés des technologies, de leur faire comprendre les enjeux. J'ai ainsi proposé et coordonné un numéro spécial de l'*Ingénierie Educative* consacré aux outils de traçage et de calcul [25]. 7 000 exemplaires ont pu être distribués via les CRDP dans les lycées. Ce dossier a été complété dans la revue *Medialog* [26] et par un article publié dans la revue de l'APMEP [21]. Ce dernier essaie de montrer l'importance que peuvent revêtir les nouveaux instruments intégrés aux calculatrices, notamment avec les possibilités de traçage de courbes et de calcul formel.

L'intégration d'outils informatiques dans l'enseignement des mathématiques implique de se poser la question de la place que l'on peut leur attribuer et du rôle qui peut leur être dévolu. Cette question de l'intégration peut, entre autres, se poser à deux niveaux différents. Le premier, que l'on peut qualifier de global ou macroscopique, est de nature plutôt institutionnelle et renvoie à des analyses de type sociologique. Le second, local ou microscopique, est celui des activités menées quotidiennement dans les classes et renvoie à la discipline enseignée. L'interaction entre ces deux niveaux d'intégration est essentielle et conditionne la place qui peut être prise par les instruments. La formation initiale des enseignants joue certainement un rôle clé, et l'utilisation des « instruments mathématiques interactifs » ([35]) devrait y avoir une place importante.

Sur cette notion même d'instrument, notamment dans des études consacrées à l'activité de résolution de problèmes à l'aide d'une calculatrice, les psychologues ont bien mis en évidence les difficultés à passer des procédures manuelles aux commandes d'une machine (Friemel & Weil-Barrais 1984, Friemel & Richard 1987, Nguyen-Xuan 1994). En effet, deux logiques différentes doivent coïncider : la logique de fonctionnement de la machine, c'est-à-dire les commandes du dispositif dont il faut connaître les effets et les modifications apportées au cours du processus de résolution, et la logique de l'utilisation qui concerne les différentes procédures à utiliser, les suites d'instructions à suivre, pour obtenir un résultat donné.

Dans les activités éducatives, on peut considérer les instruments sous un double aspect :

- du côté des élèves, ils influencent profondément la construction des savoirs et les processus de conceptualisation,
- du côté des enseignants, ce sont des variables sur lesquelles on agit pour la conception et le contrôle des situations pédagogiques.

Sans détailler ici, les processus de genèse instrumentale, d'instrumentation et d'instrumentalisation (Rabardel 1995), il est important de se rappeler que les instruments ne

peuvent être neutres vis-à-vis des apprentissages.

Sur le thème de l'intégration des technologies de l'information et de la communication dans l'éducation, j'ai coordonné plusieurs recherches au sein du département TECNE de l'INRP avec Georges-Louis Baron. Quels sont les facteurs qui favorisent l'intégration ? Quels en sont les obstacles ? Ces recherches tendent de répondre à ces questions. Ainsi on trouvera une analyse des problèmes d'intégration dans [11], dans le rapport de recherche [54], ainsi que dans les actes de journées d'étude [52] et dans le rapport final de la recherche « L'intégration des TIC dans le système éducatif : instruments, acteurs, systèmes » qui devrait être terminé avant fin 1998. Le séminaire ([27] et [28]) amène des axes de réflexion provenant de différentes disciplines.

Un des éléments essentiels dans les recherches menées à l'INRP autour de la question de l'intégration de l'informatique dans l'éducation est celui des prescripteurs. En effet, l'utilisateur final, l'usager, est plutôt l'élève, bien que cela ne soit pas lui qui décide du choix des outils. Une chaîne complexe de prescription intervient, l'enseignant étant le prescripteur ultime. L'une des hypothèses étudiée est de regarder si le fait de favoriser l'appropriation par les enseignants des nouvelles technologies pour effectuer leurs productions personnelles et professionnelles, permet un transfert d'une pratique personnelle vers une pratique scolaire avec les élèves. Cette hypothèse se révèle à l'analyse peu fondée (voir [6] pour une étude générale et [7] pour une réflexion fondée sur les problèmes d'intégration des calculatrices).

Une autre piste de réflexion est de comparer les solutions, ou plus simplement les fonctionnements, adoptés dans d'autres pays. Les réunions des groupes de travail de l'IFIP permettent de développer des analyses comparatives. Les visites de chercheurs étrangers (notamment Don Passey de l'université de Lancaster et Bridget Somekh de l'université d'Huddersfield) à l'INRP ouvrent à des comparatifs basés sur une connaissance approfondie du terrain et un travail de ce type est en cours avec Don Passey<sup>27</sup>.

#### 1.4.5. Quel bilan peut-on tirer ?

Les différentes études que je viens d'évoquer éclairent l'insertion actuelle de l'informatique dans l'éducation et rendent compte de l'opinion des différents acteurs, élèves, enseignants et futurs enseignants. Complétées par des travaux sur l'histoire des technologies éducatives, elles fournissent des indices sur le devenir des nouvelles technologies de l'information et de la communication dans l'éducation.

La banalisation croissante des outils ou objets informatiques ne conduit pas nécessairement à une intégration harmonieuse dans le système scolaire. L'alphabétisation, qui semble nécessaire, est encore trop embryonnaire pour assurer à chacun une maîtrise suffisante des technologies informatiques. Les usages en tant que technologie éducative, associés à des processus d'innovation, sont soumis à des effets de seuil. En fait, l'intégration des outils se fait au prix d'un appauvrissement de leurs possibilités et il y a un risque certain d'une stabilisation autour de quelques modes d'usages particuliers limités. On peut regretter une nouvelle fois le rejet actuel de tout apprentissage de la programmation qui prive les élèves d'une grande part d'intérêt et de compréhension des nouveaux instruments informatiques.

S'agissant des démarches de conception d'environnements d'apprentissage, s'intéresser

---

<sup>27</sup> Nous préparons, avec Georges-Louis Baron, une étude détaillée de la situation aux Etats Unis et notamment des grands axes de développement dans les districts et les *colleges of education*, structures « analogues » aux IUPM.

aux usagers des technologies dans l'éducation est certainement essentiel. Cette notion d'utilisateur recouvre non seulement les élèves et les enseignants, mais également tous ceux susceptibles d'avoir un rôle de prescription. S'intéresser aux prescripteurs, c'est tenter de rendre compte de processus complexes d'insertion des logiciels éducatifs dans les systèmes sociaux particuliers, question qui émerge des obstacles constatés à l'intégration de l'informatique dans le système éducatif.

Ce qui évolue certainement, ce sont les ressources mises à disposition des enseignants ou des élèves, ressources qui ne sont pas de simples avatars des livres ou des images mais incluent, de par les possibilités offertes par l'informatique, des processus et peuvent au moins en partie jouer le rôle de guide, d'assistant ou de professeur.



## 1.5. Éléments de synthèse d'un parcours de recherche

Dans ce document, je me suis attaché à décrire mon cheminement de chercheur. Partant d'une position de concepteur et de développeur d'applications éducatives, utilisant des techniques d'intelligence artificielle et d'hypertextes, j'ai ensuite essayé de comprendre les raisons des difficultés d'implantation des produits. Un détour par les sciences humaines m'a semblé indispensable pour cela. Reprenant une position d'informaticien, je vais essayer de montrer en quoi ce parcours nourrit mes directions de recherche actuelles.

Auparavant, il peut être intéressant de rappeler quelques évolutions notables dans le champ de l'EIAO (voir [1]).

### 1.5.1. Quelques évolutions en EIAO

En effet, depuis la fin des années cinquante, d'importants changements se sont produits, notamment concernant la conception de la notion de connaissance et de ses modes d'appropriation par les apprenants.

Les recherches autour de l'enseignement programmé, reprenant des idées issues de la cybernétique, ont privilégié des modèles de transmission, les connaissances se confondant en quelque sorte avec des comportements observables. Elle vont rapidement buter sur leur incapacité à raisonner dans le domaine de connaissance, sur l'enseignement et sur l'élève. Dès la fin des années soixante, la complexité des programmes à construire, du fait de la nécessité de prévoir à l'avance toutes les réactions des apprenants et les branchements en conséquence, montre que d'autres bases s'avèrent indispensables.

Reprochant aux programmes d'EAO de rarement connaître ce qu'ils sont censés enseigner puisqu'ils s'avèrent incapables de répondre aux questions des apprenants, Siklóssy (1970) cherche à aller au-delà des programmes génératifs pour concevoir ce qu'il nomme des *tuteurs qui connaissent ce qu'ils enseignent* et décrit comment construire des tuteurs artificiels connaissant suffisamment leur sujet pour au moins répondre aux questions qui s'y rapportent. Cela ouvre la voie à l'utilisation des techniques d'intelligence artificielle pour améliorer les programmes d'enseignement. Si les recherches sur les tuteurs intelligents vont susciter des légitimes espoirs, elles vont buter sur l'incapacité des programmes à raisonner sur le processus de construction des connaissances par l'apprenant. Ainsi, malgré la grande diversité des approches suivies, des interrogations profondes vont subsister sur les mécanismes d'apprentissage.

Le courant dit de la cognition située amène un changement de paradigme, en rupture nette avec les approches symboliques de la cognition. Pour ses tenants, la connaissance est constamment créée et prend sens au travers des interactions sociales, ce n'est pas un processus qui se déroule exclusivement dans la tête des individus. Le problème est donc de concevoir des outils informatiques qui améliorent les processus quotidiens par lesquels les personnes construisent leurs propres connaissances des tâches et les méthodes qui structurent leurs comportements.

Ainsi, on passe peu à peu de modèles d'acquisition vus comme des modèles de transmission, à des modèles intégrant négociation, apprenti(ssage), exploration, construction guidée. Aux deux extrêmes sont la transmission, avec la métaphore du récipient à remplir, et l'engagement signifiant de l'apprenant, vu comme un artisan. On passe de modèles de

communication à des modèles d'action et de participation, des tuteurs intelligents aux outils pour apprendre.

Un point révélateur est l'affirmation progressive de la dimension sociale de la connaissance. Ce passage de l'aspect individuel au collectif a de multiples déterminants. En réaction vis-à-vis du modèle d'enseignement collectif dominant dans les organisations scolaires, l'enseignement programmé prône l'individualisation, largement défendue par de nombreux pédagogues. Mais les psychologues s'intéressant à la construction sociale de l'intelligence, vont montrer l'intérêt de la confrontation entre pairs (Perret-Clermont, 1979). Le courant de l'apprentissage situé renforce le passage vers le coopératif. Cependant, l'idée d'intelligence collective se développe largement hors du champ de la psychologie. Le monde de l'entreprise change, le travail en équipe est reconnu comme étant une nécessité. Aux performances purement individuelles se substitue l'organisation collective. Les modèles scientifiques évoluent eux aussi.

### **1.5.2. Évolution de l'informatique**

En effet, cette évolution n'est pas uniquement perceptible dans les théories sur l'enseignement et l'apprentissage, l'informatique elle-même a évolué dans des directions similaires. Ainsi Ferber (1995, p. 7) considère le projet de l'intelligence artificielle comme inaccessible à cause « du manque d'interaction des programmes avec l'extérieur et dans l'absence d'insertion dans une communauté d'autres entités intelligentes de même nature ». L'intelligence artificielle distribuée, les sociétés d'agents prennent une place grandissante dans les recherches.

L'évolution des performances des ordinateurs accompagne également cette transition de l'individuel vers le coopératif. Si les recherches, notamment en intelligence artificielle, se sont peu à peu orientées vers des préoccupations coopératives, elles ont montré effectivement comment une machine pouvait traiter des connaissances. La différence entre les projets initiaux de l'intelligence artificielle et les recherches sur les hypertextes illustrent bien les enjeux liés à une vision particulière de la connaissance. L'intelligence artificielle a développé des techniques de représentation des connaissances puis de traitement de ces connaissances pour résoudre automatiquement des problèmes ou réaliser des tâches. Les hypertextes ont eu pour finalité essentielle, depuis l'origine, d'aider l'homme à organiser et à structurer des masses d'informations et à l'assister dans ses tâches d'interprétation. Dans un cas, c'est la machine qui traite les connaissances et le problème se pose de contrôler le raisonnement de la machine et d'expliquer ce dernier. Dans l'autre, l'homme a la charge de les traiter, la machine l'assiste pour cela. Les représentations qui vont être privilégiées ne seront pas les mêmes dans les deux cas, dépendantes de l'acteur (homme ou machine) qui a la charge de l'interprétation et du traitement.

S'agissant d'automatiser des tâches ou d'assister l'homme dans la résolution de problèmes, puisque le plus souvent ce que l'on a cherché à automatiser, on l'a « dégradé » en assistance (à la résolution, à la décision, etc.), la machine n'assurant qu'une part de traitement. En ce sens, l'informatique manipule des connaissances, les représente, les objective ou les réifie et fournit des moyens de les traiter. Si pour les contextualistes, les structures stockées dans les mémoires de ordinateurs ne correspondent pas aux connaissances qui sont dans la tête des humaines, les connaissances sont néanmoins partiellement caractérisées par les traitements que l'on peut effectuer dessus.

Ainsi, peu à peu s'est affirmée l'idée que les connaissances ne sont pas tant dans les instruments que dans les personnes et les communautés qui les utilisent. Des points de vue issus des sciences humaines ont peu à peu investi l'informatique, notamment par le biais des approches situées et des analyses anthropocentriques. Dans la conception des systèmes d'information, les démarches participatives se sont développées et l'utilisateur est intégré dans la boucle de conception. Les aspects coopératifs prennent une place grandissante et les architectures sont de plus en plus distribuées. Les applications à l'éducation recherchent une synergie entre préceptorat artificiel et préceptorat humain dans le cadre de ce que l'on appelle maintenant l'EIAH (Environnement informatique pour l'apprentissage humain). Une grande attention est portée à la conception des interfaces personne-machine et il est maintenant bien établi que les systèmes ont besoin des capacités d'interprétation des utilisateurs.

### 1.5.3. Retour sur le parcours personnel

Mon parcours personnel est en phase avec les évolutions précédemment évoquées. Il est d'abord constitué d'une phase de conception de produits qui a permis d'explorer de nombreuses approches. Nombre d'entre elles sont encore d'actualité. Les travaux autour du FILICOUPEUR s'inscrivent dans le courant de la robotique pédagogique et notamment de l'approche LEGO-LOGO. LOGO-CONTE préfigure les approches narratives (Waraif, 1998), dont l'un des atouts est de soutenir la motivation des apprenants. APILOG constitue un premier exemple de livre électronique. Le calcul formel est maintenant développé en lycée, dans les classes préparatoires ainsi qu'en premier cycle universitaire.

D'autres approches ont été abandonnées. On peut ainsi se demander pourquoi la programmation objet n'a pas eu une plus grande influence dans l'éducation. Sans doute, les formes de raisonnement associés ne sont pas très familiers des enseignants et, à l'époque, la querelle d'arrière-garde entre LOGO et BASIC, souvent fondée sur une référence erronée à des pratiques de programmation dans les entreprises, n'a pas aidé à progresser rapidement. L'évolution de la technologie est considérablement plus rapide que celle des idées dans l'éducation et, au moment même où de très bons environnements objets auraient pu être disponibles, l'ostracisme face à la programmation a bloqué leur intégration.

Une deuxième phase dans mon parcours a été consacrée à l'étude des problèmes d'utilisation éducative de l'informatique dans l'éducation, notamment à la dimension organisationnelle de l'enseignement qui contraint fortement les formes d'intégration possible et à l'analyse des conceptions des enseignants. J'ai consacré un certain nombre de pages aux problèmes des calculatrices, essayant de montrer en quoi cet exemple pouvait nous faire mieux comprendre certains obstacles dans l'intégration des technologies. On constate que les pratiques varient lentement, de même que les conceptions des enseignants et ces derniers doivent faire face à des injonctions paradoxales.

Le domaine des applications de l'informatique à l'éducation est vaste et il est difficile d'en aborder tous les aspects. Ainsi, je me suis peu intéressé à l'enseignement à distance. Dans la conception des environnements d'apprentissage, je me suis plutôt focalisé sur la résolution de problèmes, les mathématiques ayant longtemps constitué un terrain d'expérimentation privilégié. Intéressé d'abord aux techniques issues des recherches en intelligence artificielle, avant de privilégier les aspects hypertextuels, j'ai porté mon attention sur l'activité des apprenants et l'apport des solveurs. J'ai laissé de côté les théories centrées sur l'instruction et le design pédagogique. Il me semble qu'elles sont encore trop embryonnaires pour fonder véritablement la conception des environnements d'apprentissage. Dans un article récent,

Duchastel (1998) constate la nécessité d'un renforcement des théories psychologiques de l'apprentissage. Il qualifie même d'aventuriers les théoriciens de l'*instructional design*, vu la complexité du contexte scolaire et la pauvreté de la psychologie de l'apprentissage. Il prône l'élaboration d'une théorie unifiée et complète de l'*instructional design* dont il tente de dessiner les contours. C'est une direction de recherche qui me paraît essentielle.

Mes recherches récentes vont consacrer un retour à des préoccupations plus informatiques, nourries par une vision issue des sciences humaines, en phase avec l'évolution concomitante de l'informatique. Cette dernière permet de rendre effectives de nouvelles fonctionnalités, reste à les organiser dans des globalités cohérentes et signifiantes pour les utilisateurs, compatibles avec leurs pratiques.

## 2. Des recherches en cours : du livre imprimé au livre électronique

Les techniques hypertextes ont connu une diffusion extraordinaire ces dernières années, du moins celles liées à la navigation, désormais classiques dans nombre de produits grand public ([14]). Derrière la grande variété des applications possibles de ces techniques, on peut distinguer deux grandes catégories. La première les intègre dans des produits finis à destination d'usagers n'ayant pas à proprement parler de tâches de conception et correspondant à des choix de parcours déjà balisés. La seconde les considère comme partie intégrante d'activités de recherche et de conception, fournissant une aide à la compréhension et à la structuration d'un ensemble de documents, une assistance pour le balisage et l'interprétation. Une approche médiane consiste à utiliser les techniques hypertextes pour faciliter le travail d'un usager dans ses propres tâches de structuration et de conception. Les recherches décrites ci-dessous illustrent ces différents points de vue.

Dans le domaine de l'éducation, je m'intéresse aux ressources sur lesquelles s'appuient enseignants et apprenants, que ce soient des manuels scolaires ou des dictionnaires. Leur passage du support papier au support électronique pose d'intéressantes questions de recherche tant au plan de la production que de l'intégration dans les pratiques éducatives.

L'informatisation amène indubitablement des fonctionnalités : des possibilités de recherche accrues, une gestion des aspects contextuels (c'est-à-dire liés aux tâches à effectuer), une plus grande facilité dans les modes d'accès, de nouvelles capacités de mise en relation, des processus dynamiques, etc. Une hypothèse est que cette informatisation permet également de réduire une certaine complexité, liée aux exigences croissantes pesant sur ces ressources. En effet, manuels scolaires et dictionnaires, conçus pour des utilisateurs et des usages multiples, apparaissent de moins en moins simples. Leur statut dans l'éducation, tout comme celui de la calculatrice<sup>1</sup>, est encore flou. Ils sont scolarisés, à l'évidence pour les manuels, mais ils se sont énormément transformés ces vingt dernières années, et, pour ce qui concerne les calculatrices et les dictionnaires, des versions « adaptées » aux classes ou à l'âge des apprenants sont apparues.

Concevoir des objets électroniques, partant de « précurseurs » sous format imprimé, de telle sorte qu'ils puissent s'intégrer dans les processus éducatifs, conduit à s'intéresser à l'analyse des pratiques existantes et même à l'histoire de ces pratiques et de ces livres (dictionnaires et manuels scolaires). On pourrait en effet réfléchir en termes de rupture, jugeant que les objets à concevoir recèlent des capacités tellement nouvelles qu'ils vont inmanquablement induire des usages radicalement différents. Il semble toutefois plus raisonnable, de par la permanence des organisations, des structures et des pratiques, de tabler sur une certaine continuité et donc de s'interroger sur les usages réels. L'analyse de ces derniers permet en partie de fonder la conception. Elle se révèle malheureusement souvent décevante, les apprenants n'ayant pas développé les compétences nécessaires à l'émergence d'utilisations créatives.

---

<sup>1</sup> La calculatrice constitue sans doute le premier exemple de transfert vers l'électronique de documents papiers (tables d'opérations, tables de logarithmes) et d'instruments mécaniques (règles à calcul). Les capacités de calcul ont ainsi été décuplées, mais on peut constater de fortes résistances, comme nous l'avons vu précédemment, dans le développement des pratiques scolaires utilisant cet instrument.

Une autre source d'inspiration est l'observation d'experts, ayant développé des usages performants, permettant d'imaginer des fonctionnalités nouvelles basées sur leurs pratiques. La question est alors de comprendre comment favoriser le transfert ou la traduction de ces pratiques expertes auprès d'utilisateurs novices. On peut espérer que l'informatisation pourra fournir non seulement les fonctionnalités adéquates pour faciliter la mise en œuvre de ces pratiques, mais également les assistances nécessaires. Ainsi, en passant du papier à l'électronique, l'idée est d'ouvrir d'autres possibilités et d'essayer de développer des usages fondés sur le transfert de pratiques d'experts. Identifier les compétences nécessaires des apprenants, trouver une certaine compatibilité cognitive entre les ressources proposées et leurs capacités, mais aussi s'assurer que des pratiques pourront s'installer, sont des objectifs intégrés à la conception.

Dans ces transferts vers des supports électroniques induisant une conception nouvelle, les techniques hypertextes jouent un rôle majeur. Hypertextualiser un document conduit, dans un premier temps, à une certaine segmentation de l'information. Différents blocs, supposés relativement indépendants, sont ainsi constitués et peuvent être visualisés par un utilisateur. Or dans un cadre d'apprentissage, il s'agit de recomposer ces blocs dans des structures significatives. De telles structures ne sont pas entièrement déterminées par le cheminement de l'utilisateur dans la base et on ne peut les inférer que de manière indirecte à partir de tâches censées être accomplies. Favoriser l'émergence de telles structures est finalement le but du concepteur. Soit on suppose que les situations installées par l'enseignant vont permettre à l'apprenant de les construire, soit on peut essayer de l'y aider en présentant déjà des structures adaptées ou en fournissant des outils complémentaires d'aide à la structuration. Dans ce cas, on peut soutenir les processus de reconceptualisation par des outils de recherche, d'analyse, de comparaison, etc., ou en offrant de multiples entrées possibles. On arrive alors à un certain degré de complexité, nécessitant un temps suffisant d'appropriation du système qui supporte plus que de simples activités de navigation.

En revenant aux aspects de conception, le travail d'hypertextualisation comprend très souvent deux phases : un découpage avec identification des blocs et déclaration de liens entre ces blocs, puis la (re)construction d'un fil narratif. Le problème est d'identifier les différents fils narratifs intéressants. Il est possible d'en trouver quelques uns, mais c'est souvent insuffisant pour fonder la conception. Dans un souci d'homogénéité, il importe d'identifier des outils d'accès et de construction, ce qui débouche sur un processus incrémental, permettant de valider certains fils narratifs. L'objectif est de comparer, relier, afin de faire émerger du sens. Comme nous venons de le voir, dans le cas d'un concepteur apprenant, il faut lui donner les outils nécessaires pour effectuer ce travail.

Nous allons passer en revue deux exemples. Le premier traite des dictionnaires et le second des manuels scolaires.

## 2.1. Le cas des dictionnaires

Dans la perspective d'informatisation du TLF (Trésor de la Langue Française) développé à l'Institut national de la langue française (INALF), un projet coopératif (INALF, LIMSI, IUFM de Créteil) s'est attaché à la conception d'une couche hypertextuelle, interface de lecture d'un fonds lexicographique envisagée comme système d'aide au parcours dans des dictionnaires informatisés.

Ce programme de recherche, intitulé « *Hypertextes et dictionnaires : nouveaux traitements cognitifs, nouveaux usages culturels et didactiques* » est guidé par une double préoccupation théorique et empirique, la première associée à l'objet-dictionnaire quant à ses spécificités lexicographiques, sémantiques et logiques, la seconde reconsidérant cet objet en tant que système hypertexte ouvrant à des usages multiples pour différents lectorats et, dès lors, constitutifs de divers produits dictionnaires dérivés ([55]).

Un cadre problématique a d'abord été dressé, cadre intégrant :

- le système hypertexte en tant que structure fonctionnelle autonome : accès, traitement, stockage, etc. ;
- le lecteur en tant qu'utilisateur actif, producteur d'interprétations, lesquelles manifestent différents types d'opérations cognitives ;
- la matière lexicographique par rapport à ses spécificités de structure et de contenu.

Ensuite, il a fallu élaborer des consignes d'usage et les tester expérimentalement pour déboucher sur la définition d'une architecture fonctionnelle d'une surcouche d'un dictionnaire informatisé, susceptible d'assister le lecteur dans ses stratégies d'appropriation.

Notons que ce travail sur les dictionnaires est un peu un prolongement de travaux antérieurs, notamment avec HYPERINFO et les lexiques spécialisés pour les aides en ligne et certains développements autour du projet GRHYP. Toutefois, l'objectif est ici différent puisqu'il est question de fournir une interface à un dictionnaire existant permettant à l'utilisateur d'effectuer certains traitements sur la langue. Cela conduit à s'intéresser aux usages, aussi bien des dictionnaires « papier » que des dictionnaires électroniques déjà disponibles sur le marché pour répondre aux deux questions: (1) pourquoi utilise-t-on un dictionnaire de langues et (2) comment utilise-t-on un tel dictionnaire ?

A côté d'analyses linguistiques et cognitives, un tour d'horizon des recherches sur le thème de l'utilisation, personnelle ou en classe, des dictionnaires par des usagers non experts de la langue a été mené. Une série d'entretiens par des étudiants de maîtrise avec des enseignants du premier degré et quelques expérimentations ont été conduites, offrant un premier état de la question.

Si l'objet dictionnaire est fortement présent dans les classes et dans de nombreux foyers, les usages qu'il suscite semblent se limiter le plus souvent à la simple vérification de l'orthographe d'un mot ou à une recherche d'une définition et de quelques exemples d'emploi d'un mot mal connu. L'aspect navigation, c'est-à-dire la consultation enchaînée de plusieurs articles, une des caractéristiques importantes des hypertextes actuels, paraît être une pratique assez peu usitée. Il est rare de trouver quelqu'un travaillant avec plusieurs dictionnaires ouverts en même temps. La consultation d'un seul article semble contenter la grande majorité des utilisateurs.

Les raisons de ce sous-emploi des dictionnaires ne sont pas si simples à élucider. On peut raisonnablement faire l'hypothèse d'une méconnaissance de l'organisation d'un dictionnaire et de ses utilisations possibles. Si l'école se préoccupe de donner aux élèves les compétences nécessaires pour trouver un mot dans un dictionnaire, ce qui est attesté par les programmes et plus encore par la présence d'items dans les évaluations nationales CE2 et 6ème, ces évaluations montrent que ces compétences sont loin d'être acquises par tous au début du collège. L'école va rarement plus loin. Au lycée, les élèves ont en général le sentiment de ne pas rencontrer la moindre difficulté à lire les dictionnaires. Si les compétences techniques sont acquises, l'usage demeure extrêmement limité. Le dictionnaire est « un objet donc, connu, utilisé, possédé, manipulé, mais perpétuellement réduit à des fonctions minimales » (Peycheran, 1991). Du côté des manuels, on constate que peu d'entre eux proposent un nombre conséquent d'exercices de manipulation et de recherche. La présence de tels exercices n'est d'ailleurs souvent qu'un « vernis moderniste en voie de gadgétisation » (*ibid.*).

On ne peut par ailleurs mésestimer du côté des élèves et de nombreux adultes, l'existence de difficultés réelles de consultation « intelligente » des dictionnaires. Les études menées par les psychologues montrent ainsi certaines limites des élèves jeunes pour la lecture de documents non linéaires, qui se retrouvent certainement avec les dictionnaires. Il s'avère nécessaire de respecter une certaine « compatibilité cognitive » selon la terminologie de J.-F. Rouet (dans [30]) entre la structure des dictionnaires et les structures cognitives des usagers. La séparation explicite entre les formes d'affichage et d'enregistrement ainsi que l'assistance à la navigation permettent de traiter des stratégies de lecture induites par les produits ou effectuées réellement par les usagers.

Notre hypothèse de travail est que la construction d'un système informatisé doit conduire à réduire une certaine complexité dans la consultation des dictionnaires et permettre à des usagers occasionnels non experts de développer de nouveaux usages. Il s'agit de créer les conditions favorables pour qu'un dictionnaire devienne un véritable instrument de travail. Ainsi, l'hypertexte n'est pas considéré ici comme l'instanciation au domaine des dictionnaires d'un modèle générique de système à base de nœuds, de liens et basé sur la navigation, mais comme un ensemble structuré d'outils constituant un environnement soutenant des processus de recherche et de structuration adapté à une classe d'usagers et de tâches à déterminer (l'hypertexte comme boîte à outils d'accès au contenu et d'aide à la construction de sens). En fait, dans le transfert sur support électronique, s'ouvre un nouvel espace de lecture et de travail sur les textes qui devrait permettre « d'aborder les dictionnaires comme des livres à part entière, c'est-à-dire comme des textes faisant l'objet d'une lecture à visée interprétative, et non plus comme des collections d'informations à consulter »<sup>2</sup>.

Qu'apprend-t-on sur la langue par l'utilisation d'un dictionnaire et que doit-on savoir sur la langue pour faire un usage fructueux d'un dictionnaire. Quels sont les obstacles rencontrés par les élèves dans l'usage des dictionnaires ? Plusieurs collectes raisonnées d'informations ont été conduites sur la base d'un premier travail exploratoire concernant des usagers « experts » (membres de l'équipe de recherche), dans le but d'analyser des processus de consultation avec des dictionnaires électroniques existants et de déterminer les besoins afférents à ces recherches. Cette forme d'auto-analyse garantit que les choix sont fondés sur des réalités d'usage et que les outils à développer répondent à des besoins rencontrés dans des situations réelles. Nous avons ensuite observé les processus de résolution dans des épreuves spécifiques

---

<sup>2</sup> in *Lexicographie et Hypertextes*, rapport d'étape, Programme Ingénierie des Langues, Georges Vignaux, David Piotrowski, Quyen Kieu, avec la collaboration d'Eric Bruillard. Ce rapport décrit également les premières fonctionnalités de la maquette d'HYPERLEX.

(autour de la notion de nombre ou sur un classement autour du verbe « alimenter »).

Une maquette est actuellement en cours de développement, fondée sur l'espace de confrontation permis par le multifenêtrage. Le système nommé HYPERLEX a pour objet de guider et d'assister le lecteur dans la construction de connexions oppositives et la génération d'interprétations fondées par et sur ces connexions. Deux principaux types de fonctionnalités sont intégrées : des fonctions de collecte en vue d'opérer des comparaisons et des oppositions associées à des fonctions d'indexation permettant une qualification sémantique en vue d'un traitement automatique ultérieur et des fonctions de parcours mettant l'accent sur la construction de représentations du monde en domaines d'expériences cohérents.

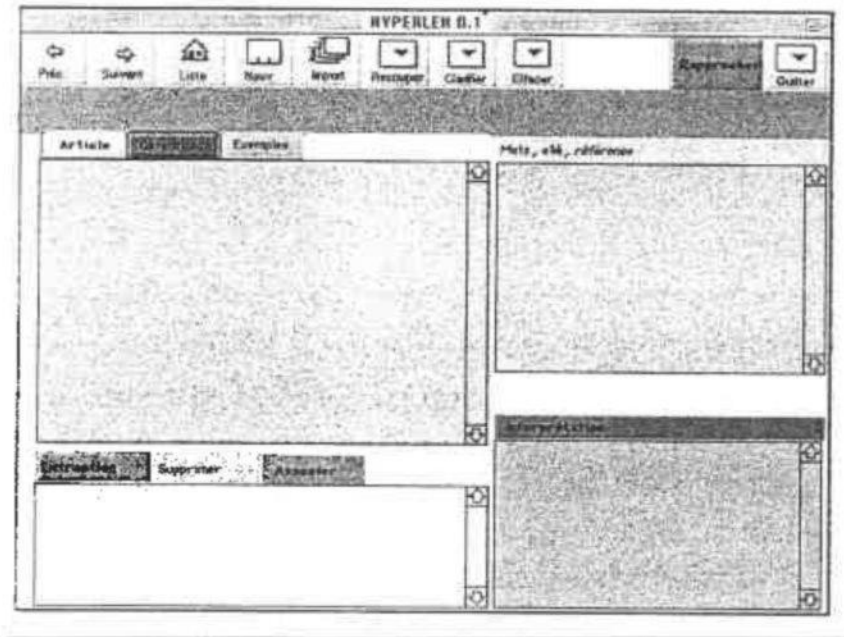


Figure 8. Vue du système Hyperlex

En marge de la recherche, pour illustrer ce travail avec des enseignants, j'ai conçu un dictionnaire spécialisé sur les différents sens des termes utilisés en géométrie élémentaire.

## 2.2. Le cas des manuels scolaires

Les manuels scolaires constituent sans nul doute une ressource pédagogique particulière. Ils sont au cœur d'un marché important, complété ces dernières années par le développement impressionnant du parascolaire. Nous avons, avec Georges-Louis Baron, répondu à un appel d'offre du groupement d'intérêt scientifique « Sciences de la Cognition » concernant la mutation de l'édition induite par le livre électronique en nous centrant sur la mutation éventuelle des manuels scolaires vers des livres électroniques, pouvant être des compromis entre les manuels classiques et les cahiers destinés au travail autonome des élèves.

### 2.2.1. Description générale du projet

Le projet devant comporter la réalisation d'une maquette de « manuel électronique » en relation avec un éditeur scolaire, nous avons contacté la société Hatier<sup>3</sup> qui s'est révélée intéressée et a proposé un manuel, *Triangle Mathématiques 6<sup>e</sup>*, devant paraître en avril 1996. Les auteurs de cet ouvrage l'avaient conçu en y intégrant les erreurs<sup>4</sup> les plus courantes des élèves de sixième et en prévoyant des remédiations adaptées, ce qui en faisait un bon candidat pour en réaliser une version électronique.

Nous avons décidé de traiter trois séries de questions imbriquées : le mode de production des manuels électroniques, leur faisabilité économique et les activités cognitives de l'utilisateur, c'est-à-dire les modes d'appropriation de tels objets virtuels dans le cadre d'apprentissages en autonomie. L'étude des usages était au cœur du questionnement, ce qui a conduit à étudier les aspects d'acceptabilité cognitive et à explorer les complémentarités entre les manuels « traditionnels » et ces nouveaux manuels électroniques. Enfin, parce que la mutation éventuelle des manuels scolaires ne pouvait être abordée sans prendre en compte l'évolution historique qu'ils ont connue, le projet comportait un volet historique à la fois sur les manuels eux-mêmes et sur les liens entretenus avec les différentes technologies.

Dès le début de l'action, différentes études ont été lancées pour couvrir tous les aspects qui viennent d'être mentionnés. A mi-parcours, nous avons organisé des journées d'étude, qui se sont déroulées à Lille (juin 1996). Des actes pour les participants ont été rédigés ([24]) et un rapport intermédiaire a été fourni ([53]). De nouvelles journées ont eu lieu à Lyon en novembre 1997 et un rapport définitif est actuellement en cours de rédaction. Ces journées ont permis une régulation du projet et des réorientations en cours de route conduisant au rejet de pistes peu explorées, le plus souvent pour des raisons conjoncturelles, et à l'exploration de nouvelles voies.

Le schéma suivant présente de manière synthétique les pistes de recherche suivies.

<sup>3</sup> Qui était encore indépendante en septembre 1995 quand le projet a été monté. Elle a ensuite été rachetée courant 1996.

<sup>4</sup> Il est intéressant de constater que, alors que les manuels commencent à prendre en compte sérieusement les erreurs des élèves afin de guider le choix des activités par les enseignants, les logiciels destinés au marché parascolaire ne prennent plus en compte les erreurs, se contentant de fournir des corrections standards et des modes de navigation assez libres.



Figure 9 : Articulation des différentes études du projet « manuel électronique »

### 2.2.2. Hypothèses de conception

La principale interrogation était de savoir comment réaliser une complémentarité harmonieuse pour l'utilisateur entre ce qui relève du modèle traditionnel du livre et de celui des environnements logiciels destinés à l'apprentissage. Quels rôles respectifs joueront vis-à-vis de l'apprenant et de l'enseignant les manuels traditionnels sur papier et le manuel électronique ? Au plan spécifiquement technique se posait la question des processus de production à mettre en œuvre. Comment récupérer et intégrer des éléments déjà existants<sup>5</sup> ? Quels types d'hypertextualisation réaliser ? Comment intégrer des ressources logicielles extérieures ? Quels outils à fournir aux auteurs et plus largement à l'équipe de conception ?

L'analyse du manuel papier et les premiers repérages sur la nature même des manuels scolaires de mathématiques nous ont conduits à avancer plusieurs propositions et hypothèses de travail.

Tout d'abord, on a pu constater la complexité croissante des manuels scolaires, rendue inévitable pour répondre à des contraintes antagonistes (publics visés, usages). Dans ce cadre, transposer sur support informatique permet d'échapper aux limites de la forme imprimée et autorise la gestion de multiples renvois internes. De manière duale, le recours à une forme électronique peut permettre la vérification de la pertinence des renvois opérés (par des traitements automatiques ou semi-automatiques) et donc avoir un effet en retour sur le produit imprimé.

Face à cette complexité, les techniques de type hypertexte apportent une réponse et permettent notamment de gérer des présentations adaptées aux différents profils de lecteurs (professeurs, élèves, parents). Il est ainsi possible de gérer plusieurs livres sur le même support. Le manuel de mathématiques choisi est un document fortement structuré, des entités minimales y sont repérables. On peut leur associer une liste de descripteurs sur la base desquels il apparaît possible de filtrer la présentation et de bâtir les systèmes de navigation. L'intégration de logiciels spécifiques peut permettre d'ajouter une interactivité accrue, voire de modifier en profondeur la conception même du manuel.

<sup>5</sup> Ce qui revient à étudier les problèmes classiques de réutilisation des sources dans un cas concret.

Sur le plan méthodologique, avec Georges-Louis Baron, il nous a semblé qu'une hypertextualisation minimale du manuel papier devait être entreprise, sans modification du contenu initial. La réalisation et la critique interne de cette maquette pouvaient en effet guider la conception d'une deuxième maquette plus complète, intégrant les acquis de l'étude sur les ressources logicielles additionnelles. Elle pouvait aussi permettre de mieux situer les implications du passage sous forme électronique du contenu du livre papier. Nous avons donc choisi de séparer d'une part la réalisation d'une première maquette fondée uniquement sur l'hypertextualisation des sources (manuel de l'élève et livre du professeur), sans ajout d'environnements spécifiques (travail conduit à l'INRP) et d'autre part de lancer parallèlement deux études sur la définition, la conception et l'intégration de ressources logicielles, l'une axée sur la géométrie autour du logiciel Cabri géomètre (IREM de Toulouse), l'autre, plus générale, sur un bilan des sources existantes (CUEEP et CNDP)<sup>6</sup>.

De manière cohérente avec les différents rôles de l'informatique dans l'éducation, nous avons donc décidé d'étudier d'une part la conception d'un nouveau type de ressource éducative, le « manuel électronique », et d'autre part l'influence d'un instrument spécifique, un logiciel de construction géométrique<sup>7</sup>.

### 2.2.3. Point sur les réalisations

Plusieurs maquettes successives ont été construites, illustrant différentes interrogations autour de la nature et du rôle de telles maquettes. Nous allons d'abord préciser les différentes étapes de réalisation de la première maquette, en explicitant le choix du système de développement, les difficultés rencontrées dans la récupération des sources et les enseignements tirés à l'issue de cette première ébauche. Nous décrivons brièvement la dernière maquette qui est la plus aboutie.

Pour le choix d'un système de développement, le livre électronique devant être utilisé par des enfants, un contrôle précis des écrans d'interaction ainsi que la gestion dynamique des liens devaient être des contraintes importantes à respecter. L'étude menée par Sarah Tournon<sup>8</sup>, confirmée par le travail de Stéphane Réthoré<sup>9</sup>, a montré l'inadéquation, tout au moins au moment du travail sur la première maquette (premier trimestre 1996), des systèmes de développement sur réseau (HTML, JAVA...), notamment en raison de l'orientation page de ces environnements et de la difficulté à prendre en considération les actions de l'utilisateur (par exemple pour masquer ou activer certains liens en fonction du contexte de la consultation, de calculer la destination d'un lien). Le choix s'est orienté sur l'intégrateur d'applications TOOLBOOK.

Dans le respect d'un des objectifs du projet, il nous fallait partir des sources existantes, conçues pour la réalisation des manuels papier (enseignant et élève) afin d'étudier leur mode de transfert sur un format électronique. La société Hatier ne disposait pas du contrôle total des sources du manuel scolaire. La réalisation effective est confiée à des sous-traitants, par ailleurs différents pour le manuel de l'élève et le livre du maître. Hatier n'est directement intéressée que par les sorties sur support papier et ne conserve que des archives, sur cédérom,

<sup>6</sup> Les travaux ont été diversement effectués par les partenaires du projet. Une réorganisation a été faite à la fin de la première année, conduisant à une prise en charge plus grande à l'INRP, avec le renfort d'étudiants de troisième cycle.

<sup>7</sup> Cette étude est en cours.

<sup>8</sup> Étudiante de l'IMAC en stage ingénieur pour ce projet.

<sup>9</sup> Ingénieur de recherche au CUEEP.

des différents manuels. Le travail de PAO est effectué avec XPRESS et ILLUSTRATOR sur Macintosh. Il conduit en fait à une déstructuration notable des éléments fournis par les auteurs (qui travaillent avec le traitement de texte WORD), à un encombrement très important, difficultés aboutissant finalement à un constat d'impossibilité de créer un processus automatique de récupération des sources. En outre, le transfert des images a été particulièrement difficile en raison de leur format<sup>10</sup>.

Nous avons donc dû renoncer à effectuer une première transposition complète des manuels (professeur et élève), qui aurait été trop coûteuse en temps, pour nous consacrer à un seul chapitre (le chapitre 13 sur la mesure des aires). Le texte de ce chapitre a pu nous être fourni sous format ASCII, ce qui en a grandement facilité le retraitement. A la suite du choix de TOOLBOOK comme système de développement et sur la base d'un cahier des charges, une première maquette a été réalisée par Sarah Tournon.

Vis-à-vis des hypothèses ayant fondé la réalisation informatique, bien qu'il n'ait pas été possible de construire une transposition minimale complète du manuel, divers enseignements ont pu être tirés.

- L'identification et l'élaboration d'unités minimales permettent effectivement de filtrer différentes présentations et de bâtir des systèmes de circulation.
- La nécessité de réécrire certaines parties apparaît clairement : changement du texte pour s'adapter à la mise en page sur écran, par exemple dans les références spatiales des illustrations (schéma ci-contre ou en dessous, etc.), mais aussi modification des consignes dans les exercices. Ainsi, transposer un exercice « papier » demandant de déplacer mentalement les parties d'une figure impose pratiquement d'offrir à l'utilisateur la possibilité de déplacer effectivement ces parties sur l'écran (travail de l'équipe de l'IREM de Toulouse).
- L'analyse des résultats des exercices semble souhaitable pour déclencher des branchements à tel ou tel type d'activité.
- Enfin la gestion des activités exige des transformations plus radicales en raison du changement de contexte d'usage (de la salle de classe au travail en autonomie dirigée). L'ajout d'une interactivité accrue, par l'apport de logiciels particuliers, conduit à des changements importants dans la conception du manuel. Ce point met en lumière le problème des outils spécifiques du manuel électronique pouvant être fournis à l'élève, induisant de nouveaux modes de résolution de problème. Ainsi, il est relativement facile de mettre à la disposition de l'élève un outil lui permettant de dessiner sur l'écran un rectangle (en le superposant à des éléments d'une figure) et d'afficher son aire<sup>11</sup>.

Un travail de critique autour de la première maquette a permis de dégager des pistes de recherche. Ainsi, les auteurs du manuel papier ont proposé un processus de gestion de l'interactivité avec l'élève (sur les chapitres 13 et 6, aires et proportionnalité), conçue initialement dans le cadre de la classe, correspondant à un scénario d'usage du manuel tel qu'ils l'imaginent. Il semblait intéressant de travailler à partir de cette idée pour expérimenter comment une activité de classe gérée par un enseignant peut être transposée en autonomie en s'appuyant sur un environnement de type tuteur interactif.

Les discussions ont conduit à élaborer une nouvelle spécification du manuel électronique, à

<sup>10</sup> D'après Martin Valcke, après plusieurs déconvenues, l'université de Heerlen refuse dorénavant de retraiter des sources venant de XPRESS, préférant, si nécessaire, effectuer une ressaisie complète sous d'autres formats.

<sup>11</sup> Un travail de maîtrise de psychologie a été mené à terme par Marie-Noëlle Obrist (sous la direction de Denis Legros) autour des notions d'aire et de périmètre. Ce travail confirme l'intérêt des rétroactions immédiates pour l'apprentissage.

la mettre en œuvre sur deux chapitres (le chapitre 13 étant réalisé par Fabien Douillet, le chapitre 6 par Patrick Cao Huu Thien), intégrant différentes améliorations pour le manuel élève et des fonctionnalités nouvelles pour le professeur.

Deux modes sont prévus pour l'élève, sachant que ce dernier utilise le manuel électronique en autonomie, en fonction de la prescription ou du conseil de l'enseignant : un mode libre et un mode semi-guidé. Ce dernier consiste à proposer un agenda d'actions à effectuer, déterminé par l'enseignant.

Au cours de l'étude sur les usages, on avait observé que des élèves avaient des difficultés à tirer parti des ressources de leur manuel, mais aussi à utiliser des aides pour résoudre les exercices proposés. Pour les aider efficacement sans surcharger leur tâche, il est apparu important de lier exercices du manuel avec les connaissances et méthodes utiles pour les résoudre, mais sans perturber l'environnement de travail. Pour ce faire, des zones d'écran ont été distinguées : la zone principale pour l'affichage de la page courante et la zone dynamique pour l'affichage des connaissances et méthodes associées. Ce partage facilite la mise en relation des exercices et des contenus et méthodes susceptibles d'être utilisés pour les résoudre, sans altérer le contexte et sans nécessiter une gestion des fenêtres de la part de l'utilisateur. Une aide contextuelle est directement accessible par des boutons situés en bas de l'écran.

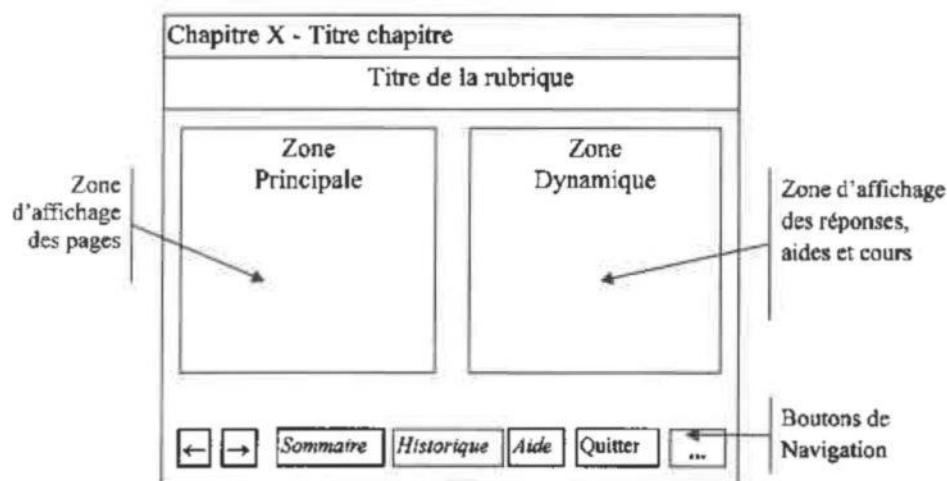


Figure 10 : écran de travail de l'élève

Des boutons classiques permettent de contrôler la navigation (page précédente, page suivante, sommaire, historique, liens implicites, c'est-à-dire aux connaissances, méthodes et corrigés des exercices et activités).

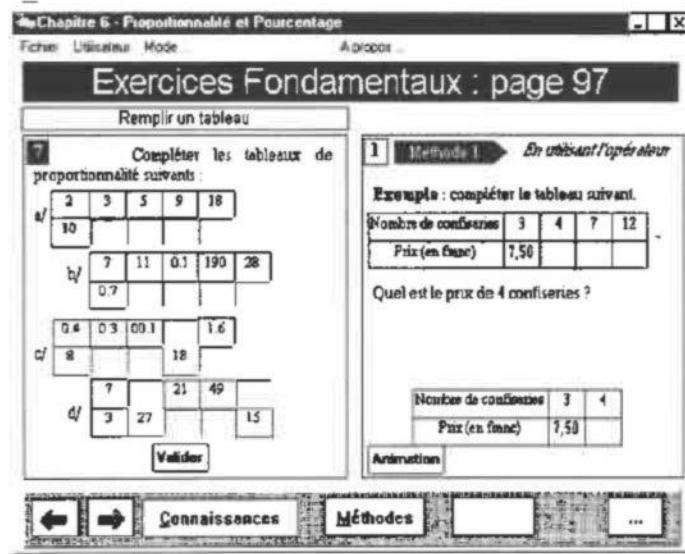


Figure 11 : La partie gauche correspond à l'exercice 7 du manuel. La partie droite a été appelée par l'élève et correspond aux méthodes associées à cet exercice.

Divers types de liens ont été implantés. Il est toujours possible, à partir de la page courante, de se promener sur les pages voisines, ou de revenir sur la première page en utilisant l'historique. Des liens pointent directement sur une page par le biais des coordonnées hiérarchiques.



Figure 12 : Historique

Un autre type de lien explicite est celui de la page décrivant les travaux à effectuer, en mode étude dirigée. Des liens implicites, grâce aux objectifs associés à chaque page, permettent des circulations contextuelles. Ces liens sont activés en appuyant sur les boutons de la barre d'outils.

Le livre du maître est entièrement intégré. Les fonctionnalités sont accessibles à partir d'un menu déroulant unique.

Dans l'idée d'une autonomie dirigée de l'élève et pour prendre en compte les demandes des auteurs sur ce point, nous avons essayé d'implanter un mécanisme simple et générique. On considère que l'enseignant peut assigner certaines tâches. Grâce au langage de script intégré à TOOLBOOK, il a été possible d'intégrer des scénarios de parcours, en incluant des actions simples : afficher un ou plusieurs objets graphiques dans la zone dynamique, aller à

une page précise, aller à la page suivante de l'agenda, cet agenda étant une liste de pages à suivre. Un mode simple de création de scénario a été implanté (constitution de l'agenda par marquage à la volée ou par déclaration). Pour les auteurs, cette fonctionnalité a paru satisfaisante pour mettre en place les scénarios qu'ils souhaitaient élaborer, qui pouvaient ainsi être facilement décrits. L'interface dédiée au professeur a répondu aux attentes des auteurs.

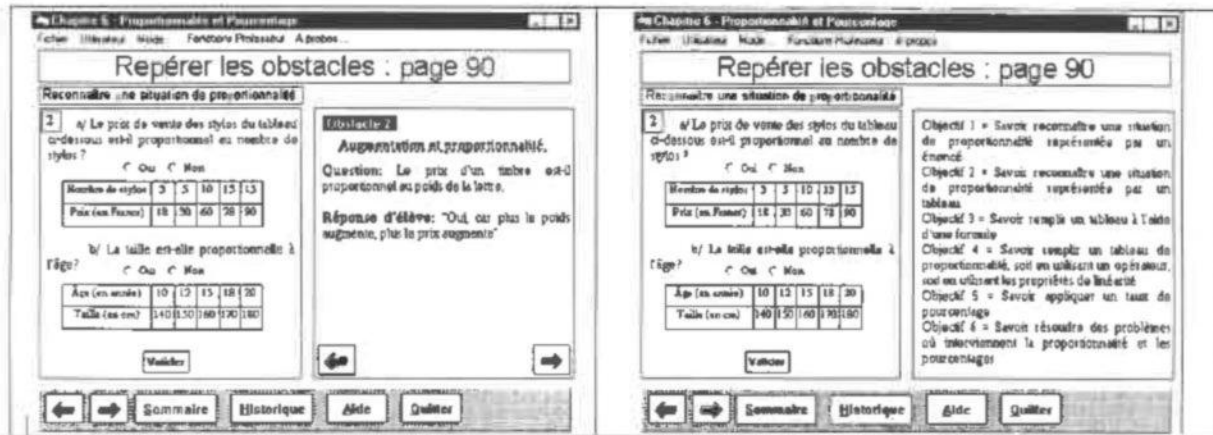


Figure 13 : Affichage des obstacles liés à un exercice et des objectifs généraux du chapitre

Si le travail a été limité à deux chapitres, une méthodologie pour transférer d'autres chapitres a été élaborée, permettant de faire rapidement un transfert des pages du manuel papier. Même si cette dernière maquette n'a pas été testée par en classe, elle a été partiellement validée par les auteurs.

#### 2.2.4. Nouvelles pistes de recherche

A côté de la conception d'environnements interactifs pour les élèves et les enseignants, des travaux complémentaires, lancés afin de mieux comprendre les manuels scolaires contemporains, ont été lancés. Ils fournissent des exemples pour lesquels l'informatique peut amener une aide à conception et à la recherche. L'organisation et le traitement de ce corpus, à l'image par exemple des systèmes sur la génétique textuelle (Lebrave, 1996), s'appuient sur des ressources de type hypertexte.

Le premier concerne une étude historique et culturelle sur les manuels de mathématiques. Un fonds d'une quarantaine de manuels scolaires de mathématiques français (de 1848 à nos jours) et d'une dizaine de manuels étrangers a été constitué. Nous<sup>12</sup> avons mené un comparatif à la fois général sur la présentation de ces manuels, et plus spécifique sur les notions d'aire et de périmètre. Sans détailler l'ensemble des résultats obtenus, je me bornerai à signaler quelques grandes évolutions.

On est passé peu à peu du « texte du savoir » au catalogue organisé de situations, de l'exposé oral et continu à un ensemble de fiches contraintes par la matérialité du livre (la page, la double page), d'un système dit juridique (référence unique et simple) à une organisation complexe nécessitant la présence d'un mode d'emploi. Du livre austère conçu par un ou deux auteurs, on arrive à l'équipe de réalisation (maquette, dessins, couleurs, etc.)

<sup>12</sup> Eric Bruillard, Patrice Johan, Francis Slawny avec la collaboration d'Alain Choppin.

d'une suite d'« écrans » colorés et illustrés.

En s'intéressant à l'évolution des activités autour de la notion d'aire, on s'aperçoit qu'on est passé de la géométrie au comptage. En effet, le calcul d'aires s'effectuait en identifiant des figures usuelles et en appliquant des formules. Ainsi, dans le cas d'un polygone irrégulier, il fallait tracer des segments, des perpendiculaires, mesurer les longueurs des segments, puis effectuer des calculs. Mais les activités de nature géométrique ont peu à peu disparu, aux terrains se sont substituées des images, au mesurage des longueurs, puis au calcul se substitue le comptage de carreaux. La généralisation de l'utilisation du papier millimétré et des quadrillages, facilitant les activités des élèves en classe, a modifié profondément le traitement scolaire de la notion d'aire. Cet exemple illustre l'impact des instruments utilisés sur les contenus même d'enseignement. L'informatisation peut amener de nouveaux instruments de mesure d'aire, de nouveaux exemples et de nouvelles activités et aussi réaliser une sorte de synthèse entre les activités géométriques et de comptage grâce à la mesure directe d'images à l'écran.

Le fonds documentaire que nous avons constitué a été partiellement numérisé. Des techniques hypertextes vont permettre de le valoriser et de rendre compte du travail effectué.

De la même manière, un tournage vidéo (effectué dans deux classes de sixième d'une des auteurs du manuel) a conduit à un découpage et à la numérisation de près d'une centaine de courtes séquences (collecte, indexation) avec spécification de modes de reconstruction. Le but initial était d'illustrer les méthodes pédagogiques préconisées par les auteurs en montrant l'organisation et le déroulement de certaines activités décrites dans le manuel. Le fonds ainsi constitué se prête à d'autres traitements, notamment la réalisation de montages autour de points spécifiques (la méthode de l'enseignant, les réactions des élèves, l'évolution des idées des élèves dans les différentes phases de travail, etc. ; voir Bruillard et Baron, 1998) ou des parcours thématiques à reconstruire dynamiquement suivant des points de vue déjà spécifiés ou à trouver.

Si la vidéo semble bien illustrer une démarche pédagogique, elle soulève d'autres questions. Par opposition au discours des auteurs dans le livre du maître, qui est un texte général de nature plutôt théorique, les images montrent un exemple « vécu », une pratique à un moment donné, une sorte d'instance plus riche que le texte. Le comportement des élèves permet de mieux comprendre leurs difficultés.

Ainsi, l'un des exercices proposés consistait, étant donné un rectangle ABCD, à trouver un autre rectangle d'aire plus petite et de périmètre plus grand que ceux du rectangle ABCD. L'idée sous-jacente est de convaincre les élèves que l'aire et le périmètre ne varient pas forcément de la même façon. Ce n'est pas facile à admettre pour nombre d'élèves qui croient que ces deux grandeurs croissent ou diminuent ensemble. Regarder les dessins réalisés par les élèves ou leurs gestes fournit des indices intéressants sur leur mode de raisonnement.

Je me limiterai à deux exemples. Dans la figure 14, on voit qu'un élève dessine des rectangles inclus les uns dans les autres. Il conclut alors logiquement qu'il est impossible de trouver une solution.

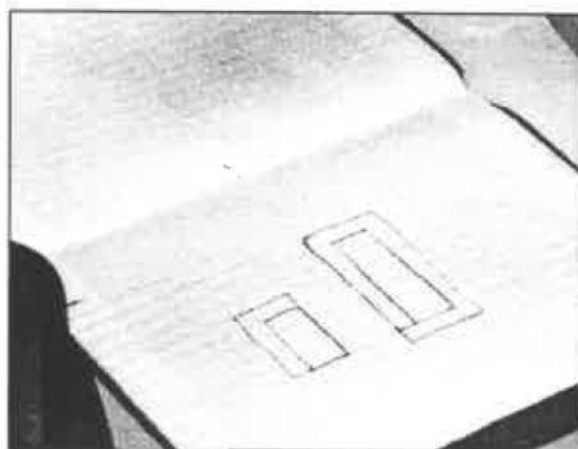


Figure 14. Dans le dessin, aire et périmètre grandissent en même temps

Une autre élève (figure 12), explique à l'aide de gestes très expressifs qu'il faut allonger la longueur et comprimer la largeur.



Figure 15. la gestuelle en renfort de l'argumentation :  
« il faut diminuer une des dimensions et augmenter l'autre »

Pour terminer, notons que la constitution et la gestion d'un fonds de documents vidéo posent des problèmes intéressants. Quelle granularité des séquences ? Quel statut pour les reconstructions vidéos ?

Nous n'avons pu vérifier de l'acceptabilité par des enseignants en poste de telles séquences vidéos. Par ailleurs, demeurent des problèmes de droits pour une diffusion plus large, notamment l'inclusion dans un manuel électronique. La conception d'un système d'aide pour les élèves est à étudier, consistant à leur montrer des réactions d'autres élèves et des explications fournies par des pairs. Un tel système pourrait peut-être déclencher les conflits cognitifs souhaités par les auteurs du manuel dans le cadre d'un usage en autonomie d'un livre électronique.

Un dispositif d'aide à la navigation dans un corpus vidéo indexé est actuellement en cours de réalisation. De manière générique, il s'agit de concevoir et réaliser un système avec lequel un ensemble de séquences auxquelles sont associées des descripteurs peut être exploré et des parcours constitués. Un premier travail a été accompli par un étudiant de DEA du LIUM,

Gislhain Nouvel sur la base du corpus préalablement constitué lors du projet manuel électronique. La figure 16 donne une représentation de la fenêtre du logiciel en cours d'exécution, avec deux vidéos ouvertes :

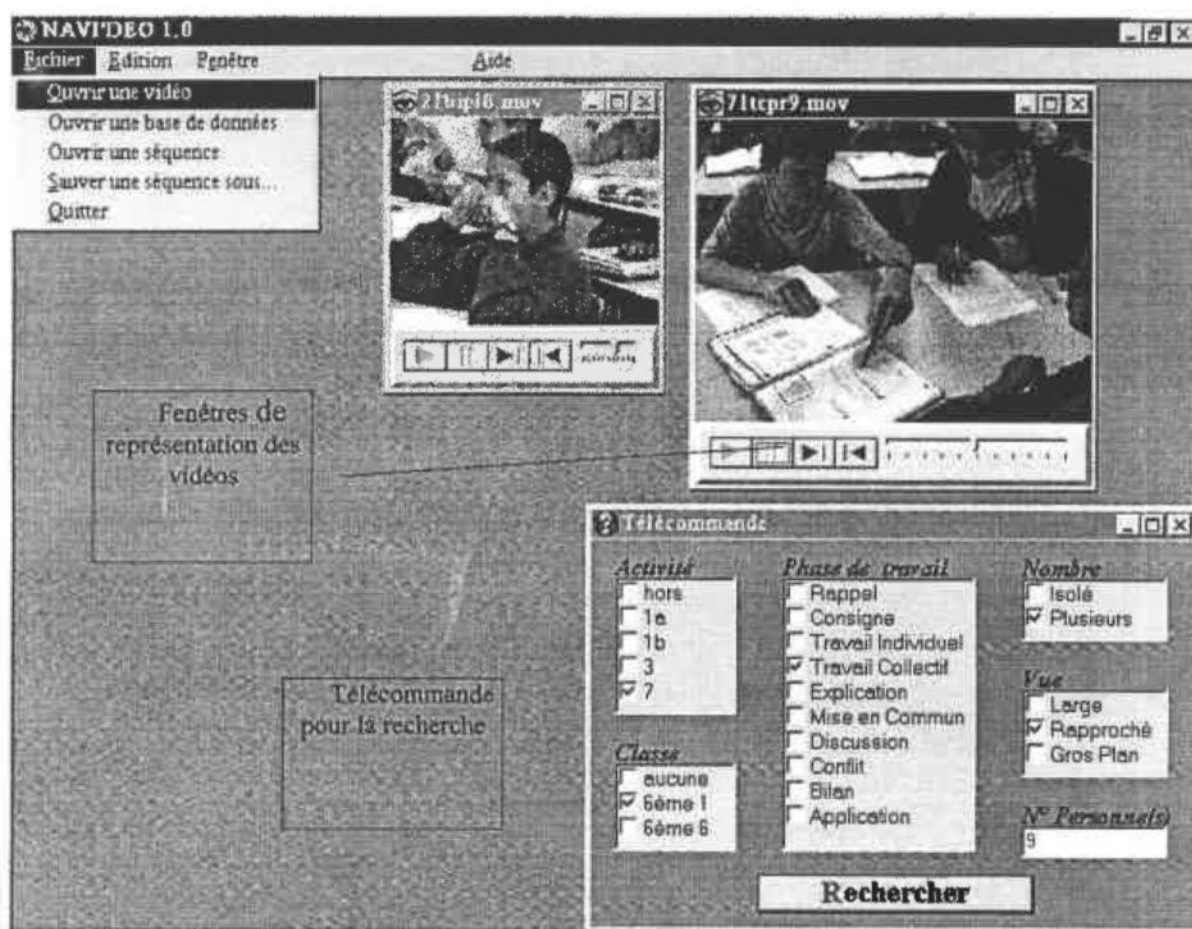


Figure 16 : Fenêtre principale de NAVTDEO

### 2.2.5. Éléments de bilan

La conception de maquettes a permis de vérifier la faisabilité d'un modèle de manuel électronique de mathématiques complémentaire du papier et offrant des ressources à la fois aux élèves et aux enseignants. Elle a contribué à repérer un certain nombre de problèmes techniques comme la récupération des sources et d'étudier l'intégration de ressources dynamiques dans un environnement reprenant l'essentiel du contenu du livre. La dernière maquette a permis de mettre en place des principes de conception qui pourraient être utilisés pour l'ensemble de l'ouvrage. Elle implémente l'idée de scénario, conçue comme un agenda des tâches à accomplir par l'élève, ainsi que les fonctionnalités du livre du professeur (accès aux différents objectifs, aux erreurs caractéristiques, visionnement de séquences vidéo).

Il apparaît que la mise en commun du livre de l'élève et de celui du professeur, l'ajout d'interactions, de vidéos, les possibilités de communication au professeur du travail effectué et la mise au point de scénarios d'utilisation par l'enseignant amènent à revoir en profondeur la conception d'un manuel électronique sur la base d'un livre papier.

Dans ce cadre, nous n'avons pu étudier la façon de reconstruire un chapitre en considérant que l'élève dispose d'instruments logiciels spécifiques. Ainsi, il serait intéressant d'identifier un sous-ensemble cohérent de CABRI II à fournir aux élèves, étudier les conditions d'appropriation du sous-ensemble choisi (temps, choix des activités) et refondre un chapitre de géométrie (par exemple celui sur les symétrie axiale).

En outre, prolonger la recherche menée au niveau du collège sur les mathématiques en élargissant son champ à d'autres disciplines est en projet, puisque entre elles existent à la fois de réelles différences (l'équilibre entre l'accès à des documents et le recours à des instruments spécifiques varie vraisemblablement de façon importante) et des points communs nombreux (relativement aux méthodes de conception de ressources électroniques multimédias).

Une autre piste reste à défricher. Nous avons essentiellement travaillé sur la base d'un poste isolé, or les livres électroniques sont ouverts dans le sens qu'ils incluent un accès vers l'extérieur via les réseaux tel Internet. Il faudrait étendre la conception d'un manuel électronique de mathématiques en intégrant des aspects liés à la distance et en approfondissant la dynamique des situations d'interaction. Pour ce faire, il s'agirait de concevoir et réaliser une architecture distribuée utilisant les ressources de développement compatibles avec Internet, c'est-à-dire de concevoir une maquette en JAVA, intégrant un noyau CABRI écrit dans le même langage. Trois points devraient être explorés :

1. Conception de situations d'interaction fondées sur la reprise de situations décrites dans le manuel, intégration de logiciels spécifiques (Cabri, gestionnaires de tableaux, etc.) et de séquences vidéos, élaboration d'un module de création de scénarios (utilisable par des enseignants).
2. Créer une architecture avec laquelle différents élèves et professeurs peuvent intervenir et permettre notamment d'assurer un préceptorat à distance, un professeur ne connaissant l'élève que par des renseignements lui étant fournis par la machine.
3. Développer une méthodologie de conception de manuels électroniques.

En synergie avec les recherches menées au LIUM, un tel travail s'inscrit dans la continuation des travaux de Paolo Pavel autour de l'enseignement de la géométrie descriptive, tant dans l'élaboration des situations d'interaction que dans l'architecture distribuée et le préceptorat à distance.

### **3. De nouvelles directions de recherche**

Le cheminement de recherche qui vient d'être décrit montre un processus encore en évolution, centré autour de la conception d'instruments informatiques pour apprendre et enseigner. Le problème qui a peu à peu émergé est celui de l'informatisation des ressources à disposition des apprenants et/ou des enseignants. Cette question n'est pas pensée en termes de rupture, les nouvelles technologies étant censées modifier d'une façon telle les possibilités offertes qu'elles changent radicalement ce que l'on pouvait connaître, mais plutôt en termes de continuité et de complémentarité. Ainsi, au-delà de la réalisation d'instruments nouveaux, il importe de réfléchir à leur acceptabilité au niveau cognitif, ce qui conduit à des études psychologiques, ergonomiques, didactiques et épistémologiques. Il est également nécessaire d'envisager la question de leur acceptabilité sociale, qui contraint et détermine leur possible intégration dans l'éducation. Il s'agit bien d'opérer une sorte de synthèse entre des aspects sciences pour l'ingénieur et sciences humaines et sociales, de conserver une double valence tout en confortant le point de vue informatique.

La difficulté réside à la fois dans l'incessante évolution de l'informatique et dans son statut encore très flou dans l'éducation. En effet, sa place est loin d'être claire : c'est un enseignement encore rarement pris en compte à l'école élémentaire, sous l'égide de la technologie, confié en collège aux technologues et peut-être en partie aux documentalistes, un enseignement qui, après bien des avatars, tend à se répandre en lycée ; une discipline de service dont on ne sait encore bien ce qu'elle apporte aux autres disciplines scolaires installées, des discours autour des réseaux et d'internet, dont l'apport aux études universitaires ne fait pas de doute, mais dont le rôle dans l'enseignement obligatoire est beaucoup moins évident.

Mes directions de recherche se rapportent à ces différentes interrogations. Afin de les préciser, il semble important de situer le contexte de recherche actuel, notamment ce qui concerne la place des IUFM et la nécessité de s'associer à des réseaux pluridisciplinaires. Les travaux déjà effectués mettent en évidence de nouveaux problèmes posés à l'informatique dans ses applications à l'éducation. Ils déterminent mes axes de recherche. Ils s'organisent autour de la conception des instruments informatiques pour l'éducation, qu'ils soient destinés aux élèves et aux enseignants ou qu'ils assistent les chercheurs dans leurs travaux. Les techniques et concepts liés à l'hypertexte y jouent un rôle majeur. L'analyse des facteurs favorisant et des obstacles à l'intégration des NTIC demeure une direction de recherche importante, notamment de par ma position à l'IUFM de Créteil qui m'invite à traiter ce type de question. Enfin, l'élaboration de méthodologies de conception, dans mes domaines de prédilection, est un objectif de recherche à plus long terme.

### 3.1. Quels contextes de recherche ?

Travailler dans le champ de l'informatique dans l'éducation amène à se poser de nombreuses questions, notamment sur l'interdisciplinarité, sur la façon de mener des expérimentations et sur le statut des productions de recherche. Des liens sont certainement à établir entre formation et recherche, surtout depuis la création des IUFM. Leur nature reste à élucider. Nous retiendrons ici deux questions qui nous semblent centrales : la constitution de réseaux pluridisciplinaires et la place des IUFM dans les recherches liées à l'éducation.

#### 3.1.1. Constitution de réseaux pluridisciplinaires

Il n'est plus besoin de grandes précautions pour affirmer la nécessité d'équipes pluridisciplinaires pour développer des environnements d'apprentissage ayant une chance d'être effectivement utilisés. Par contre, on constate la difficulté de mise en place de telles équipes. Plusieurs explications peuvent être avancées, telles le trop petit nombre de chercheurs dans le domaine ou la reconnaissance difficile de tels types de recherche dans les disciplines constituées. On peut remarquer que les récents déboires de l'AFCE ne font que confirmer ce problème.

Or, si l'on ne peut aisément bâtir des équipes de recherche pluridisciplinaires, et d'ailleurs même si c'était possible, cela impose au chercheur d'être lui-même pluridisciplinaire. Cette exigence a un coût pour le chercheur. Il lui faut connaître suffisamment les autres disciplines avec lesquelles il travaille pour conduire et s'insérer dans un vrai travail interdisciplinaire. Du temps et des efforts importants paraissent indispensables pour assurer une approche globale des problèmes.

Une solution envisageable, s'il n'est pas possible de stabiliser des équipes, est de réunir des personnes pour coopérer autour de projets ou pour échanger dans des séminaires. Sur ce point, être associé à différents laboratoires facilite les contacts et rend plus simple la constitution d'équipes éphémères (disons à durée de vie limitée) sur des problèmes spécifiques nécessitant différentes compétences<sup>1</sup>. Les séminaires de recherche, organisés en partenariat avec l'INRP et le LIP 6 pour « *Hypermédiat, éducation et formation* » et avec l'INRP pour « *Informatique et formation des enseignants* » fournissent un cadre privilégié. La publication d'actes permet de donner une certaine visibilité à ces actions et favorise l'animation de la communauté. Concernant les projets de recherche, j'ai été amené à en développer avec plusieurs partenaires (LIREST, LIUM, INRP, LIP6, INALF, LIMSI), avec différents modes de financement. Mais, au-delà des projets, se constituent des réseaux de compétences permettant de traiter des problèmes complexes et de se compléter<sup>2</sup>. Ainsi, le rapprochement entre le LIREST, laboratoire de didactique, et le LIUM, laboratoire d'informatique, par le biais d'un projet IUFM de Créteil<sup>3</sup>, conduit ainsi à des actions conjointes dans le domaine de la robotique pédagogique. La constitution de tels réseaux prend un temps important, mais une fois mis en

<sup>1</sup> Par contre, cela ne facilite pas toujours l'encadrement d'étudiants en DEA ou en thèse, ne pouvant officiellement assurer un tel encadrement.

<sup>2</sup> Dans le cadre d'un appel d'offres du conseil national de coordination des recherches en éducation (CNCRE), une proposition conjointe avec certaines de ces différentes institutions (INRP, LIUM, CRIN, LIREST) a été déposée.

<sup>3</sup> Le projet AMMI concerne l'élaboration et l'évaluation de prototypes d'Assistance Multimédia Interactive). Il est soutenu par l'IUFM de Créteil depuis 1996. Collaborent des chercheurs du LIREST (ENS de Cachan), du LIUM (Université du Mans), et de l'IUFM de Créteil. L'objectif est de mieux former des concepteurs de travaux pratiques dans le domaine des sciences et techniques industrielles. Un système informatique d'aide à la formation initiale ou continue d'enseignants concepteurs de TP en STI est actuellement en cours de réalisation. Des premières ébauches ont été réalisées par des équipes d'étudiants en licence informatique de l'université du Maine (LIUM), sur la base d'un cahier des charges conçu au LIREST.

place, ils offrent des avantages intéressants et pallient la difficile constitution d'équipes pluridisciplinaires fixes.

De tels réseaux ne peuvent se limiter au territoire national, notamment dans la perspective de réponse à des projets européens. L'IFIP offre un cadre susceptible de développer des coopérations internationales et mener des comparaisons entre les approches suivies dans les différents pays.

Enfin, le travail dans le champ de l'informatique en éducation amène à travailler avec des praticiens et des professionnels de l'éducation, non directement chercheurs, et à développer des recherches pluricatégorielles. La structure de l'INRP, dans sa configuration actuelle, donne la possibilité de mener de telles actions. Les IUFM ont certainement un rôle à jouer.

### 3.1.2. La place des IUFM dans la recherche

Si les IUFM, d'après les textes officiels présidant à leur création, participent à la recherche en éducation, leur place et leur rôle reste encore à préciser. En particulier, on peut se demander si les recherches menées dans les IUFM peuvent avoir des spécificités.

A n'en pas douter, les particularités sont liées à la mission principale des IUFM qui est la formation initiale des enseignants<sup>4</sup>. Cela permet de travailler avec une population importante et diversifiée de futurs professeurs de toutes disciplines et de tous niveaux, d'avoir de grandes facilités d'accès au terrain, notamment à l'occasion des stages mais aussi avec les formateurs issus du terrain et les maîtres de stages ou tuteurs, de mettre en place un observatoire des pratiques et des enseignants. En fait, les IUFM jouent un rôle charnière entre les universités et les établissements scolaires, comment cela se traduit sur les recherches est une autre question.

A priori, si les IUFM offrent des particularités facilitant l'organisation de certaines recherches, notamment lorsque ces dernières bénéficient de liens avec la formation, il ne paraît pas très opportun de séparer les recherches menées dans les IUFM des recherches universitaires. Si une part d'innovation peut certainement être partie prenante des actions des IUFM, la recherche doit trouver une validation réelle dans les communautés de chercheurs. Il s'agit d'articuler recherches empiriques et recherches académiques, en garantissant une qualité suffisante à l'aide des canaux traditionnels. Comme nous l'avons déjà mentionné, la constitution de réseaux de recherches, dans lesquels s'insèrent les IUFM, devrait être une priorité. L'INRP dans sa forme actuelle peut jouer en partie un rôle de coordination nationale, en relation avec les laboratoires universitaires et le CNRS.

Les mémoires professionnels que doivent rédiger les stagiaires de seconde année d'IUFM peuvent être l'occasion de recherches, ou d'embryons de recherches, sur les problèmes d'intégration des nouvelles technologies dans des conditions réelles ou sur des utilisations possibles de logiciels. C'est ainsi que j'ai pu encadrer plusieurs mémoires sur l'utilisation de CABRI en cycle trois de l'école élémentaire montrant l'apport de la géométrie dynamique à ce niveau scolaire et identifiant différents problèmes de mise en place des activités. D'autres logiciels ont été aussi explorés, tels VIRGULE (traitement de texte à destination d'élèves de CP associant certains mots avec des icônes) ou COCOA (environnement de programmation graphique par règles fondées sur des exemples permettant de créer des simulations). Des études autour des usages éducatifs d'internet sont en cours. Les limites de tels travaux

<sup>4</sup> Le champ s'élargit puisque les IUFM assument maintenant la responsabilité de la formation continue des enseignants du primaire et du secondaire.

proviennent de leur nécessaire brièveté et de leur étendue limitée. S'ils permettent d'obtenir des résultats de type exploratoire et donc de préciser des hypothèses et des problématiques, ils ne peuvent traiter de questions d'une manière approfondie. On retrouve ici la nécessité pour aller plus loin de s'appuyer sur des réseaux d'enseignants et d'écoles, dont la constitution est en cours, dans le cadre notamment d'actions européennes.

Enfin, les IUFM, outre la liaison entre recherche et formation, sont susceptibles d'intervenir et non simplement d'observer, afin de mettre en place telle ou telle innovation. Ils interviennent dans la chaîne de prescription de l'éducation nationale et constituent un des maillons et donc un observatoire privilégié des processus de changement dans l'éducation. Des contacts devraient se nouer avec les collectivités locales (communes, départements, régions), responsables d'une bonne partie des financements dans le domaine de l'éducation. A ce titre, ces collectivités devraient financer certaines recherches en éducation, les IUFM pouvant être un partenaire important.

Toutefois l'IUFM n'est qu'un des cadres possibles de recherche, en coopération avec des laboratoires, seuls véritablement aptes à mener une politique de recherche, dans un cadre national et international. Mais quelle que soit la forme institutionnelle qui les abrite, restent à préciser les directions de recherche que je souhaite privilégier.

## 3.2. Sujets et cadres de recherches

Ces directions de recherche sont la continuation des recherches précédentes. Elles convergent autour de la conception d'instruments logiciels et de leurs modes d'intégration dans les activités éducatives et plus largement dans les organisations éducatives. Elles rejoignent des préoccupations sur les méthodes de conception de tels instruments et sur les dispositifs d'aide au concepteur ou au chercheur. Le ou plus exactement les cadres dans lesquels ces recherches peuvent se dérouler sont fortement dépendants de ma position actuelle : le LIUM pour les recherches liées au développement, l'IUFM et l'INRP pour le lien avec les terrains d'expérimentation et le contact avec les enseignants, le LIREST pour les aspects didactiques.

### 3.2.1. Sujets de recherche

Quatre grandes problématiques informatiques structurent mes directions de recherche : l'analyse de l'intégration des technologies dans l'éducation, la didactique de l'informatique, essentiellement dans l'enseignement obligatoire au primaire et en collège, la conception d'instruments informatiques destinés à un contexte éducatif et la détermination de méthodes générales de conception des ces instruments.

#### 3.2.1.1. Problèmes d'intégration des technologies dans l'éducation

Que l'intégration des technologies soit un problème en soi ne fait aucun doute. On peut même s'interroger sur le concept d'intégration dans ce contexte. S'agit-il d'une forme d'assimilation dans laquelle les technologies se fonderaient entièrement dans l'environnement et qui, dès lors, n'apparaîtraient plus en tant que telles, indissociables du fonctionnement même des activités scolaires ? S'agit-il de changements nécessaires et plus profonds sans lesquels seulement quelques aspects, et pas toujours les plus intéressants, des technologies seraient utilisés de manière significative au sein du système scolaire. Les deux types de processus coexistent, d'où l'intérêt d'identifier facteurs favorisant et obstacles, notamment ceux inhérents à l'organisation scolaire et aux conceptions des enseignants. C'est ainsi que la vision qu'ont les acteurs de l'informatique est un point essentiel à analyser, élément important de la didactique de l'informatique. Des recherches de cette nature se poursuivent à l'INRP, en association avec les IUFM.

Le ministère demande aux IUFM de mettre en place un dispositif de suivi de ses professeurs stagiaires quant à l'évaluation de leurs compétences dans le domaine des TIC. En relation avec l'INRP, des analyses ont été conduites sur l'évolution globale de la population entrante à l'IUFM quant à sa maîtrise des TIC, ses représentations et ses attentes. L'intérêt de ces travaux est de travailler sur la durée, de comparer les résultats pour percevoir les évolutions. Un dispositif complémentaire doit être bientôt mis en place pour répondre à la demande du ministère. S'il se confirme que les IUFM auront à accueillir, dès la rentrée 1998, un contingent important d'emplois jeunes, et éventuellement des emplois de jeunes docteurs<sup>5</sup>, un dispositif de formation devra également être mis en place. La recherche a du travail pour éclairer les choix qui devront être effectués.

---

<sup>5</sup> J'ai dû consacrer beaucoup de temps à ces questions et, au moment où ces lignes sont écrites, de grandes incertitudes planent sur la mise en place effective de ce dispositif.

Même si de telles recherches ne seront pas entreprises par des informaticiens mais plutôt par des chercheurs d'autres disciplines, les informaticiens peuvent y prendre une part active. Ils sont concernés, au premier chef, par les résultats qui peuvent les aider à déterminer les contenus pour la formation des enseignants et à mieux comprendre les types de logiciels qu'il pourrait être souhaitable de réaliser et les contraintes d'usage auxquels les acteurs doivent faire face.

### 3.2.1.2. Apprentissage de l'informatique dans l'enseignement obligatoire

Le point précédent rejoint des préoccupations générales de la didactique de l'informatique, s'agissant de formation aux TIC des enseignants et donc au moins en partie à l'informatique. En effet, déterminer la part dévolue à l'informatique dans les formations aux technologies de l'information et de la communication, étudier de quelle façon elle peut être apprise sont des questions importantes.

S'il est question depuis de nombreuses années de mettre en place un enseignement d'informatique, la forme qu'il devrait prendre est l'objet de nombreux débats. Dans un premier temps, on peut s'interroger sur les objectifs qu'on pourrait assigner à un tel enseignement, en laissant de côté les problèmes écologiques de son introduction effective dans la scolarité obligatoire.

Dans ce domaine, il faut souligner l'important travail réalisé par le groupe technique disciplinaire informatique, qui a contribué de manière significative, notamment en produisant différentes notes de synthèse, ainsi que par les divers groupes de pilotage qui ont œuvré avec la direction des lycées (l'option informatique mise en place entre 1986 et 1994, les ateliers de pratique des technologies de l'information et de la communication, la nouvelle option informatique mise en place en seconde à la rentrée 1995)<sup>6</sup>.

En reprenant les options définies par le GTD informatique<sup>7</sup>, un enseignement informatique vise avant tout à favoriser une utilisation rationnelle de l'ordinateur et à développer une culture scientifique et technique. Au delà de l'utilisation raisonnée, on pourrait défendre l'idée d'une utilisation créative, pour bien marquer que la simple reproduction de savoir-faire routiniers est insuffisante. Plusieurs grands principes sont sous-jacents à un tel enseignement :

- « une continuité à travers les différents cycles d'enseignement,
- une symbiose avec l'utilisation de l'ordinateur dans les disciplines,
- une adaptation systématique au niveau des élèves,
- une liaison constante avec une pratique d'utilisation. »

Si aider à l'acquisition des notions nécessaires à une bonne compréhension du travail réalisé avec un ordinateur est un objectif raisonnable, une telle acquisition ne peut être assurée par la seule pratique de logiciels généraux. Elle doit s'accompagner d'apports de connaissance autour des notions générales du traitement de l'information. Sans entrer dans les détails, les concepts de codage de l'information, de mémoire, d'algorithme doivent être étudiés<sup>8</sup>. Savoir structurer et rechercher des informations sont des compétences à acquérir, les concepts d'arbre et de graphe sont pour cela importants, et devraient être complétés par des notions de

<sup>6</sup> Il faut signaler également le rôle très actif joué par les associations comme l'EPI et SPECIF.

<sup>7</sup> GTD informatique, note 16 du 11 juin 1993

<sup>8</sup> Même si ces notions ont évolué, elles constituent des sortes d'invariants permettant de comprendre la manière dont un ordinateur « fonctionne ». Un ensemble de concepts de base, même s'il est difficile d'en établir une liste à peu près exhaustive, caractérise l'informatique en tant que discipline.

recherche multi-critères<sup>9</sup>. La pédagogie de projet semble être une forme adaptée pour cela, en prenant garde de ne pas succomber à la « dictature du papier ». En effet, beaucoup de projets (journal scolaire, productions d'écrits) sont finalisés par l'élaboration de documents imprimés, ce qui conduit à privilégier un traitement particulier sur un document, sans toujours donner l'occasion aux apprenants d'effectuer d'autres opérations dessus. En ce sens, l'informatique ne peut se limiter à n'exister que comme une simple discipline de service, pour laquelle la référence à diverses activités déterminent les objectifs à atteindre, décrits en termes de savoir-faire et attitude.

S'il est difficile de montrer l'intérêt de la programmation pour la formation du raisonnement, on constate que l'ignorance de certains concepts, comme celui de mémoire, handicape les utilisateurs<sup>10</sup>. Pour les acquérir, des activités autour de la notion de programme paraissent nécessaires. Pour l'utilisateur, manipuler un dispositif informatique consiste à déclencher des actions en interprétant des illusions construites. Une sorte de cycle perception/action se déroule, la machine assurant les traitements demandés par les actions déclenchées par l'utilisateur et restituant un état pour le déclenchement des actions suivantes. Le problème est bien de comprendre pour quelle finalité ces illusions sont construites : optimiser le traitement de certaines données, faciliter l'interprétation, acquérir des connaissances, etc. Avoir conscience de cette illusion et comprendre que des objets sont manipulés dans un format particulier par la machine est essentiel. On constate également l'importance croissante de la modélisation dans l'enseignement des sciences expérimentales (Martinand, 1998). Pour ce faire, l'informatique joue un rôle essentiel et un apprentissage de rudiments de programmation est indispensable.

Au delà de ces considérations générales, il m'est difficile, dans ce document, d'avancer des propositions très précises de programmes et d'activités adaptés à chaque niveau de la scolarité. Je me contenterai de quelques suggestions.

Concernant l'école élémentaire, la question se pose très sérieusement de compléter les apprentissages généraux (lire, écrire, compter) d'une éducation à l'image. Il ne s'agit plus seulement d'acquérir des compétences dans la lecture d'images, puisqu'on dispose désormais de moyens performants (mais peut-être pas encore tout à fait adaptés) d'écriture multimédia. Dans le cadre du développement d'une culture scientifique et technologique dès l'école élémentaire, il faudrait également aider les enfants à acquérir une meilleure représentation des technologies informatiques qui peuplent leur environnement. Ce problème fait l'objet d'un projet de recherche européen, dans lequel l'IUFM de Créteil est, par mon intermédiaire, sous-contractant de l'INRP. Ce projet, nommé REPRÉSENTATION, a pour but l'étude des représentations relatives aux nouvelles technologies élaborées par les élèves de l'école élémentaire. Il s'agit de mettre en évidence ces représentations, ce qui nécessite une étude approfondie tant dans leur dimension sociale que dans leurs relations avec l'activité cognitive. Pour cela, seront développés des outils logiciels spécifiques, capables de faire émerger des représentations pour l'action, s'inspirant de la notion de « carte conceptuelle », adaptés de manière à offrir aux élèves des instruments conviviaux (imagés ou symboliques) de recueil de données et à fournir à la recherche des éléments pertinents sur leurs représentations.

Au niveau du collège, il semble important de dépasser la simple manipulation, pour faire comprendre quels sont les objets informatiques sous-jacents. Des activités autour du

<sup>9</sup> Notons à ce propos que l'organisation hiérarchique actuelle des fichiers pourrait laisser sa place à des modes plus souples et dynamiques d'organisation fondés sur des recherches de documents répondant à des critères explicites (Gelernter, 1998).

<sup>10</sup> Le travail effectué autour des calculatrices le montre clairement.

traitement de texte ou du tableur peuvent fournir des occasions propices pour cela. Par ailleurs, il ne semble pas que la référence constante aux pratiques dans les entreprises, courante pour les technologues qui ont en charge la formation informatique au collège, soit pertinente pour l'enseignement scolaire.

Au niveau du lycée, la notion de projet s'inscrit bien en continuité avec ce que se passe en technologie au niveau du collège. L'option informatique devrait être assurée plus largement, en conservant la place acquise par la programmation.

Bien évidemment, les considérations précédentes ne permettent pas de répondre aux questions délicates de mise en place effective de ces enseignements dans les structures actuelles de l'éducation nationale. Comment assurer tous ces enseignements ? Comment former les enseignants pour cela ?<sup>11</sup> Je n'ai pas d'éclairage particulier sur ces questions qui s'éloignent du domaine de la recherche.

Si l'informatique pût de ne pas être une discipline scolaire à part entière, du côté de l'université, les contraintes qui pèsent sur les enseignements et leur renouvellement incessant n'invitent pas à des réflexions en profondeur. La question des instruments conduit à réfléchir sur les compétences requises pour un usage raisonné, vaste champ de recherches pour la didactique de l'informatique en coopération avec d'autres didactiques disciplinaires.

### 3.2.1.3. Conception des instruments informatiques

Une des évolutions notables, introduite par l'informatique dans l'éducation, est l'apport de nouvelles ressources mises à disposition des apprenants et des enseignants : calculatrices, manuels scolaires, dictionnaires et encyclopédies, accès aux bases de données en ligne ou distantes, etc. Cela conduit peu à peu à modifier le cadre de travail des élèves et des professeurs. Concevoir de nouveaux instruments de travail, en s'appuyant notamment sur les travaux autour des activités instrumentées (Rabardel, 1995) est une piste de recherche essentielle.

Réfléchir l'informatisation des ressources, c'est aussi étudier la complémentarité possible entre les ressources existantes et les nouvelles, qui se diffusent déjà ou que l'on peut concevoir, en s'intéressant autant à leur acceptabilité cognitive qu'à leur acceptabilité sociale.

Le point de vue adopté consiste à considérer les logiciels informatiques non comme des outils mais comme des instruments. Il est développé dans [5], l'analyse étant complétée par des tentatives d'interprétation de l'emploi persistant du terme d'outil dans les textes officiels<sup>12</sup>. Afin de résumer, d'une manière certainement lapidaire, certaines différences entre les notions d'outil et d'instrument, on peut dire que l'outil *façonne* alors que l'instrument *instruit*. Parler d'outil à propos des dispositifs logiciels, revient à enlever une part de technicité ou de complexité, à ne pas tenir compte de l'aspect perception, à minimiser le processus d'interprétation du sujet<sup>13</sup>, voire à nier une forme de création ou de recreation (qui peut être au moins partiellement de nature artistique) de l'utilisateur dans les activités assistées par

<sup>11</sup> Un projet de CAPES mathématiques et informatique est actuellement à l'étude.

<sup>12</sup> Notons que dans le rapport du sénateur Gérard, le terme d'instrument est maintenant utilisé !

<sup>13</sup> Le mot outil a pris une extension importante dans le vocabulaire pédagogique où presque tout est maintenant considéré comme outil. Ainsi, par exemple, le dictionnaire est vu comme un outil de correction orthographique, alors que ce n'est pas un effecteur et qu'un processus d'interprétation et de décision est nécessaire. Des connaissances sur la langue sont indispensables pour utiliser de manière pertinente les dictionnaires. On pourrait multiplier les exemples.

l'ordinateur. Parler de l'informatique comme outil, c'est avant tout la considérer comme un moyen. De là à n'y voir qu'un simple moyen éducatif, une technologie au service de l'éducation, il n'y a qu'un pas souvent trop vite franchi. Dans ce cas, tout est affaire de choix personnel de l'enseignant, seul maître de sa pédagogie, seul juge des moyens qu'il pense adaptés à sa pédagogie. Adopter une perspective instrumentale, c'est se centrer sur les activités dans lesquelles l'apport des instruments est essentiel : des moyens, certes, attachés aux tâches, non en tant que compléments ou substituts, mais comme des parties intégrantes.

Dans ce cadre, ce qui est en jeu est l'instrumentation de disciplines scolaires n'ayant pas toujours l'habitude d'utiliser des instruments. Pourtant, certaines ressources existent déjà, d'où l'intérêt de réfléchir à leur transformation, leur mutation, par le jeu de l'informatisation.

Les travaux portant sur les calculatrices, les dictionnaires et les manuels scolaires, présentés préalablement, illustrent les recherches qui peuvent être menées : études d'usage des objets traditionnels (non informatisés), études à caractère historique, création de maquettes, expérimentations avec divers publics, etc.

Un rapprochement entre dictionnaires et calculatrices (ou plutôt calculettes) est intéressant. Ce sont tous deux des objets socialisés que l'on cherche parfois à transformer en des objets scolaires (des calculatrices ou des dictionnaires spécifiques pour un niveau scolaire donné). Leur usage se limite le plus souvent à la simple vérification (orthographe / calculs), ce qui peut amener à l'idée de tricherie (dès que les élèves ne se cantonnent plus à la vérification). Ils donnent lieu parfois à des activités de découverte (de la langue, des nombres). Les compétences minimales requises sont jugées faciles à acquérir. Mais au-delà de quelques savoir-faire généralement acquis, les usagers sont loin d'être capables de tirer partie des potentialités offertes (à part pour quelques « mordus » qui deviennent des spécialistes). A l'injonction classique des enseignants : va chercher dans le dictionnaire, prends ta calculatrice, on sait que les élèves restent le plus souvent démunis.

Or, il s'agit bien de mettre en place de nouvelles pratiques, pratiques qui n'ont pas encore pu s'installer. Le problème n'est pas de substituer de nouveaux outils techniques, dont les usages resteront pauvres, mais bien d'instrumenter des disciplines et de favoriser l'émergence de nouveaux usages qui auront un intérêt au plan éducatif. La question qui se pose est de voir comment faire pour que ces instruments deviennent des instruments de travail<sup>14</sup>.

Il s'agit de concevoir ces nouveaux instruments, de leur ajouter des couches spécifiques, tout en répertoriant les usages existants et en anticipant sur de futurs usages jugés pertinents. Ceci invite à mettre en place des méthodes de conception, incluant éventuellement des outils d'assistance à la création.

#### 3.2.1.4. Vers des méthodologies de conception<sup>15</sup>

Dans la première partie de ce dossier, j'ai montré différents processus de conception.

---

<sup>14</sup> Calculatrices et dictionnaires peuvent être utilisés au cours d'une activité pour fournir un résultat partiel, vérifier une orthographe ou une définition. Dans l'usage conjoint avec un ordinateur, le plus souvent les usagers gardent une calculatrice à côté ou un dictionnaire papier. Des dictionnaires électroniques portables, au format calculatrice ont fait leur apparition. Ils sont très rapides pour la recherche d'un mot (bien supérieur au papier) d'autant plus qu'ils proposent des orthographes voisines (et aussi l'usage du ? comme joker). A cette rapidité s'ajoute la flexibilité et l'absence de rupture du contexte de travail. On trouve des modèles dédiés à l'orthographe, l'aide aux jeux de lettres, à la traduction. L'existence de tels modèles nous renseigne sur les usages.

<sup>15</sup> Cette direction de recherche est ici simplement esquissée. Je n'ai pas fait ici de synthèse dans ce domaine.

Certains d'entre eux répondaient à une sorte de logique interne, comme les développements autour des micromondes LOGO. D'autres, s'appuyant sur une coopération avec des enseignants-auteurs, correspondaient à des formes de transposition, fondée sur un scénario comme pour ARRIA ou un travail en synergie pour traduire une méthode comme pour LYRE. Nous avons tenté, avec Martial Vivet, de définir un cadre méthodologique pour la conception, mettant l'accent sur la nécessité de décrire le plus complètement possible les situations d'apprentissage, butant sur la définition d'un langage de spécifications. Dans mes recherches les plus récentes, il s'agit de concevoir des maquettes en se fondant sur les usages courants ou plus experts des ressources classiques que sont les dictionnaires et les manuels scolaires.

Sur la question des méthodes de conception, dans le domaine des instruments informatiques destinés à l'apprentissage, beaucoup de travail a été effectué sans pouvoir encore conduire à des résultats très affirmés. De très nombreuses variables interviennent, ce qui rend l'analyse délicate. Des questions se posent quant à la composition même de l'équipe de conception, aux types de produits à concevoir et au processus de conception, aux outils ou environnements afférents et aux types d'expérimentations à mener.

Un point qui semble dorénavant acquis est la nécessité de prendre en compte les usages et les utilisateurs le plus tôt possible dans la conception. On s'accorde de plus en plus sur le fait que la conception doit être le fait d'une équipe, qu'on a tendance à qualifier de pluridisciplinaire. Beaucoup soulignent notamment l'importance des enseignants dans de telles équipes. Toutefois, une telle vision n'est pas exempte de paradoxe. La difficulté, pour les enseignants, est de pouvoir imaginer l'intérêt de fonctionnalités ou de dispositifs nouveaux alors même qu'ils ne se les ont pas encore appropriés. Ils ne sont pas toujours les mieux placés pour imaginer de nouveaux usages associés à des dispositifs novateurs, d'autant plus que les produits innovants sont souvent anxiogènes (Le Goaziou, 1996). Ces problèmes s'inscrivent dans le cadre général des processus d'innovation, qu'ils soient techniques (Flichy, 1995) ou propres à l'éducation.

Les études que j'ai effectuées tendent à montrer que la conception avec les enseignants est une interaction avec leurs conceptions, c'est-à-dire leurs visions de l'éducation et des possibilités des ordinateurs. Le processus de conception est alors un processus de formation qui nécessite un temps relativement long. Toutefois, il n'est pas question d'exclure les enseignants qui demeurent des usagers ou des prescripteurs privilégiés.

Le spectre des produits destinés à l'éducation est très large, allant d'outils et d'instruments à confier aux élèves ou aux enseignants pour qu'ils soient eux-mêmes concepteurs, logiciels d'enseignement excluant les enseignants ou les incluant partiellement, jusqu'à des ressources d'information ou de traitement, d'aide à l'interprétation, etc. Les travaux de Pernin *et al.* (1996), orientés vers la réalisation de « kits » à destination des enseignants afin que ces derniers produisent des simulations pour faire travailler leurs élèves, ouvrent des pistes prometteuses. Les productions ainsi effectuées sont avant tout destinées à un usage local et supportent des interactions plus intéressantes que les modèles à base de questionnaires à choix multiples. Il est également possible de mieux circonscrire les compétences que doivent avoir les enseignants pour mener à bien de telles réalisations.

La conception de produits diffusables nécessite la mise en œuvre de processus plus complexes. Se posent alors les problèmes classiques d'outils d'aide à la conception et des compétences requises pour les différents concepteurs. Sur ce dernier point, il apparaît des différences importantes suivant l'âge des utilisateurs visés et des connaissances mises en jeu,

permettant de préciser la part d'expertise disciplinaire dans la conception. Entre des produits de type grand public ou destinés à de jeunes enfants et des produits relatifs à des connaissances expertes, les contraintes sont très différentes, notamment quant à l'acceptabilité des usagers et à l'effort à consentir pour se les approprier.

Faut-il des outils spécifiques<sup>16</sup>, des langages, des « coquilles », des ateliers, des éléments réutilisables, etc. ? Certainement, bien que les ateliers et les méthodologies trop précises s'avèrent souvent décevants, utiles pour la production selon des modèles établis, suffisamment stabilisés, mais amenant des rigidités pour la conception de produits innovants. Le processus de conception est opportuniste (Nanard et Nanard, 1998). Disposer de bons outils de maquettage, permettant une boucle de retour expérimental rapide, est essentiel. Mais c'est certainement plus difficile en éducation, du fait notamment de la difficulté de mener des expérimentations avec les élèves et des écarts importants entre les connaissances de ces derniers et celles des enseignants, induisant des processus d'instrumentalisation différents voire incompatibles.

En l'absence d'un processus de conception entièrement balisé, des tactiques sont mises en œuvre. En tant qu'informaticien, il est légitime de revendiquer un fort aspect d'invention dans la conception, non dénué d'une certaine part artistique. Se contenter d'implanter en machine des scénarios minutieusement décrits ne laissant que peu d'initiative créative n'est généralement pas très satisfaisant. Sur la base de sa connaissance des fonctionnalités que les ordinateurs peuvent offrir, l'informaticien, soucieux d'effectuer un réel travail interdisciplinaire, préfère rechercher une forme de synergie, par la réinterprétation des techniques et des fonctionnalités qui prennent sens dans une discipline particulière. L'apport de l'intelligence artificielle, fournissant des modèles de représentation des connaissances, et des recherches sur les interfaces personne-machine, pour faciliter la manipulation de ces représentations, est l'élément moteur de la conception innovante. En effet, développer des fonctionnalités de manière intrinsèque, c'est-à-dire sans viser trop précisément un contexte spécifique d'application, permet d'atteindre un niveau souhaitable de généralité. Il est ensuite toujours possible de créer des sur-couches pour concevoir un logiciel adapté à un public particulier. Viser trop vite un produit soi-disant adapté (à une demande plus ou moins clairement formulée) est susceptible de produire des logiciels non cohérents, ne fonctionnant que dans des scénarios très rigides.

Les évaluations et les expérimentations jouent un rôle majeur. Mais quelles expérimentations conduire ? En effet, elles coûtent cher, prennent beaucoup de temps et sont complexes à monter. Quel résultat peut-on en attendre qui n'était pas prévisible sur la base des multiples expérimentations déjà menées avec d'autres technologies. Cette question prend une actualité importante avec le développement des techniques de réalité virtuelle et des interfaces multimodales, invitant à passer du cognitif au sensoriel. La prise en compte de nouvelles frontières ne devrait pas faire fi des leçons du passé. Un cadre méthodologique reste à établir pour obtenir un effet véritablement cumulatif des recherches conduites.

Dans mes dernières recherches, la conception joue un rôle particulier. En effet, il s'agit plus de comprendre que de produire, la production nécessitant des ressources importantes, tant financières qu'humaines, dont on ne peut disposer. Le travail autour de maquettes a pour objet d'analyser tant les produits à obtenir que les processus à mettre en œuvre. Cela conduit à adopter une vision très large et à coordonner des études multiples. Les techniques hypertextes

---

<sup>16</sup> Pour une revue récente des systèmes d'aide à la conception de logiciels éducatifs, voir Lapujade et Enrst (1996).

sont également utilisées pour assister le travail de recherche, organiser et structurer des ensembles de documents de différentes natures pour mieux les comprendre et les analyser. A partir de là découlent des problématiques spécifiques autour de l'informatique dans une acception large de ce terme.

### **3.2.2. Cadre de recherche**

Pour mener les différentes pistes de recherche que je viens de décrire, les coopérations devront se renforcer entre les institutions avec lesquelles je travaille.

Le laboratoire informatique de l'université du Maine (LIUM) dirigé par Martial Vivet constitue le point d'appui privilégié pour les recherches dans le domaine de l'informatique appliquée à l'éducation. Un engagement plus important dans le DEA « Communication Homme-Machine et Ingénierie Éducative » devrait favoriser l'encadrement de travaux d'étudiants, tant en DEA qu'en thèse.

Ensuite, le travail déjà entrepris depuis plusieurs années au sein du DEA « Enseignement et diffusion des sciences et des techniques » et au LIREST, dirigé par Jean-Louis Martinand, devrait se poursuivre, les applications de l'informatique à l'éducation ainsi que la didactique de l'informatique devant y prendre une place plus grande, ce qui devrait également aboutir à des encadrements d'étudiants en DEA et en thèse.

Enfin, l'IUFM de Créteil et le département TECNE de l'INRP demeurent le cadre de développement de divers projets de recherche en cours : l'étude sur les manuels électroniques, le projet européen REPRESENTATION qui a débuté le premier septembre 1998. A également été lancé un projet sur l'analyse des compétences en TIC des futurs enseignants. Les autres coopérations, notamment avec l'INaLF et le LIP6 seront poursuivies.

## 4. Références

- AFEF (1991). *Des Dictionnaires. Le français aujourd'hui n°94*, Paris, 128 p.
- ANTOINE Fabrice (1992). *Dictionnaire(s) mode(s) d'emploi*, La Maison du dictionnaire, Paris, 120 p.
- APMEP (1979). *Calculatrices 4 opérations. Élémentaire et premier cycle*. Publication de l'APMEP n°31, 176 p.
- BLONDEL F.-M., SCHWOB M., TARIZZO M. (1997). « Diagnostic et aide dans un environnement d'apprentissage ouvert : un exemple en chimie, SCHNAPS », *Sciences et Techniques Educatives*, 4, 4, p. 377-412.
- BORNE Isabelle (1983). « Les objets dans Logo ». *BIGRE*, 37, p. 2-10.
- CARPENTER T.P., MOSER J.M. (1982). « The development of addition and subtraction problem-solving skills », in CARPENTER T.P., MOSER J.M., ROMBERG T.A. (eds.), *Addition and Subtraction: a cognitive perspective*, Hillsdale, LEA, p. 9-24.
- CHOPPIN Alain (1992). *Le manuel scolaire : histoire et actualité*, Paris, Hachette éducation, Collection Pédagogie pour demain, 240 p.
- COMBESSIE Jean-Claude (dir.) (1993). *Le dictionnaire de langue française*. Etude réalisée pour la Délégation Interministérielle à la Langue Française, Centre de Sociologie de l'Education et de la Culture, Paris, rapport multicopié, 134 p.
- CUBAN Larry (1986). *Teachers and Machines. The Classroom Use of Technology Since 1920*, Teachers College Press, NY, 134 p.
- DEP (1995). *Repères et références statistiques sur les enseignements et la formation*, Direction de l'évaluation et de la prospective, 339 p.
- DERYCKE A., VIÉVILLE C., POISSON D., STACH C., N'GUYEN M. (1988). Le nanoréseau : utilisations pédagogiques d'un réseau local, *Technique et Science Informatique*, 1, 7, p. 7-20.
- DILLENBOURG Pierre (1994). "Evolution épistémologique en EIAO", *Sciences et Techniques Educatives*, 1, 1, p. 39-51.
- DRESCHER G.L. (1987). « Object-oriented Logo » in Lawler R. and Yazdani M. (eds.), *Artificial Intelligence and Education, Vol 1*, Ablex, p. 154-165.
- DUCHASTEL Philip (1998). Prolegomena to a theory of instructional design. Submission to *Journal of Interactive Media in Education*, [www.nova.edu/~duchaste](http://www.nova.edu/~duchaste).
- DUVAL R., EGRET M.A. (1989). « L'organisation déductive du discours : interaction entre structure profonde et structure de surface dans l'accès à la démonstration », *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 2, p. 25-40.
- EKLUND J., BRUSILOVSKY P., SCHWARZ E. (1998). A study of Adaptive Link Annotation in Educational Hypermedia, in Ottman T., Tomek I. (eds.), *ED-Media/ED-Telecom 98*, AACE.
- FAUROUX Roger et CHACORNAC Georges (1996). *Pour l'école. Rapport de la commission présidée par Roger Fauroux*, Calmann-Lévy, La Documentation Française, 300 p.
- FERBER Jacques (1995). *Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective*. InterEditions, Paris, 522 p.
- FLICHY Patrice (1995). *L'innovation technique. Récents développements en sciences sociales. Vers une nouvelle théorie de l'innovation*. La découverte, Paris, 208 p.
- FORTE Eddy, LOZANO Boris Correa, JAVET Philippe (1991). « Liens contextuels entre exercices assistés par ordinateur en thermodynamique et hypertextes d'aide théorique », in de LA PASSARDIÈRE Brigitte, BARON Georges-Louis (eds.), *Hypermédiat et Apprentissages*, INRP, MASI, p. 205-211.
- GELERNTER D. (1998). *Machine beauty: elegance and the art of technology*. Basic Books, Perseus Books, 168 p.
- GUIN D. (1991). « Nécessité d'une spécification didactique des environnements informatiques d'apprentissage » in *Actes EIAO 91*, Cachan, ENS de Cachan, p. 253-259.
- INRDP (1972). *Emploi des calculatrices programmables dans le second degré. Bilan d'une expérimentation menée par les IREM et l'INRDP*. INRDP, Paris, 150 p.
- KIBBY M.R., MAYES T. (1993). « Towards intelligent hypertext » in McAleese R. (ed.), *Hypertext*,

- theory into practice*, Intellect Books, p. 138-144.
- LAPUJADE Anne, ERNST Christian (1996). « Un panorama des systèmes d'aide à la conception de logiciels éducatifs », *Sciences et techniques éducatives*, 3, 3, p. 297-334.
- LAVOIE Paul (1994). *Contribution à une histoire des mathématiques scolaires au Québec : l'arithmétique dans les écoles primaires (1800-1920)*. Thèse de l'université Laval, Faculté des sciences de l'éducation, Québec.
- LE GOAZIOU Véronique (1996). « L'usage comme limite de l'innovation », in CROS Françoise, ADAMCZEWSKI Georges (eds.), *L'innovation en éducation et en formation*, De Boeck Université, INRP, p. 155-160.
- LE ROY DES BARRES Alexandre (1993). *Utiliser dictionnaires et encyclopédies*. Hachette Education, Pédagogies pour demain, Paris, 224 p.
- LOOSFELT P. (1986). *Étude et conception d'un système de communication pour l'EAO : le nanoréseau*. Thèse de l'université des sciences et techniques de Lille, 178 p.
- MOYSE R. (1989). « Knowledge Negotiation Implies Multiple Viewpoints ». *Proceedings of the 4th International Conference on AI and Education*, Amsterdam, IOS, p. 140-149.
- NANARD M. (1995). « Les hypertextes : au-delà des liens, la connaissance ». *Sciences et techniques éducatives*, 2, 1, p. 31-59.
- NANARD M., NANARD J. (1998). La conception d'hypermédias, in Tricot A. et Rouet J.-F. (dir.) *Les hypermédias, approches cognitives et ergonomiques*, Hermès, Paris, p. 15-34.
- NOËL-GAUDREAU Monique (1995). « Un réseau hypertexte pour écrire de la fiction: HyperConte... » in HOPPER Christophe et VANDENDORPE Christian (eds.), *Aides informatisées à l'écriture*, Les éditions Logiques, Montréal, p. 109-118.
- O'SHEA T., SELF J. (1983). *Learning and Teaching with Computers - Artificial Intelligence in Education*, Harvester Press, Brighton, 307 p.
- PAIR Claude (1996). Préface, in BARON Georges-Louis, BRUILLARD Eric, *l'informatique et ses usagers dans l'éducation*, PUF, l'éducateur, p. 1-4.
- PERNIN J.P., GUÉRAUD V., COUDRET F. (1996). « An experimental environment for the production of pedagogical simulations », *Proceedings of the third Int. Conf. CALISCE*, Lecture notes in Computer Science, vol. 1108, Springer-Verlag.
- PLANE Sylvie (1991). *Observer pour évaluer. Evaluation CE2-6<sup>e</sup>. Démarches et erreurs*. Centre Départemental de Documentation de la Manche, 145 p.
- RABARDEL Pierre (1995). *Agir avec des instruments : de l'outil aux systèmes techniques, une approche cognitive*, Armand Colin, Paris, 224 p.
- SCHMITT Alain (1991). « Utilisation/conception pédagogique des hypertextes et hypermédias », in de LA PASSARDIÈRE Brigitte, BARON Georges-Louis (eds.), *Hypermédias et Apprentissages*, INRP, MASI, p. 89-94.
- SIKLÓSSY L. (1970). « Computer tutors that know what they teach ». *Proceedings Fall Joint Conference*, p. 251-255.
- SOMMERVILLE I. (1992). *Le génie logiciel*. Addison-Wesley, Paris, 638 p.
- VERGNAUD Gérard (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems, in CARPENTER T.P., MOSER J.M., ROMBERG T.A. (eds.), *Addition and Subtraction: a cognitive perspective*, Hillsdale, LEA, p. 39-57.
- VEYRAT Christel (1995). *L'intelligence du Petit Robert, Anatomie d'un dictionnaire*. Les Editions Logiques, Montréal, 360 p.
- VIVET M. (1982). « LOGO : un environnement informatique pour la formation d'adultes », in *Actes du premier colloque LOGO*, Clermont-Ferrand, décembre 1982, p. 19-27.
- VIVET M. (1984). *Expertise mathématique et informatique : CAMELIA un logiciel pour raisonner et calculer*, Thèse de doctorat d'Etat, Université Paris VI, Juin 1984.
- WARAIF A. (1998). Telling stories - The role of narrative in intelligent tutoring systems, in Educational Hypermedia, in Ottman T., Tomek I. (eds.), *ED-Media/ED-Telecom 98*, AACE.

## 5. Liste de publications

### Livres

- [1] BRUILLARD Eric (1997). *Les machines à enseigner*. Editions Hermès, Paris, 320 p.
- [2] BARON Georges-Louis et BRUILLARD Eric (1996). *L'informatique et ses usagers dans l'éducation*. Presses Universitaires de France, l'Éducateur, Paris, 312 p.
- [3] BRUILLARD Eric (1991). *Mathématiques et EIAO : une vision hypertexte des environnements d'apprentissage*, Thèse de l'Université du Maine, Le Mans, février 1991, 314 p.
- [4] BRUILLARD Eric, PÉROLAT Yves Daniel, WEIDENFELD Gérard (1986). *Aller plus loin en LOGO*, Editions Eyrolles, Paris, 128 p.

### Chapitres de livres

- [5] BRUILLARD Eric (1997). « L'ordinateur à l'école : de l'outil à l'instrument », in Pochon Luc-Olivier, Blanchet Alex (eds.), *L'ordinateur à l'école : de l'introduction à l'intégration*, IRDP, Neuchâtel, p. 99-118. (version légèrement modifiée publiée comme Point de vue dans *Sciences et Techniques Éducatives*, 5,1)
- [6] BARON Georges-Louis, BRUILLARD Eric et CHAPTAL Alain (1997). « From Personal Use to Classroom Use. Implications for Teacher Education in France », in Passey Don & Samways Brian (eds.), *Information Technology. Supporting change through teacher education*, IFIP, Chapman et Hall, p. 161-168.
- [7] BRUILLARD Eric (1996). « De l'usage personnel à l'usage scolaire. Obstacles à l'intégration des instruments » in Puimatto Gérard et Bibeau Robert (eds.), *Comment informatiser l'école ?* Montréal, Paris, Publications du Québec, CNDP, p. 201-212. (version reprise et légèrement modifiée dans les Actes de l'université d'été Rennes, 1997)
- [8] BRUILLARD Eric (1995). « Hypertexte pour l'aide à l'écriture. Généralités et exemples », in Hopper Christophe et Vandendorpe Christian (eds.), *Aides informatisées à l'écriture*, Les Editions Logiques, Montréal, p. 81-96.
- [9] BRUILLARD Eric et VIVET Martial (1994). « Concevoir des EIAO pour des situations scolaires », *Recherche en Didactique des Mathématiques*, vol.14, n°12, p. 275-304.
- [10] BRUILLARD Eric et VIVET Martial (1994). « Problèmes de conception en EIAO. Une approche méthodologique basée sur le concept de situation », in Zreik Khaldoun et Trousse Brigitte (eds.), *Organisation de la Conception*, EUROPIA, p. 125-140.
- [11] BARON Georges-Louis et BRUILLARD Eric (1994). « Towards the Integration of Information Technology in Compulsory Education? Potentialities and Constraints », in Wright June et Benzie David (eds.), *Exploring a new partnership: children, teachers and technology*, IFIP WG3.5, North Holland, p. 21-32.
- [12] DELOZANNE Elisabeth, BRUILLARD Eric, VIVET Martial (1992). « Mathematical intelligent learning environments. A french view point » in Nwana Hyacinth (ed.), *Mathematical Intelligent Learning Environments*, Intellect Books, p. 14-32.
- [13] BRUILLARD Eric et WEIDENFELD Gérard (1990). « Some examples of Hypertext's Applications », in Jonassen David, Mandl Heinz (eds.), *Designing Hypermedia for Learning*, NATO ASI Series, vol. F67, Springer, p. 377-386.

## Articles de revue à comité de lecture

- [14] BRUILLARD Eric, de LA PASSARDIÈRE Brigitte. (1998). « Fonctionnalités hypertextuelles dans les environnements d'apprentissage », in Tricot A. et Rouet J.-F. (dir.) *Les hypermédias, approches cognitives et ergonomiques*, Hermès, Paris, p. 95-122.
- [15] BARON Georges-Louis et BRUILLARD Eric (1997). « Information Technology in French Education: Implications for Teacher Education », *Journal of Information Technology for Teacher Education*, Vol. 6, n° 3, p. 241-253.
- [16] BRUILLARD Eric (1994). « Quelques obstacles à l'usage des calculettes à l'école : une analyse », *Grand N*, n°53, p. 67-78.
- [17] BRUILLARD Eric, de LA PASSARDIÈRE Brigitte (1994). *Hypermédias et éducation : des repères*, STE, Vol.1, n°1, p. 17-37.
- [18] BARON Georges-Louis, BRUILLARD Eric (1994). « Information technology, Informatics and preservice teacher training », *Journal of Computer Assisted Learning*, n°10, p. 2-13.
- [19] BARON Georges-Louis, BRUILLARD Eric (1993). « Quelle place pour les nouvelles technologies dans la formation initiale des enseignants ? », *Recherche et Formation*, INRP, n°14, p. 101-116.
- [20] GRANDBASTIEN Monique (1992). « Intelligent Tutoring Systems for Scientific Subjects: are prototypes ready for broad experimentation? » in *Computers Educ.* Vol. 18, n° 1-3, p. 63-70.

## Autres articles de revue

- [21] BRUILLARD Eric (1995). Quel(s) rôle(s) attribuer aux instruments informatiques dans l'enseignement des mathématiques ? *Bulletin APMEP*, n° 401, p. 893-901.
- [22] BARON Georges-Louis, BRUILLARD Eric (1993). « L'informatique et la formation à l'IUFM: une étude de cas à Créteil », *Bulletin de l'EPI*, n°70, juin 1993, p. 43-54.

## Coordination d'ouvrages

- [23] BRUILLARD Eric, BALDNER Jean-Marie et BARON Georges-Louis (eds.) (1996). *Hypermédias et Apprentissages 3*, Actes des troisièmes journées scientifiques Hypermédias et Apprentissages, INRP, EPI, 300 p.
- [24] BARON Georges-Louis et BRUILLARD Eric (eds.) (1996). *Du livre au CD-ROM, permanences et mutations. Le cas des manuels de mathématiques au collège*, Actes des journées de travail de Lille, 25-26 juin 1996, INRP, 100 p.
- [25] BRUILLARD Eric (ed.) (1995). *Des outils pour le calcul et le traçage des courbes*, Les dossiers de l'Ingénierie éducative, CNDP, 87 p.
- [26] Dossier complété dans *Médialog* n°27, octobre 1996, L'intégration des outils pour le calcul et des calculatrices, p. 36-51

### *Séminaire Informatique et formation des enseignants*

- [27] BARON Georges-Louis et BRUILLARD Eric (eds.) (1996). *Informatique et éducation : regards cognitifs, pédagogiques et sociaux*, Textes issus du séminaire Informatique et formation des enseignants, Documents et travaux de recherche en éducation, 15, INRP, 122 p.
- [28] BARON Georges-Louis et BRUILLARD Eric (eds.) (1994). *Informatique, formation des enseignants : quelles interactions ?* Actes du séminaire ouvert sessions de 1992-1993, INRP, Paris, 112 p.

### *Séminaire Hypermédia, éducation et formation*

- [29] BRUILLARD Eric, BARON Georges-Louis et de LA PASSARDIÈRE Brigitte (eds.) (1996). *Hypermédias, éducation et formation : vers de nouvelles frontières*. Actes du séminaire Hypermédias, Education et Formation, IUFM de Créteil, LIP 6, INRP, 65 p.
- [30] BRUILLARD Eric, BARON Georges-Louis et de LA PASSARDIÈRE Brigitte (eds.) (1995). *Hypermédias, éducation et formation : techniques, marchés et usages*. Actes du séminaire Hypermédias, Education et Formation, IUFM de Créteil, MASI, INRP, 74 p.

- [31] BRUILLARD Eric, de LA PASSARDIÈRE Brigitte et BARON Georges-Louis (eds.) (1994). *Hypermédiat, éducation et formation : contribution à la structuration d'un champ émergent*. MASI, 95/01, 89 p.

### Papiers dans des colloques et des actes de séminaire

- [-] BARON Georges-Louis et BRUILLARD Eric (1998). « Information technology in France: new trends and perspectives », in *Technology and Teacher Education Annual 1998, Proceedings SITE 98*, AACE, Washington DC, 10-14 march 1988, p. 529-531.

(Cette contribution a été récompensée par un « award » lors du congrès SITE 98)

- [-] BRUILLARD Eric et BARON Georges-Louis (1998). « Setting up virtual films with preservice teachers as a preservice training activity: a case study in mathematics », in *Technology and Teacher Education Annual 1998, Proceedings SITE 98*, AACE, Washington DC, 10-14 march 1988, p. 607-609.
- [-] BARON Georges-Louis et BRUILLARD Eric (1997). Towards electronic handbooks for learning mathematics? Potentialities and constraints. *Conference IFIP TC3, WG 3.1, Short papers*, Villars de Lans, France, October 26, October 31.
- [32] BRUILLARD Eric, BARON Georges-Louis (1997). From printed textbooks to electronic textbooks. A case study in mathematics. In M. Hejny, J. Novotna (Eds.), *Proceedings European Research Conference on Mathematical Education*, Pödebrady, August 31-September 4, p. 146.
- [33] BRUILLARD Eric (sous-pressé). « EIAO et modélisation : des repères », Actes du séminaire du LIREST.
- [34] BARON Georges-Louis et BRUILLARD Eric (1996). « Information Technology in French Education: Implications for Teacher Education », in Robin B., Price J., Willis J. Willis D.A. *Technology and Teacher Education Annual 1996, Proceedings SITE 96*, AACE, p. 59-62.
- [35] BRUILLARD Eric et BARON Georges-Louis (1996). « Interests of Mathematical Interactive Instruments in teacher training », in Robin B., Price J., Willis J. Willis D.A. *Technology and Teacher Education Annual 1996, Proceedings SITE 96*. AACE, p. 177-180.
- [35b] BRUILLARD Eric (1995). « Geometric construction software for primary students. Are they useful for learning geometrical concepts », International Workshop, WCCE 95.
- [36] BRUILLARD Eric, PIOTROWSKI David et VIGNAUX Georges (1995). « Spécification hypertextuelle d'un dictionnaire électronique », *IVèmes Journées Scientifiques Lexicomatique et Dictionnaires*, Lyon, 28 au 30 septembre 1995.
- [37] BRUILLARD Eric et LE GLÉDIC Anne (1995). « Hypertexte et résolution de problèmes en mathématiques dans un contexte scolaire. Génération automatique de problèmes sur les structures additives », *46ème Rencontre Internationale de la CIEAEM*, Toulouse, 10-16 juillet 94, p. 110-116.
- [38] BRUILLARD Eric (1993). « Designing hypertext with primary teachers for primary students. A study about methodological transfer », *Proceedings, IFIP open Conference*, WG 3.1, 3.5, Gmunden, Autriche, Juin 1993, IX, p. 3-5.
- [-] BARON Georges-Louis et BRUILLARD Eric (1993). « Technologies de l'information et de la communication et formation des enseignants », in *Premier congrès, Actualité de la Recherche en Education et Formation*, AESCE, Paris, mars 1993, p. 14.
- [39] BRUILLARD Eric (1992). « Réflexions sur la conception et les modes d'usage d'Arria », in Gras Régis (ed.), *Séminaire de didactique des Mathématiques année 1992*, Institut de recherche de mathématiques de Rennes.
- [40] BRUILLARD Eric (1992). « Développement et Evaluation d'Hypertextes dans un contexte scolaire ». *1ère Biennale de l'Education et de la Formation*. UNESCO, 27-30 avril 1992
- [41] BRUILLARD Eric. (1992). « ARRIA : a pragmatic approach of demonstration writing », in *Proceedings ICCAL (Short Papers)*, Wolfville, Canada, juin 1992.
- [42] BRUILLARD Eric (1992). « Bilan critique sur 10 ans de formation aux T.I. en Ecole Normale d'Instituteurs. Quelle perspective pour les IUFM », *Actes du congrès européen : La technologie de l'information et de l'Education : une vision critique*, Barcelone, novembre 1992, p. 423-432.
- [43] BRUILLARD Eric (1991). « CAMELEON : un résolveur qui sait reconnaître les évidences », *Actes des deuxièmes journées EIAO de Cachan*, Les Editions de l'ENS de Cachan, janvier 1991, p. 121-138.

- [44] BRUILLARD Eric (1991). « Some new LOGO microworlds and their impact in the classroom - The future : Hypertext and Microworlds », *Proceedings of Third European Logo Conference*, A.S.I. Parma, p. 493-506.
- [45] BRUILLARD Eric (1990) « ARRIA : Un système ouvert de gestion de fragments pour l'apprentissage de raisonnements et de leur communication », In Cuppens R. (Ed.) *Actes de l'Université d'été Informatique et Enseignement de la Géométrie*, IREM de Toulouse. p. 23-56.
- [46] BRUILLARD Eric et LEPENNEC Loïc (1989). « Concevoir, programmer, découper : le filicoupeur », *Actes du 1er congrès francophone de robotique pédagogique*, Le Mans, 1989, p. 141-154.  
(Publié sous forme condensée dans le journal *Interface 2/89*, revue de la Société Suisse des Professeurs concernés par l'informatique, Yverdon, Suisse, p. 32-33.)
- [47] BRUILLARD Eric et DROUIN Claude (1989). « Utilisation de l'hypertexte en mathématiques », *Actes du XVIèmes colloque Inter-IREM des P.E.N.*, Bordeaux, p. 59.
- [48] BRUILLARD Eric (1988). « Utilisation du système SEVE pour la conception de didacticiels », In Vivet M. (ed.) *Actes de l'Université d'été européenne sur les tuteurs intelligents*, Le Mans, p. 223-230.
- [49] BROUAYE Pascal, BRUILLARD Eric, FERRET Emmanuel, WEIDENFELD Gérard (1987). « APprentissage Personnalisé Au Tableur », *Actes du congrès EAO 87*, Cap d'Agde, mars 1987, p. 247-256.
- [50] BRUILLARD Eric, PEREIRA Isabelle (1987). Quelques problèmes d'apprentissage avec LOGO et PROLOG, *Actes du congrès EAO 87*, Cap d'Agde, mars 1987, p. 267-276.
- [51] BROUAYE Pascal, BRUILLARD Eric, MARCHAL Benoît, WEIDENFELD Gérard (1987). SEVE, un système auteur pour le traitement des documents, *Actes du congrès EAO 87*, Cap d'Agde, mars 1987, p. 91-103.

## Rapports de recherche

- [52] BARON Georges-Louis et BRUILLARD Eric (eds.) (1997). *L'intégration des TIC dans le système éducatif : instruments, acteurs, systèmes*, Journées d'étude Recherche INRP 40121, IUFM de Créteil, 92 p.
- [53] BARON Georges-Louis et BRUILLARD Eric (1996). *Contribution à l'étude de la conception et des usages d'un manuel électronique de mathématiques*, Rapport intermédiaire, GIS "Sciences de la cognition", 15 p.
- [54] BARON Georges-Louis, HARRARI Michelle et BRUILLARD Eric (1996). *Etudiants et prescripteurs face à l'informatique. Premiers résultats d'une étude exploratoire*. Documents et travaux de recherche en éducation, n°13, INRP, 106 p.
- [55] BRUILLARD Eric, PIOTROWSKI David et VIGNAUX Georges (1995). *Du dictionnaire considéré comme hypertexte*. Rapport d'étape 1995, Programme CNRS « Cognition, Communication intelligente et Ingénierie des langues », Axe III, « Hypertextes et Dictionnaires », INaif, Nancy, 120 p.
- [56] BRUILLARD Eric (1995). *Usage des calculatrices à l'école élémentaire et au début du collège. Etude de cas dans le Val de Marne*. Rapport interne 95/01, IUFM de Créteil, 97 p + 76 p. (annexes)
- [57] BARON Georges-Louis et BRUILLARD Eric (1993). *La prise en compte de l'informatique dans la formation des enseignants. Etude de cas dans un IUFM*. Rapport technique INRP 93-4-092, Paris, 65p.
- [58] BRUILLARD Eric et ROCLAND Nicole (1986). *Simulation d'interpréteur LOGO*. Rapport interne Centre Mondial de l'informatique et des Ressources Humaines, Paris, 120 p.