

SADDO AG ALMOULOU

DANIEL BLANC

**Sur la modélisation de l'élève : le cas de DEFI**

*Publications de l'Institut de recherche mathématiques de Rennes*, 1992, fascicule 3  
« Fascicule de didactique des mathématiques », , exp. n° 7, p. 1-12

[http://www.numdam.org/item?id=PSMIR\\_1992\\_\\_3\\_A7\\_0](http://www.numdam.org/item?id=PSMIR_1992__3_A7_0)

© Département de mathématiques et informatique, université de Rennes,  
1992, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la série « Publications mathématiques et informatiques de Rennes » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme  
Numérisation de documents anciens mathématiques  
<http://www.numdam.org/>

# **SUR LA MODELISATION DE L'ELEVE : LE CAS DE DEFI <sup>(1)</sup>**

**Saddo AG ALMOULOU**  
**IRMAR – Université de Rennes 1**

**Italo GIORGIUTTI**  
**IRMAR – Université de Rennes 1**

---

*RESUME : Notre propos est de contribuer principalement au thème de la "modélisation de l'élève". Nous proposons un schéma de modélisation obtenu par Ag Almouloud. Elle est le fruit de l'étude d'un processus didactique ayant pour environnement informatique le logiciel DEFI (Démonstration et Exploration de la Figure Interactives). L'analyse hiérarchique implicative est l'outil essentiel utilisé pour le travail d'analyse de productions des élèves.*

*Dans une dernière partie nous évoquerons les fonctionnalisés que cette modélisation pourrait apporter ou changer dans un logiciel ayant les caractéristiques de DEFI.*

---

## **1. Introduction**

Nous présenterons, d'une part, DEFI essentiellement du point de vue didactique, et d'autre part les expériences faites à l'aide de celui-ci. Ces expériences ont pour but à la fois la validation didactique de DEFI et la construction d'un modèle de l'élève à partir de données recueillies à l'interface du logiciel. La modélisation obtenue [Ag Almouloud 1992] se place dans l'étude d'un processus didactique ayant pour environnement informatique le logiciel DEFI. Le logiciel CHIC (Classification Hiérarchique, Implicative et Cohésitive) et son fondement théorique sont des éléments déterminants dans l'aboutissement de cette modélisation, en particulier dans la classification et l'analyse des démarches des élèves. Nous présenterons le cadre expérimental dans lequel DEFI a été utilisé et le travail de modélisation qu'il a permis de faire.

Dans une seconde partie nous essayons d'établir le lien de cette modélisation avec l'E.I.A.O. en nous appuyant sur les catégories établies par Self [Self 1987]. On cherchera à imaginer les

---

(1) Cet texte qui sera publié dans les Actes des III<sup>ème</sup> Journées E.I.A.O de l'E.N.S. de Cachan (3. 4. 5 Février 1993) correspond pour une grande part à l'exposé fait par I. GIORGIUTTI sous le titre : "Aide aux élèves et contextes d'enseignement".

fonctionnalités que cette modélisation pourrait apporter ou qu'on ne pourrait modifier dans un logiciel ayant les caractéristiques de DEFI

Dans [Giorgiutti et Ag Almouloud 91] nous avons surtout parlé des "connaissances" et des "stratégies didactiques" implémentées dans DEFI et nous avons à peine abordé la "modélisation de l'élève". Nous avons essentiellement dit qu'il n'y avait pas à l'intérieur de DEFI de "module élève", avec son code et ses données propres mais que la présence de l'élève était implicite partout dans le code.

## 2. Description sommaire de DEFI

La version actuelle de DEFI (*Démonstration et Exploration de la Figure Interactive*) écrite en Pascal et fonctionnant sur Macintosh, présente à l'élève, deux modules principaux :

- \* un module "*Exploration de la figure*" (muni d'un petit système expert)
- \* un module "*Démonstration*".

### 2.1. Module exploration de la figure

Dans le travail du mathématicien, la figure est très souvent utilisée comme un révélateur des sous-problèmes dans la résolution de problèmes. C'est cette façon de voir la figure que doit restituer le logiciel. Il s'agit d'une structuration de la figure (et sous-figure) en terme de propriétés géométriques et de relations prenant en compte la conclusion du problème.

Le module "*Exploration de la figure*" propose successivement les décompositions possibles du problème en sous-problèmes, parmi lesquelles l'élève retient celle qui lui paraît juste. Puis le module réitère sur ces sous-problèmes, jusqu'à ce que l'élève se dise capable de démontrer les sous-buts obtenus, mais sans réaliser effectivement cette démonstration. Cette décomposition est faite par une suite de questions plus ou moins ordonnées en une remontée vers des hypothèses à partir de la conclusion à démontrer et se trouve ainsi très liée à la résolution du problème.

Ce module a pour objectif de faire prendre conscience aux élèves du rôle et du statut de la figure dans la résolution, au moyen d'un raisonnement s'appuyant sur la figure liée à un problème de géométrie. Il est de nature et de fonction essentiellement heuristiques et vise à :

- \* mettre les élèves en véritable activité de résolution de problème,
- \* intégrer, dans cette résolution de problème, un travail de nature heuristique sur la figure.

### 2.2. Module démonstration

La réalisation du module "*Démonstration*" s'appuie sur les hypothèses suivantes :

- \* la démonstration n'apparaît véritablement comme un processus de validation que lorsqu'elle est complètement maîtrisée,

- \* la démonstration est un objet profondément culturel,

- \* les enseignants ont en général, des difficultés, d'une part, à repérer et à identifier le type d'erreurs commises par les élèves afin de formuler des hypothèses sur leurs conceptions, et d'autre part, à bâtir des situations permettant l'apparition de certaines procédures et le déséquilibre de celles qui sont erronées,

- \* faire travailler les élèves avec le modèle le plus simple de la démonstration qui soit (déroulement linéaire des hypothèses vers la conclusion en pas de démonstration, logique minimale avec "entraîne" et "et"); une fois ce modèle assimilé, l'élève ne devrait plus se heurter qu'à des difficultés techniques, le contrat de la démonstration étant compris,

- \* réagir, en temps réel, aux erreurs de type logique par l'intermédiaire de message d'erreur (ou de réussite) après chaque pas de démonstration pour aider les élèves à réfléchir sur leurs démarches,

- \* neutraliser au maximum les variables de nature linguistique, il s'agit notamment de l'usage des mots de liaison "et", "ou", "donc", "par", etc. dans la structuration de la solution d'un problème de géométrie.

Au niveau de la structure interne de ce module, une démonstration est un processus itératif qui, partant de la liste (L0) des données du problème, à la liste (Li) obtenue à une étape ajoute la conclusion d'un pas de démonstration correct (Pi). C'est la **connaissance du domaine** que possède le logiciel.

D'autre part, le logiciel, comme nous le signalons dans l'introduction, est conçu à partir d'une **modélisation de l'élève**, mais cette modélisation n'est pas implémentée pour l'instant dans le logiciel; a fortiori, il n'y a aucun diagnostic mettant en œuvre une typologie des élèves.

L'élève peut consulter un bilan qui lui donne l'état de sa phase heuristique et/ou de démonstration. Ce bilan a pour objectif de permettre, entre autres, à l'élève de faire le point sur ses conjectures et de contractualiser ses engagements à preuve.

### 3. Expérimentation de DEFI

#### 3.1. Problématique

La problématique qui commande l'expérimentation s'appuie sur l'hypothèse selon laquelle DEFI se présente, d'une part, comme un outil d'aide à la découverte de la solution et de son organisation déductive, et d'autre part, comme un outil efficace de révélation des conceptions des

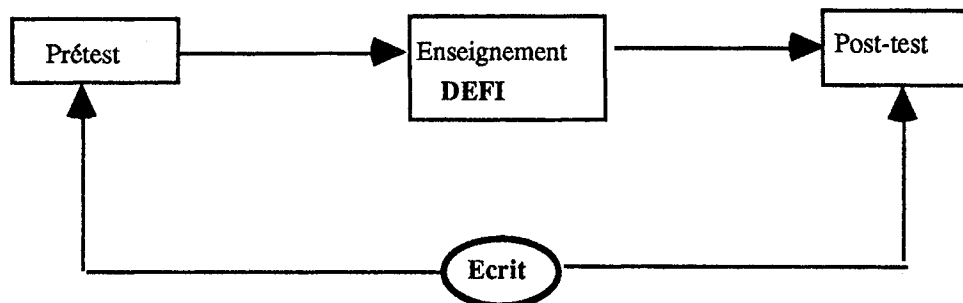
élèves. Aussi pensons-nous qu'il peut aider les élèves de 4<sup>e</sup> et de 3<sup>e</sup> dans les stratégies de conjecture et de preuve, ainsi que dans l'organisation déductive.

Ces caractéristiques (*exploration de la figure, démonstration, bilans, fichier théorème*, etc.) peuvent provoquer, semble-t-il, une modification des démarches initiales des élèves vis-à-vis du rôle heuristique de la figure et des règles qui président à la démonstration. A travers celles-ci, DEFI prend en charge plusieurs activités, parmi lesquelles on trouve notamment l'exploration libre ou guidée des propriétés d'une figure liée à un énoncé d'un problème et l'aide à la démonstration, permettant non seulement de développer les capacités de raisonnement de l'enfant, mais aussi de comprendre les règles qui président à la démonstration en géométrie de niveau collège.

### 3.2. Objectif et méthodologie

L'objectif principal de l'expérimentation est non seulement d'évaluer l'apport de DEFI dans l'apprentissage du raisonnement déductif et de la démonstration, mais aussi d'étudier l'influence de certaines contraintes (propres à l'environnement logiciel ou aux situations-problèmes proposées) sur les stratégies des élèves.

L'expérimentation mise en œuvre (en classe de 4<sup>o</sup> et de 3<sup>o</sup>, élèves 13 à 15 ans) se présente en trois phases (voir ci-dessous la structure de l'expérimentation).



La première phase est constituée d'une évaluation des connaissances des élèves avant la séquence d'enseignement logiciel. Elle a pour objectif principal d'obtenir une typologie des comportements des élèves face à un problème de géométrie avec démonstration. Nous cherchons à travers cette typologie à évaluer la capacité de ces élèves à :

- \* relever dans un texte de problème les informations pertinentes,
- \* percevoir le rôle heuristique de la figure liée aux données du problème,
- \* reconnaître les règles qui président à la démonstration,
- \* mettre en œuvre l'articulation *hypothèse(s)-théorème-conclusion(s)*.

La deuxième phase concerne l'organisation de séquences d'enseignement dans l'environnement logiciel. Celles-ci ont pour but principal l'enseignement d'une **méthodologie interrogative sur**

les relations entre les objets géométriques en jeu et la démonstration dans l'environnement DEFI. Nous mettons à l'épreuve à cet effet, d'une part :

*\*une exploration guidée par des questions au sujet de la figure* qui permet :

- la découverte conjecturée de relations entre les objets,
- la structuration en sous-figures,
- la structuration en sous-problèmes,
- l'engagement de l'élève sur les énoncés qu'il déclare savoir démontrer ; cet

engagement a pour conséquence la dévolution du problème à l'élève et l'émission d'un contrat, et d'autre part :

*\* une élaboration pas à pas de la démonstration* qui permet :

- une prise de conscience des statuts respectifs des hypothèses et de la conclusion,
- une organisation structurée des pas de démonstration avec changement de statut des conclusions successives,
- une prise de conscience du rôle d'outil général du théorème.

Ces séquences d'enseignement visent également à :

\* rechercher des moyens fins pour observer l'ensemble du processus d'enseignement de la démonstration à l'aide de DEFI,

\* amener les élèves, par l'usage de DEFI, à valoriser le rôle heuristique de la figure,

\* aider les élèves à prendre conscience de la structure profonde de la démonstration et à reconnaître le statut des trois éléments de l'inférence *hypothèse(s)-théorème-conclusion(s)*.

La dernière phase est destinée à évaluer le degré d'acquisition des compétences heuristiques et déductives des élèves ayant reçu un enseignement logiciel. Il s'agit, entre autres, d'étudier l'évolution des élèves par rapport à leur niveau précédant l'enseignement logiciel.

L'ambition dernière vise à constituer un recueil de comportements observables à l'interface du logiciel, permettant d'approcher, par analyse, un modèle épistémique de l'élève, critère d'une remédiation adaptée.

### 3.3. Principales conclusions des séquences d'enseignement

Ces séquences d'enseignement d'une méthode de résolution de problèmes de géométrie (de niveau quatrième et troisième) et de la démonstration que nous avons montées à l'aide de DEFI permettent, semble-t-il, à une majorité d'élèves de ce niveau de comprendre le rôle heuristique de la figure et les règles qui président à la démonstration.

Les questions que propose le logiciel pendant la phase heuristique semblent offrir aux élèves - et cela est confirmé par leurs commentaires sur le logiciel - toutes les pistes sans qu'ils aient l'impression de ne rien faire. La finesse des coups de pouce du logiciel leur offre la possibilité de s'adapter à ses exigences. Cela est ingérable en situation classique où l'enseignant peut, après "avoir

éventuellement laissé chercher un moment les élèves, accélérer fortement la progression du temps didactique, en s'appuyant sur les réponses de quelques bons élèves"[Artigue et Al. 1990].

L'évolution favorable des élèves vis-à-vis du rôle heuristique de la figure laisse penser que la phase d'exploration de la figure dans l'environnement logiciel se révèle être un outil efficace dans l'apprentissage d'une *méthodologie interrogative sur les relations des objets mathématiques en jeu*.

Le module "**Démonstration**" vise à amener l'élève à expliquer les raisons pour lesquelles les propriétés qu'il a observées sur la figures sont vraies. Cette contrainte impose la reconnaissance du statut des trois éléments de l'inférence, mais aussi celle de la structure profonde de la démonstration. Pour un pas de démonstration l'ordre *conclusion-théorème-hypothèse(s)* imposé par le logiciel ne paraît pas déranger les élèves. Par contre, lorsque les élèves proposent de démontrer, par exemple, un but trop éloigné des données, les messages d'erreur émis ne sont pas toujours compris (lors des deux premières séances tout au moins). L'importance de l'apport du module "**Démonstration**" se situe dans la sanction immédiate de l'erreur et dans la compréhension du jeu de la déduction.

Dans des conditions normales de fonctionnement, l'interaction avec le logiciel permet, semble-t-il, de travailler à son rythme - les commentaires des élèves le mettent en évidence - et de recevoir une aide rapide et individualisée, ce qui est quasi-irréalisable en situation classique d'enseignement.

Les conditions de travail en binôme semblent favoriser :

- \* une compréhension plus facile du contrat de communication avec le logiciel,
- \* une croissance de l'esprit critique des partenaires qui peuvent anticiper quelquefois la censure du logiciel.

Les élèves (de 3<sup>ème</sup> comme ceux de 4<sup>ème</sup>) mettent l'accent, dans leurs commentaires au sujet de DEFI, sur l'apport de celui-ci dans la compréhension du rôle heuristique de la figure et du sens de la démonstration. On y retrouve, d'une part, la visée épistémologique de la démonstration qui consiste à déboucher sur l'évidence pour soi-même, et d'autre part, la composante sociale de la démonstration qui doit conduire à un accord intersubjectif.

Les différentes séquences d'enseignement dans l'environnement logiciel nous ont permis de définir ce que peut être le rôle du maître voulant se servir de DEFI dans une situation d'apprentissage. Notons les principaux points de ce rôle :

- \* aide à l'ergonomie du Macintosh et du logiciel,
- \* rappel à la construction et à l'exploration de la figure,
- \* conseil à la consultation des fichiers "**Etat de la démonstration**" et "**Bilan**",
- \* explication éventuelle du sens des messages d'erreur,
- \* conseil à l'examen attentif de chaque pas de démonstration.

Ce travail a été facilité par le fait que le logiciel offrait des degrés de liberté (choix des problèmes, choix du type de guidage, de démarches ou spécificité du problème traité) au maître à

l'aide de fichiers ou de procédures externes. Le rôle de la modélisation sera de confier à l'ordinateur une partie du travail dévolu au maître.

#### 4. Construction d'un modèle de l'élève

L'analyse des différents bilans des élèves dans l'environnement logiciel nous ont permis d'établir une typologie [Ag Almouloud 1992] de leurs comportements. Cette typologie vise à constituer, comme nous le signalons déjà, un recueil de comportements observables à l'interface du logiciel, permettant d'approcher, par analyse, un modèle épistémique de l'élève. Notons que chaque pointeur de cette typologie est examiné sur chaque pas de démonstration. La démonstration concernée par cette codification est celle s'appuyant sur le chaînage avant, mais également l'atomisation de celle-ci dans l'environnement DEFI.

Afin de prendre des décisions s'appuyant sur une certaine stabilité et une pertinence des réponses, nous avons eu recours aux analyses statistiques multidimensionnelles hiérarchiques (similarité, implication et hiérarchie implicative de classes) et factorielles (analyses de correspondances et en composantes principales). Nous avons mis à l'épreuve cette typologie de comportements à travers l'analyse des différents tests réalisés (en classe de troisième) avant et après les séquences d'enseignement logiciel. Les analyses de correspondances (sur un codage différent (pour la classe de 4<sup>o</sup>) de cette typologie) et en composantes principales mettent en évidence l'importance d'un bon traitement des informations intuitives et formelles dans la réussite finale de la démonstration, ainsi que l'agrégation des élèves expérimentaux vers la prise de conscience de la structure profonde de la démonstration et l'appropriation d'une méthodologie interrogative s'appuyant sur la figure.

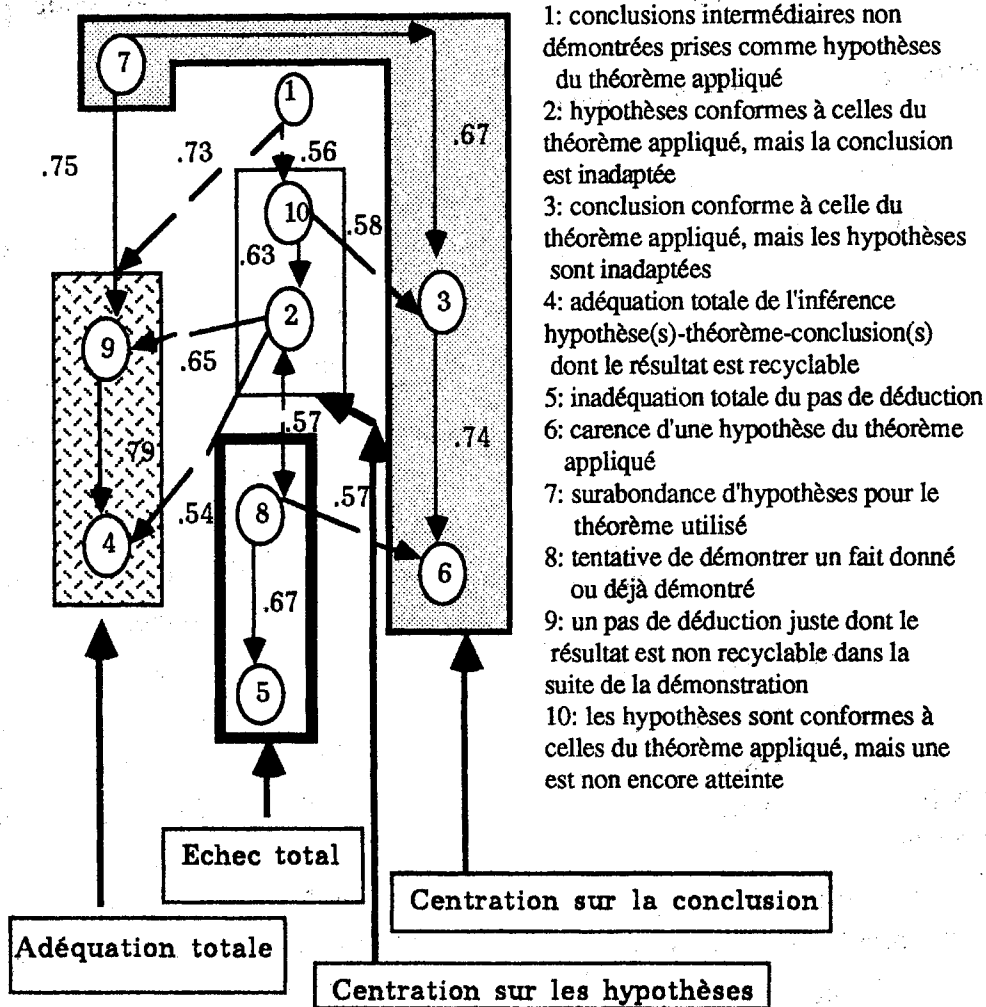
Les analyses hiérarchiques (réalisées à l'aide du logiciel CHIC), ont permis, en toute hypothèse, de classer les différents pointeurs présents chez les élèves, en quatre groupes principaux de procédures : "**Centration sur la conclusion**", "**Centration sur les hypothèses**", "**Adéquation totale**" et "**Echec total**". Pour illustrer cette classification nous nous appuyons sur le graphe implicatif ci-dessous, obtenu à partir de l'analyse des procédures d'élèves de troisième au prétest [Ag Almouloud 1992].

La *stabilité* et la *pertinence* de cette classification comportementale sont confirmées par les différentes analyses hiérarchiques relatives au différents pointeurs de cette typologie identifiés à partir des réalisations d'élèves 3<sup>ème</sup> au post-test. Ce qui lui confère un caractère tout à fait général.

La classe "**Centration sur la conclusion**" se caractérise par les procédures d'élèves centrés sur les buts ou sous-buts à atteindre et négligeant la portée du sens et du rôle des hypothèses dans l'inférence *hypothèse(s)-théorème-conclusion(s)*. Cette classe met en jeu le rôle **générateur du théorème** et le rôle **dérivé de la conclusion**. Par exemple l'item 3 appartenant à cette classe (voir graphe implicatif) se caractérise, d'une part, par une adéquation du but à atteindre compte tenu de la



règle d'inférence utilisé, et d'autre part, par un choix inadapté des hypothèses de l'inférence *hypothèse(s)-théorème-conclusion(s)*.



- 1: conclusions intermédiaires non démontrées prises comme hypothèses du théorème appliqué
- 2: hypothèses conformes à celles du théorème appliqué, mais la conclusion est inadaptée
- 3: conclusion conforme à celle du théorème appliqué, mais les hypothèses sont inadaptées
- 4: adéquation totale de l'inférence hypothèse(s)-théorème-conclusion(s) dont le résultat est recyclable
- 5: inadéquation totale du pas de déduction
- 6: carence d'une hypothèse du théorème appliqué
- 7: surabondance d'hypothèses pour le théorème utilisé
- 8: tentative de démontrer un fait donné ou déjà démontré
- 9: un pas de déduction juste dont le résultat est non recyclable dans la suite de la démonstration
- 10: les hypothèses sont conformes à celles du théorème appliqué, mais une est non encore atteinte

La classe "Centration sur les hypothèses" est marquée par le rôle localement producteur des hypothèses, le rôle paraphraseur et plus argumentatif que déductif des règles d'inférence. Par exemple l'item 2 appartenant à cette classe (voir graphe implicatif) se caractérise, d'une part, par une inadéquation du but à atteindre compte tenu de la règle d'inférence utilisée, et d'autre part, par un choix inadapté des hypothèses de l'inférence *hypothèse(s)-théorème-conclusion(s)*.

Les centrations respectives sur les hypothèses et conclusions nous suggèrent une métaphore, disons "atomique" où seraient en jeu les relations gravitationnelles des électrons et du noyau. A l'instar de la circulation orbitale des électrons, s'activent les stratégies vaines ou non qui pilotent l'avancée d'un raisonnement hypothético-déductif, tout changement d'orbite vers le noyau attracteur comme peut l'être la conclusion déclarée d'un problème, témoignant du succès d'un pas de déduction au moyen d'un outil théorème ou définition adaptés; mais également, toute circulation stérile sur une orbite représente une paraphrase vide des données. En revanche, une centration sur la conclusion correspond métaphoriquement à l'action de la force centripète nucléaire exercée par la conclusion elle-

même. L'arrachement du noyau témoigne, à son tour, du succès d'une démarche rétroactive vers les hypothèses intermédiaires. Les différentes résistances liées à la gravitation nous rappellent celles contre lesquelles certains élèves doivent lutter pour parvenir à éviter les redondances et les superfluités qui les empêchent d'échapper aux données initiales ou à la conclusion.

Le chemin de la réussite des pas d'inférence passe, après la découverte de la solution, par l'articulation des deux modes de pensée que sont la **centration sur la conclusion** et la **centration sur les hypothèses**. D'une part, la découverte de la solution et l'identification correcte du statut des informations, à travers leurs explicitations et leurs structurations, et d'autre part, une bonne explicitation linguistique de la preuve constituent le fondement de la démonstration. L'effet de l'environnement d'apprentissage DEFI, que nous avons mis en évidence, est, d'une part, de souligner le rôle de ces deux lignes de résistance, et d'autre part, de permettre de les dépasser par la prise de conscience de la distinction profonde entre hypothèse et conclusion, ainsi que de l'évolution du statut des énoncés au cours de la résolution de problème.

L'"**Adéquation totale**" (item 4 par exemple) concerne celle de l'inférence *hypothèse(s)-théorème-conclusion(s)*. Elle se réfère à la structure d'un pas de démonstration et à la validité des trois éléments de l'inférence. La classe "**Echec total**" fait également référence à la structure des pas de démonstration et à l'articulation des trois éléments de l'inférence *hypothèse(s)-théorème-conclusion(s)*. Une procédure de cette classe est caractérisée par l'incohérence totale de tous les éléments de l'inférence.

#### 4. Lien avec l'E.I.A.O

Une des caractéristiques de DEFI est d'avoir remplacé la tâche habituelle de la démonstration par de nombreuses tâches élémentaires qui doivent être accessibles à la majorité des élèves d'un cursus donné et dont le rôle est d'agir au niveau des représentations des élèves.

Enfin le choix de travailler sur plusieurs cadres est incontournable de même que l'utilisation de bilans. Le rôle des bilans dans DEFI est important, il est lié d'une part au contrat didactique, à la réflexion de l'élève sur sa propre activité et au déclenchement de certaines procédures.

Les décisions du logiciel sont essentiellement prises à partir de connaissances expertes portant sur une classe de problèmes ou de calculs (dans tous les sens du terme) qui sont totalement transparentes à l'élève. Ces décisions tiennent compte de l'historique de l'élève (une fois que les paramètres du logiciels sont fixés par le maître).

L'importance accordée par l'E.I.A.O au "modèle de l'élève" est due aux fonctionnalités qui lui sont attribuées. D'après [J .Self 87 ] ces fonctionnalités peuvent être de type :

-*correctif*: dans le cas de DEFI, on travaille au niveau des représentations (internes) et non au niveau des solutions. Il existe dans le module Démonstration de DEFI une liste de "Bugs" significative du point de vue didactique. Cette liste de bugs n'a pas pour but de donner des corrections

immédiates à certaines fautes jugées importantes, mais d'amener l'élève à assimiler la structure profonde d'une démonstration. Dans cette optique, distinguer un théorème et sa réciproque n'est pas apparu comme une tâche prioritaire. Les messages associés à ces bugs sont prévus pour conduire à certaines tâches.

A la suite du travail de S. Ag Almouloud, cette liste pourrait être remplacée par une structure un peu plus complexe tenant compte de la typologie de comportements des élèves ou d'autres observables que les bugs, et leur fournissant des tâches plus personnalisées ou plus efficaces :

*-élaboratif*: compléter les connaissances ou la conception de l'élève de manière à ce qu'il soit capable de résoudre le problème proposé. C'est à l'exploration de la figure et à l'utilisation des bilans qu'a été dévolu ce rôle. Un modèle de l'élève dans la tâche d'exploration de la figure reste à faire. Elle nécessite un interfaçage de DEFI avec un logiciel graphique, par exemple Cabri-géomètre. Les expérimentations que nous avons faites et les travaux de [Duval 88] nous permettent d'avoir quelques idées sur ce modèle et d'intervenir efficacement au niveau du choix des énoncés. C'est pour l'instant le travail le plus accessible via une typologie des problèmes.

*-stratégique* : dans notre cas, ce sont essentiellement les changements de cadres (qui se concrétisent en partie par un changement de modules et les consultations des bilans). Actuellement le rôle de l'enseignant reste capital mais il est parfaitement codifiable.

*-diagnostique* : il est bien connu que l'interprétation des textes démonstratifs fournis par les élèves n'est pas chose aisée. La lecture des bilans de pas de démonstration par des enseignants qui ne sont pas familiarisés avec le processus didactique mis en place est différente de celle du logiciel. Un modèle de l'élève doit conduire à des règles plus fines que celles du parcours d'une simple liste. Dans la version actuelle de DEFI nous utilisons en fait trois types de pas.

*-prédicatives* : Elle reste actuellement totalement à la charge du Maître. Elle détermine en fait le choix des problèmes et le fait que tout élève doit impérativement terminer. Parfois on change localement certains choix du logiciel (à l'aide de procédures externes).

*-évaluative* : Elle est grandement facilitée et peut être automatisée en complétant le programme qui construit le modèle. Mais nous croyons que le fait d'obtenir que les élèves aillent au bout de leur problème permet d'obtenir une évaluation beaucoup plus riche (cf. théorie de la zone proximale de développement). Nous recommandons fortement la lecture de [Bodin 92] .

## 5. Conclusion et perspectives

Les résultats des séquences d'enseignement dans l'environnement logiciel et les types d'attitude comportementale mis en évidence grâce aux analyses implicite et hiérarchique peuvent, semble-t-il, favoriser l'évolution de DEFI vers un outil informatique intégrant une modélisation de l'élève au niveau des interactions élève/machine. Par exemple, la détermination de la position de l'élève par

rapport aux deux classes de procédures (**Centration sur la conclusion** et **Centration sur les hypothèses**) pourrait permettre d'intégrer au logiciel une aide adaptée au modèle de l'élève pour déséquilibrer ces conceptions erronées. Cette détermination impose une étude qualitative fine pour comprendre plus en profondeur les processus sous-jacents à l'adaptation des élèves à l'environnement logiciel dans leurs composantes a-didactique et didactique, ainsi que leurs effets sur les connaissances des élèves.

Nous pensons donc que la modélisation de l'élève qui a été faite et que nous nous proposons d'étendre et préciser va permettre de confier au logiciel une grande partie de la gestion d'un système d'apprentissage de la démonstration. Confier de véritables processus didactiques à des logiciels semble moins désespéré, mais reste encore techniquement lointain. En particulier pour apporter une aide appropriée aux élèves en difficulté dans la résolution de problèmes de géométrie avec démonstration (du niveau collège) et la structuration de la preuve, une étude plus fine doit être menée sur les points suivants :

- \* analyse en temps réel du comportement,
- \* interprétation quasi-automatique en termes épistémiques de la concomitance ou la répétition des erreurs,
- \* introduction des observables pour le module "exploration de la figure", (donc du graphisme) et donc aussi un ensemble de messages et d'actions appropriés), etc.

Disons pour terminer que tout ce qui peut sembler lourd et inutile en E.I.A.O est peut-être un passage obligé pour obtenir des outils fiables et se poser quelques questions fondamentales.

## Bibliographie

AG ALMOULOU S. (1992), *Aide logicielle à la résolution de problèmes avec preuve: des séquences didactiques pour l'enseignement de la démonstration*, RDM, Vol. 12, n°2, 1992.

AG ALMOULOU S. (1992) *DEFI : outil informatique de révélation du rôle de la figure et d'apprentissage de la démonstration au collège*, 9, REPERES-IREM, TOPIQUE EDITION, 1992.

AG ALMOULOU S. (1992), *L'ordinateur, outil d'aide à l'apprentissage de la démonstration et de traitement de données didactiques*, Thèse de l'Université de Rennes 1, 1992.

ARTIGUE M., BELLOC J., TOUATY S. (1989), *Une recherche menée dans le cadre du projet Euclide*, IREM Paris VII, novembre 1989.

ARTIGUE M. (1991), *Processus d'enseignement en environnement informatique*, Petit x n° 26, 1991.

BODIN A. (1992), *Réflexions sur les représentations, les conceptions et les compétences*, Petit x n°30, 1992

DUVAL R. (1988), *Approche cognitive des problèmes de géométrie en termes de congruence*, Annales de didactique et de sciences cognitives, 1, IREM de Strasbourg, 1988.

GIORGIUTTI I. & GRAS R. (1989), *The modeling student Knowledge, the case of geometry. Computer aided proofs in school geometry*, Actes du colloque NATO, Grenoble 1989 (à paraître dans Springer Verlag)

GIORGIUTTI I. & Y. BAULAC, *Interaction micromonde/tuteur en géométrie : mise en commun des possibilités de Cabri-géométrie et de DEFI*, Actes des 2<sup>èmes</sup> Journées E.I.A.O de CACHAN des 24 et 25 janvier 1991.

GIORGIUTTI I. & AG ALMOULOU S. (1991) *DEFI, démonstration et exploration de figure interactives*, Actes de l'école d'été de didactique des mathématiques, Kerallic - Plestin-les-Grèves, 29 août - 7 septembre 1991.

GRAS R. (1979), *Contribution à l'étude expérimentale et à l'analyse de certaines acquisitions cognitives et certains objectifs didactiques en mathématiques*, Thèse d'Etat de l'Université de Rennes I.

GRAS R. (1988), *Aide logicielle aux problèmes de démonstration géométrique dans l'enseignement secondaire*, 17, Petit x, IREM de Grenoble.

GRAS R. & GIORGIUTTI I. (1991), *Le micro-ordinateur, outil interactif de révélation, d'analyse et d'apprentissage en géométrie*, Génie Educatif, EC2 n° 2 septembre 1991.

GRAS R. & al. (1992), *Gestion informatisée de problèmes et de démarches liées à leur résolution*, Nouvelle Encyclopédie Diderot, Presses Universitaires de France, 1992.

GRAS R. (1991), *L'analyse de données : une méthodologie de traitement de questions didactiques*, Actes de la VI<sup>o</sup> école et université d'été de didactique des mathématiques 1991 et RDM 12/1 1992.

GRAS R. & LARHER A. (1992), *L'implication statistique, une nouvelle méthode d'analyse de données*, Mathématique, Informatique et Sciences Humaines n° 120

SELF J. (1987), *Student models : what use are they?* IFIP/TC3, FRASCATI- May 1987, to be published by North holland 1987.