

De la modélisation des conceptions des élèves à la prise de décisions didactiques par l'enseignant

Hamid Chaachoua, Iranete Lima

▶ **To cite this version:**

Hamid Chaachoua, Iranete Lima. De la modélisation des conceptions des élèves à la prise de décisions didactiques par l'enseignant. Jun 2003, Reims, France. edutice-00001322

HAL Id: edutice-00001322
https://edutice.hal.science/edutice-00001322

Submitted on 12 Jan 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DE LA MODELISATION DES CONCEPTIONS DES ELEVES A LA PRISE DE DECISIONS DIDACTIQUES PAR L'ENSEIGNANT : LE ROLE D'UN ENVIRONNEMENT INFORMATIQUE

Hamid Chaachoua et Iranete Lima[1] (MTAH - LEIBNIZ - IMAG Grenoble)

Introduction

Plusieurs travaux en didactique des mathématiques ont souligné le rôle de l'enseignant dans la conception et la mise en place des situations d'apprentissages. En particulier, l'enseignant est amené à prendre des décisions qui peuvent porter sur la nature des questions et le moment où il doit les poser aux élèves, les réponses qu'il peut donner ou non, sur le choix des problèmes qu'il propose aux élèves, etc.

Pour les situations d'apprentissages, nous faisons l'hypothèse que ces décisions seront d'autant plus pertinentes si l'enseignant peut accéder à l'état de connaissance de l'élève. Nous proposons dans cet article de montrer comment les nouvelles technologies peuvent apporter de l'aide à l'enseignant pour accéder à l'état de connaissance de l'élève et donc pour ses prises de décisions.

Cadre théorique

Pour modéliser l'état de connaissances de l'apprenant, nous nous situons dans le cadre du modèle "Conception Connaissances Concept", cK¢[2] (Balacheff, 1995). Nous justifions ce choix par le fait que ce cadre fournit une formalisation permettant une modélisation informatique de l'état de connaissance de l'apprenant. Ce modèle propose de caractériser une conception C, par un quadruplet (P, R, L,Σ) dans lequel : P est un ensemble de problèmes sur lequel C est opératoire ; R est un ensemble d'opérateurs ; L est un système de représentation et Σ est une structure de contrôle.

Dans ce cadre théorique, un apprentissage correspond au passage d'une conception à une autre. Ce passage peut être décrit par une trajectoire représentant les états de connaissances intermédiaires.

Un sujet, devant un problème à résoudre, peut disposer de plusieurs conceptions d'une même notion et mobiliser l'une ou l'autre en fonction du problème proposé. Ces conceptions peuvent être incomplètes ou parfois erronées, ou encore être localement ou globalement vraies, avec pour chacune un domaine de validité. Balacheff (1995), en reprenant Bourdieu, souligne le paradoxe de l'existence chez le sujet, observé dans différentes situations, de la présence éventuelle de connaissances contradictoires. Un élément explicatif de cette contradiction peut être la diversité des situations. Ainsi, l'action rationnelle d'un sujet, en résolvant un problème est localement logique. On peut dire qu'il n'y a pas de passage naturel d'une conception, vers une autre, quoiqu'il puisse en paraître aux yeux d'un observateur. En effet, une conception particulière, quelle qu'elle soit, est légitimée par une sphère de pratique. Mais, il existe aussi des problèmes qui peuvent révéler la fausseté ou les limites de cette conception, des problèmes qui permettent, mieux que d'autres, de la renforcer ou au contraire de la déstabiliser.

> *Un problème quelconque le plus souvent n'entretient pas de relation spécifique avec une conception, il sera au contraire en général lié de plusieurs façons à plusieurs ensembles de conceptions qui entrent dans son traitement* (Balacheff, 2000).

Dans son travail de recherche, Tahri (1993) a abordé la problématique de la modélisation de décisions didactiques sur la symétrie orthogonale, dans un cadre d'interaction entre un apprenant et un dispositif artificiel. Elle considère une séquence didactique comme une suite organisée de situations-problèmes qui peuvent être susceptibles de faire évoluer les conceptions d'un élève (ibid. p. 21). L'organisation de la séquence repose sur deux types de décisions qui jouent un rôle important dans le choix et l'enchaînement des situations. Ce sont : les décisions du type diagnostic qui portent sur l'état courant du système de connaissances que l'on peut identifier chez l'élève à

[1] Boursière du CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) - Brésil
[2] http://conception.imag.fr/

propos du savoir en jeu et les décisions du type feedback qui peuvent porter sur une action au sein d'une situation-problème donnée, comment elles peuvent mettre en jeu le choix de la succession d'une situation-problème à une autre lors du fonctionnement d'une séquence didactique.

Tahri a classé les problèmes de la séquence didactique en fonction des valeurs des variables didactiques suivantes : les valeurs des variables d'intersection de l'axe et du segment (le segment a une extrémité sur l'axe de symétrie, le segment coupe l'axe en un point différent d'une extrémité, l'intersection est vide); les valeurs des variables directionnelles (horizontal, vertical, oblique); les valeurs de la variable angle formée par l'axe de symétrie et le segment. Par ailleurs, en fonction du diagnostic[3], les décisions étaient prises, selon le schéma suivant : si l'élève mobilisait une procédure correcte, une nouvelle situation-problème qui la renforçait était proposée et si l'élève mobilisait une procédure erronée alors une nouvelle situation pouvant la déstabiliser était proposée.

Notre recherche prolonge ce travail de la modélisation didactique et informatique des décisions didactiques. L'environnement informatique choisi est la plate-forme Baghera[4] développée dans le laboratoire Leibniz.

Plate-forme Baghera

Baghera est une plate-forme informatique d'enseignement à distance destinée dans sa première version à la résolution de problèmes de démonstration en géométrie. Elle se base sur une architecture multi-agents pour former une société d'agents humains et artificiels en interactions. C'est à partir de ces interactions que se développent les activités comme la création et la sélection de problèmes, la vérification d'une preuve et le diagnostic des conceptions de l'élève. De plus, de cette interaction peut émerger un processus d'apprentissage (Pesty, Webber, Balacheff, 2001). Deux types d'utilisateurs sont prévus dans Baghera : "élève", "enseignant".

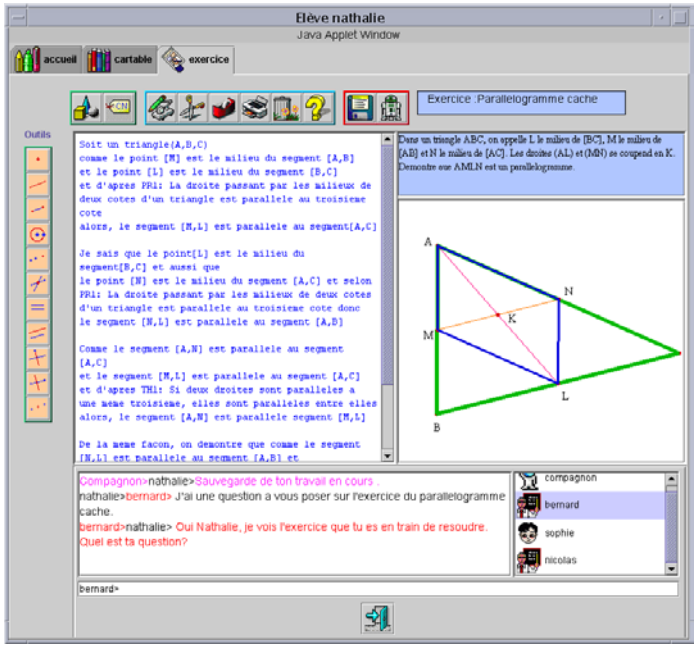


Figure 1

L'utilisateur élève dispose de plusieurs outils pour construire les démonstrations, pour demander la vérification automatique d'une démonstration ou encore établir un dialogue avec les autres élèves et enseignants connectés (Figure 1).

---

[3] Le dispositif expérimental mettant en collaboration tuteurs humains et un tuteur artificiel. Après le diagnostic établi par les tuteurs humains, les décisions didactiques ont été prises d'une part de façon automatique par le tuteur artificiel et d'autre part par les tuteurs humains.

[4] http://www-baghera.imag.fr/

A chaque élève est associé trois agents spécifiques : compagnon, tuteur et médiateur. L'agent compagnon suit et supervise le travail de l'élève. L'agent tuteur apporte un soutien pédagogique de différentes manières : au choix, il envoie des exercices à l'élève, ajoute de nouveaux exercices dans son cartable, demande la vérification d'une preuve produite par l'élève, ou sollicite le diagnostic de conceptions... L'agent médiateur assure l'interface entre le système et un démonstrateur automatique (ATINF)[5] en transformant le langage de la preuve fournie par l'élève dans un langage compréhensible pour ATINF et vice-versa (Figure 2).

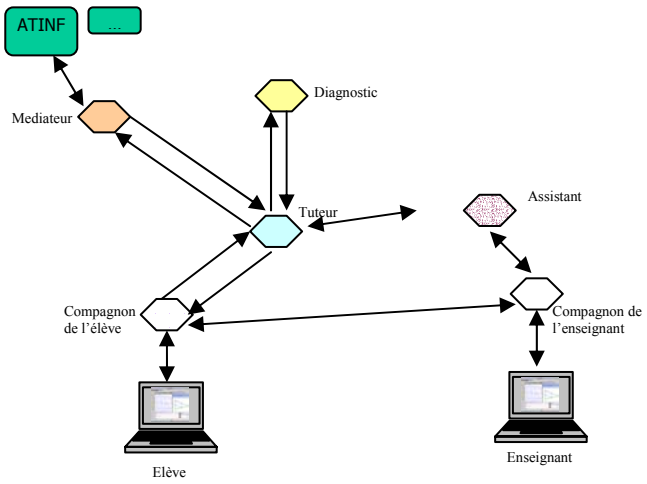


Figure 2

L'utilisateur enseignant peut proposer de nouveaux problèmes aux élèves, accompagner leurs activités, communiquer avec eux ou avec les autres enseignants connectés. Pour cela, il y a deux agents qui interagissent avec les enseignants. Un agent compagnon-enseignant qui a pour rôle d'apporter de l'aide à l'enseignant, par exemple en lui indiquant les élèves et les enseignants qui sont connectés. Et un agent assistant qui a pour fonction de gérer le casier de l'enseignant.

Dans l'état actuel de Baghera, il n'y a pas la dimension de prises de décisions didactiques. En revanche, nous disposons d'un ensemble d'informations sur lequel on peut s'appuyer pour les prises de décisions. En particulier, une description du problème, le diagnostic des conceptions de l'apprenant et l'évaluation d'ATINF.

Le diagnostic des conceptions dans Baghera se fait à partir du modèle cK¢ et réalisé par la méthode de formation de coalitions. Les agents concernés avec le diagnostic (agents de type problème, opérateur ou contrôle) choisissent, à partir d'un processus[6] de vote, la ou les conceptions candidates et les plus représentatives de la conception mobilisée par l'élève (Webber, 2003).
Ce diagnostic contribue à la détermination de l'état de l'apprenant et aux prises de décisions

> *Le diagnostic réalisé par le système permet d'attribuer à l'apprenant un ensemble de "conceptions" à partir de l'observation de l'activité à l'interface du système. Les conceptions diagnostiquées servent ensuite aux "agents pédagogiques" du niveau supérieur dans leur prise de décision (choix d'un nouveau problème, interruption momentanée du travail, intervention d'un enseignant, conseils, etc.).* (Webber & Pesty, 2002)

L'évaluation d'ATINF précise les hypothèses correctes, hypothèses manquantes, omises, assertions non utilisées, etc.).

Nous proposons dans la suite d'illustrer le traitement que fait Baghera d'une production d'un élève en identifiant l'ensemble des informations qu'on peut en disposer. Ensuite, nous ferons une analyse a priori de quelques décisions didactiques qu'on peut prendre à partir de ces informations. Enfin, nous terminerons par donner quelques éléments d'un cahier des charges pour introduire des agents de décisions didactiques dans la plate-forme Baghera. Ce dernier point est l'objet d'une recherche en cours.

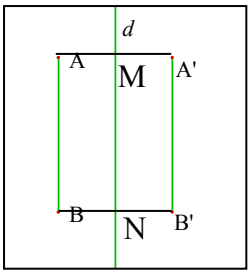
[5] http://www-leibniz.imag.fr/ATINF/home.html.
[6] Pour plus de détails sur le processus de diagnostic : se reporter à la liste des publications dans le site Baghera (http://www-baghera.imag.fr/publication.html)

Etude d'un exemple

Dans ce paragraphe, nous présentons l'étude d'un exemple d'une démonstration d'un élève de quatrième ainsi que le traitement associé dans Baghera. A partir de ces données, nous ferons une analyse a priori de quelques décisions didactiques possibles.

- **Problème D1 :**

- Soit le segment [AB] parallèle à la droite d. Soit [A'B'] le symétrique de [AB] par rapport à d. Ni A, ni B ne sont sur d. Quelle est la nature de quadrilatère ABB'A' ? Démontrez-le.



À ce problème est associée dans Baghera une description du problème : Orientation de l'axe (vertical) ; Orientation du segment (vertical) ; Intersection de l'axe avec le segment (vide) ; Angle entre l'axe et le segment (0˚) ; Figure (donnée).

- **La démonstration de l'élève**

> *Le segment [A'B'] est symétrique de [AB] par rapport à d, alors les 2 segments sont parallèles. Par définition [AA'] est perpendiculaire à (d) et [BB'] est aussi perpendiculaire à cette même droite, donc ils sont tout les 2 parallèles. Donc dans le quadrilatère AA'B'B : [AB]//[A'B'] et [BB']⊥ [AB] Alors le quadrilatère AA'B'B est rectangle.*

Ce texte de l'élève a donné lieu à un autre texte pour Baghera que nous présentons ci-dessus.

- **Texte pour Baghera**

Comme le segment [A',B'] est le symétrique du segment [A,B] par rapport à (d)
Alors le segment [A',B'] est parallèle au segment [A,B]
Comme le segment [A',B'] est le symétrique du segment [A,B] par rapport à (d)
Alors le segment [A,A'] est perpendiculaire à la droite(d)
Comme le segment [A',B'] est le symétrique du segment [A,B] par rapport à (d)
Alors le segment [B,B'] est perpendiculaire à la droite(d)
Comme le segment [A,A'] est perpendiculaire à la droite(d); le segment[B,B'] est perpendiculaire à la droite(d)
Alors le segment [A,A'] est parallèle au segment [B,B']
Comme quadrilatere(A,A',B',B); le segment [A,B] est parallèle au segment [A',B'] le segment [A,A'] est perpendiculaire au segment [A,B]
Alors rectangle (A,A',B',B)

Traitements

À partir de ce texte, deux traitements sont réalisés dans Baghera : diagnostic des conceptions de l'élève et l'évaluation d'ATINF.

- **Diagnostic Baghera :**

Pour la symétrie orthogonale, le diagnostic peut aboutir à 4 conceptions : Symétrie Orthogonale (S⊥), Parallélisme (PA), symétrie centrale (SC): et symétrie oblique (SO).

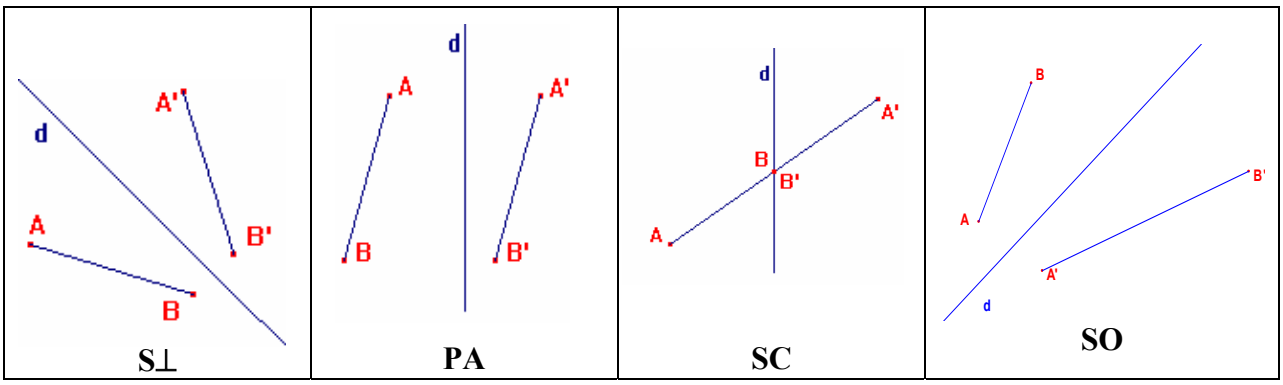


Figure 3 : Exemples de construction de symétrique d'un segment par la symétrie orthogonale selon l'une de ces quatre conceptions.

A partir des opérateurs et contrôles identifiés dans la production de l'élève, des agents s'activent et forment des coalitions autour des conceptions. Par exemple, l'opérateur op63 (Si [AB] ⊥ d et [CD] ⊥ d alors [AB]//[CD]) est associé à la conception PA.
Pour la production de l'exemple ci-dessus voilà en résumé ce que donne le diagnostic Baghera.

Agents actifs[7]	Coalitions formées	Diagnostic
pr4, op63, op69, op95, ct113, ct114	S⊥ (op69, ct113, pr4, op95)	S⊥ et PA
	PA (op63, ct114, pr4, op95)	

Tableau 1

Le résultat de ce diagnostic met en évidence la manifestation de deux conceptions chez cet élève : "Symétrie Orthogonale" et "Parallélisme".

- **Evaluation ATINF**

symetrie_axiale(segment(A',B'),segment(A,B),droite(M,N)) [correct] parallele(segment(A',B'),segment(A,B)) symetrie_axiale(segment(A',B'),segment(A,B),droite(M,N)) sym_parallele1 [hypotheses_omises] parallele(segment(N,M),segment(B,A)) $ perpendiculaire(segment(A,A'),segment(M,N)) symetrie_axiale(segment(A',B'),segment(A,B),droite(M,N)) symetrie_axiale [hypotheses_manquantes] $ perpendiculaire(segment(B,B'),segment(M,N)) perpendiculaire(segment(A,A'),segment(M,N)) analogie [correct] parallele(segment(A,A'),segment(B,B'))	perpendiculaire(segment(A,A'),segment(M,N)) perpendiculaire(segment(B,B'),segment(M,N)) perpendiculaire [correct] rectangle(A,B,B',A') parallele(segment(A',B'),segment(A,B)) perpendiculaire(segment(A,B),segment(B,B')) rectangle [hypotheses_manquantes] parallelogramme(A,A',B',B) perpendiculaire(segment(B,A),segment(A,A')) $ [conclusion_prouvee] [assertions_non_prouvees] perpendiculaire(segment(A,B),segment(B,B')) [assertions_non_utilisees] perpendiculaire(segment(A,A'),segment(M,N)) perpendiculaire(segment(B,B'),segment(M,N)) parallele(segment(A,A'),segment(B,B'))

De cette évaluation ATINF on obtient le résultat suivant : Hypothèse omise : d // (AB).

De l'ensemble de ces informations (Problème, Texte de l'élève, Diagnostic Baghera, Evaluation ATINF) quelle(s) décision(s) didactique(s) peut-on prendre ?

[7] **pr** = agent du type problème; **op** = agent du type opérateur ; **ct** = un agent du type contrôle

Analyse a priori des décisions didactiques

Dans le cas de cet exemple, le diagnostic Baghera met en avant deux conceptions. Une décision à prendre est d'affiner ce diagnostic (décision 1) en proposant un bon problème qui à l'issue de ce nouveau diagnostic permet la confirmation de la conception symétrie orthogonale ou la confirmation de la conception parallélisme.

Dans le cas de confirmation de la conception correcte (conception symétrie orthogonale), on peut interpréter que l'élève a bien considéré implicitement le parallélisme du segment [AB] avec l'axe d, qui est renforcé par l'appréhension perceptive de la figure. Dans ce cas, deux décisions sont possibles : ne rien proposer à l'élève (décision 0) ou proposer des situations pour renforcer cette conception (décision 2).

Si la conception confirmée est la conception parallélisme, il faut construire un enchaînement de situations (une ingénierie didactique) pour faire évoluer la conception vers la conception correcte en suscitant un apprentissage chez l'élève (décision 3). Ce choix se fera en fonction de la conception mobilisée par l'élève et de la conception vers laquelle on veut aller (la conception cible).

Nous proposons dans ce qui suit l'étude de la décision 1.

- **Décision 1 : affiner le diagnostic**

Pour affiner le diagnostic plusieurs options sont possibles.

Une possibilité consiste à proposer un problème présentant une certaine proximité au problème précédent et permettant d'affiner le diagnostic. On peut caractériser cette proximité par la nature de la tâche, la nature des objets qui interviennent ainsi que les relations entre les objets. Le choix de ce nouveau problème doit prendre en compte l'analyse du diagnostic précédent mais aussi les caractéristiques du problème traité (problème D1). Ainsi, dans notre exemple, ce qui va être déterminant est la position du segment [AB] par rapport à l'axe d.

On peut envisager deux cas. Soit l'élève a utilisé l'opérateur "si [A'B'] = Sym ([AB], d) et (AB) // d, alors [A'B'] // [AB]" en utilisant implicitement l'hypothèse (AB) // d, soit il a utilisé un autre opérateur "si [A'B'] = Sym ([AB], d) alors [A'B'] // [AB]". Dans le premier cas, la preuve serait correcte (conception symétrie orthogonale). Dans le second cas, on conclut : conception parallélisme. Ainsi, il faut proposer des problèmes en dehors du domaine de validité de la conception parallélisme. C'est-à-dire, des problèmes où le segment n'est pas parallèle à l'axe, auquel cas la conception parallélisme ne permet pas de donner la réponse correcte. C'est l'exemple du problème D2 qui est une adaptation du problème D1.

> **Problème D2**
>
> Soit le segment [AB] non parallèle et non sécant avec la droite d. Soit [A'B'] le symétrique de [AB] par rapport à d. Quelle est la nature de quadrilatère ABB'A' ? Démontrez-le.

Analyse a priori du problème D2 :

En absence de la donnée d'une figure dans le problème, on peut s'attendre à trois catégories de réponses : R1 : C'est un trapèze ; R2 : C'est un parallélogramme; R3 : C'est un trapèze isocèle.

La réponse R1 correspond au cas où le trapèze n'est pas isocèle (fig. 4). Cela peut être une manifestation de la conception Symétrie Oblique. La justification peut utiliser l'opérateur : "si [A'B'] = Sym ([AB], d) alors [AA'] // [BB']".

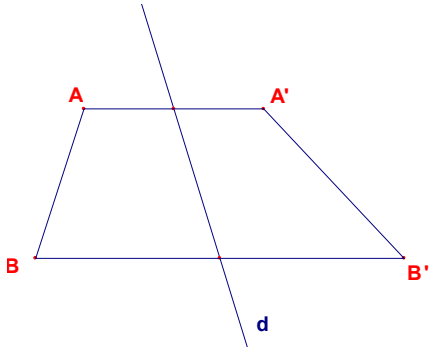


Figure 4

La réponse R2 peut être la manifestation de deux conceptions : Symétrie Centrale et Parallélisme. Dans les deux cas, l'argumentation peut faire appel au même opérateur "si [A'B'] = Sym ([AB], d) alors [A'B'] // [AB]". Ce qui ne permet pas de disqualifier l'une ou l'autre de ces deux conceptions. En revanche, l'ordre des points permettra de trancher entre ces deux conceptions.

La réponse R3 peut être la manifestation de deux conceptions : Symétrie Orthogonale et Symétrie Oblique. Les opérateurs possibles dans la preuve ne permettent pas de trancher entre les deux conceptions.

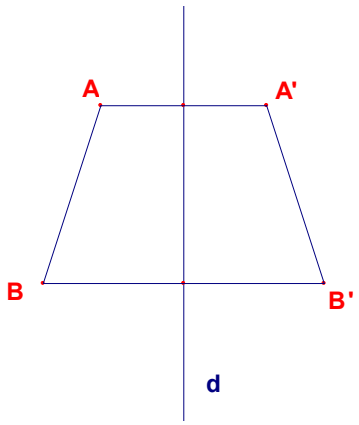


Figure 5

Nous voyons ici la complexité du diagnostic (cf. Tableau 2). Il ne suffit pas de choisir un problème en dehors du domaine de validité de la conception parallélisme pour affiner le diagnostic. En effet, on se retrouve devant une situation qui nécessite un nouveau diagnostic.

Réponse au problème D2	Diagnostic D2	Nouveau diagnostic D1
R1 : C'est un trapèze	Symétrie Oblique	On ne peut pas conclure
R2 : C'est un parallélogramme	Symétrie Centrale …….	On ne peut pas conclure
	Parallélisme……	Parallélisme
R3 : c'est un trapèze isocèle	Symétrie Orthogonale …….	Symétrie Orthogonale
	Symétrie Oblique……...	On ne peut pas conclure

Tableau 2 : Diagnostic du Problème D2

Cependant, si on donne avec le problème D2 une figure dans laquelle l'axe d n'est pas vertical, alors on peut affiner le diagnostic précédent. C'est l'exemple du problème D3 :

Problème D3

Soit le segment [AB] non parallèle et non sécant avec la droite d. Soit [A'B'] le symétrique de [AB] par rapport à d. Quelle est la nature de quadrilatère ABB'A' ? Démontrez-le.

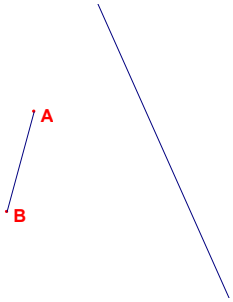


Figure 6

Réponse au problème D3	Diagnostic D3	Nouveau diagnostic D1
R1 : C'est un trapèze	Symétrie Oblique	On ne peut pas conclure
R2 : C'est un parallélogramme	Symétrie Centrale …….	On ne peut pas conclure
	Parallélisme……	Parallélisme
R3 : c'est un trapèze isocèle	Symétrie Orthogonale …….	Symétrie Orthogonale

Tableau 3 : Diagnostic du Problème D3

Cette analyse succincte, nous a conduit à la conclusion suivante : pour affiner le diagnostic, nous avons construit un problème (D2 ou D3) qui, pour l'élève, est proche du problème D1. Mais, certaines réponses à ces problèmes nécessitent de nouveaux diagnostics. A-t-on les moyens dans Baghera de construire de nouveaux problèmes pour affiner le diagnostic ? Dans l'état actuel de la modélisation il ne nous semble pas pertinent de considérer cette option. Nous proposons donc, de disposer[8] d'une banque de données de problèmes pertinents pour le diagnostic.

Une fois le diagnostic affiné, c'est-à-dire qu'il donne une seule conception, trois décisions peuvent être prises : ne rien faire (décision 0), renforcer la conception (décision 1) ou déstabiliser la conception (décision 3). Chacune des deux décisions (1 et 3) mobilisera un ou plusieurs problèmes.

Modèle de décisions didactiques

Dans l'exemple étudié plus haut, nous avons traité localement la question de prises de décisions. C'est-à-dire qu'à partir d'une seule production de l'élève nous avons examiné quelques décisions locales qu'on peut prendre.

Ce traitement local, bien qu'il soit nécessaire, il ne peut à lui seul permettre de prendre des "bonnes" décisions. Par exemple, quelle décision faut il prendre si le diagnostic confirme une conception correcte ? Ne rien proposer ou prendre la décision "renforcement de la conception diagnostiquée" ? Dans ce cas, prendre en compte le passé de l'élève, peut aider à une meilleure prise de décision.

De plus, l'analyse des réponses des élèves ne peut négliger la gestion des implicites. Dans des situations d'enseignement ordinaire l'enseignant accepte certains implicites et pas d'autres. Ces décisions font partie d'un jeu entre l'enseignant et les élèves qu'on peut caractériser par le contrat didactique (Brousseau, 1998).

- Exemple 1 : l'ordre des points dans l'application de la réciproque du théorème de Thalès n'est jamais exigé par les enseignants. On admet une lecture sur le dessin.
- Exemple 2 : on peut accepter qu'un élève en terminale applique un théorème sans expliciter toutes les hypothèses, alors qu'on ne l'accepterait pas pour un élève en troisième.

L'exemple 1 montre une pratique acceptée par les enseignants indépendamment du niveau scolaire, alors que dans l'exemple 2 l'attente de l'enseignant change d'un niveau à un autre. Nous voyons à travers ces deux exemples comment la gestion des implicites est importante pour l'interprétation des productions des élèves.

Cela nous amène à introduire ce que nous appelons l'histoire de l'élève et qui représente la mémoire du travail de l'élève. Ce qui nous conduit à deux questions : comment construire l'histoire de l'élève et comment l'utiliser pour les prises de décisions ?

Cette idée rejoint le concept de la mémoire didactique de l'enseignant (G. Brousseau, J. Centeno, 1991, p. 172) "… la mémoire de l'enseignant sera ce qui le conduit à modifier ses décisions en fonction de son passé scolaire commun avec ses élèves, sans pour autant changer son système de décision". Pour obtenir les caractères de cette mémoire les auteurs ont étudié l'utilisation que l'enseignant "fait du passé de la classe, et à ses effets sur l'évolution des rapports au savoir des élèves" (ibid. p.189). En particulier, ils ont regardé les caractères pertinents du passé des élèves dont l'enseignant va se servir à un moment donné pour prendre des décisions didactiques.

Vers un cahier des charges

Dans ce paragraphe, nous présentons des éléments du cahier des charges pour intégrer le module des décisions didactiques dans la plate-forme Baghera.

On se place dans le cadre d'une coopération entre l'agent tuteur et un agent humain. En effet, l'état actuel de la modélisation, didactique et informatique, des décisions didactiques ne nous permet pas de prendre en charge les prises de décisions uniquement par l'agent tuteur.

[8] Cet axe est développé dans les travaux de thèse de Iranete Lima.

Nous avons retenu deux types de commandes de l'agent humain à l'agent tuteur :

- Commande "diagnostic" : il s'agit d'établir, par l'agent tuteur un état de connaissances d'un élève à propos d'un objet d'enseignement.
- Commande "apprentissage" : il s'agit de mettre en place une séquence d'apprentissage en vue de faire évoluer les conceptions de l'élève.

Pour répondre à ces commandes, l'agent tuteur sera amené à exécuter des actions et prendre des décisions. Les actions sont ce que l'agent tuteur doit faire de façon systématique à chaque fois que le système se trouve dans un état donné ou suite à une commande précise de l'agent humain. Alors que pour les décisions, on suppose que l'agent tuteur se trouve devant une situation où plusieurs actions sont possibles et où il doit faire le choix d'une "bonne" action. C'est à ce niveau que la didactique peut apporter le plus d'expertise.
Examinons quelques actions et décisions principales de l'agent tuteur.

Action "Construction de l'histoire de l'élève"

Chaque problème traité par l'élève est caractérisé par un ensemble d'éléments qu'on appelle "configuration du problème". Il comprend les notions mathématiques attachées mais aussi les caractéristiques des données du problème, comme les éléments de la figure. A la fin de la résolution, un ensemble d'actions sont entreprises pour construire l'histoire de l'élève relative à chacune des notions associées au problème. Parmi ces actions, il y a en particulier le diagnostic établi en terme de conception et la détermination des implicites.
On construit l'histoire de l'élève e, jusqu'à l'instant T, par rapport à une notion O : Hist (e, O, T)
On définit alors l'histoire de l'élève, jusqu'à l'instant T, comme union des Hist(e, O, T) pour O décrivant l'ensemble des notions mathématiques abordées : $Hist(e,T) = \bigcup_{O} \text{Hist(e, O, T)}$

Décisions de l'agent Tuteur

Nous distinguons deux catégories de décisions :

- Macrodécisions qui s'inscrivent dans la durée et qui peuvent être associées à des commandes de l'agent humain. Par exemple à la commande "apprentissage d'une notion", l'agent tuteur sera amené à prendre des macrodécisions : diagnostiquer l'état de connaissance préalable de l'élève, choisir des problèmes etc.
- Microdécisions qui correspondent à des décisions locales que l'agent tuteur sera amené à prendre. Par exemple, dans la phase du diagnostic, qui relève des macrodécisions, l'agent tuteur peut pendre la décision d'affiner le diagnostic ou traiter les implicites.

Dans la Commande "Apprentissage", l'agent humain demande, à l'agent tuteur de mettre en place une séquence d'apprentissage relative à un objet d'enseignement O. Cette commande peut être faite suite à la commande "diagnostic" et auquel cas l'agent tuteur s'appuiera sur les résultats du diagnostic. Mais, elle peut être faite sans avoir sollicité un diagnostic avant. Dans ce dernier cas, c'est l'agent tuteur qui prendra la décision d'établir un diagnostic. Ainsi, le point de départ est un diagnostic des conceptions de l'élève relative à l'objet O. C'est à partir de ces conceptions et parfois contre certaines conceptions que l'apprentissage aura lieu. La question sur laquelle nous travaillons[9] actuellement est : Quel(s) problème(s) faut-il proposer pour faire un diagnostic ? Pour mettre en place une séquence d'apprentissage ?

Dans la Commande "diagnostic", l'agent humain demande à l'agent tuteur d'établir un diagnostic des conceptions d'un élève par rapport à une notion sur une période.

Ces décisions prennent en compte, le niveau scolaire, la finalité du travail (apprentissage, diagnostic, renforcement, …) et l'histoire de l'élève.

[9] Cette question de dualité entre une ensemble de problèmes et un ensemble de conceptions est au centre de la thèse (en cours) de Iranete Lima.

Enfin, une autre décision que peut prendre l'agent tuteur est de renvoyer le problème de décision à l'agent humain avec éventuellement un bilan et des suggestions pouvant l'aider pour prendre des décisions adéquates.

Conclusion

Dans cette recherche, nous avons commencé par étudier les décisions didactiques au niveau local, c'est-à-dire à la suite d'un traitement d'une résolution de problème. Nous avons alors été confronté rapidement à l'interprétation de certains diagnostics et aux difficultés de prise de décisions, dues en partie à la question des implicites qu'on peut attacher aux règles du contrat didactique. Pour dépasser ces difficultés nous nous sommes inspirés du travail de Brousseau et Centeno (1991), sur la mémoire didactique, en introduisant l'histoire de l'élève. Cette mémoire est construite et gérée par l'agent tuteur pour traiter les implicites et prendre des décisions didactiques.

Ainsi, les analyses locales, comme le diagnostic des conceptions à un moment donné, contribuent à la construction de l'histoire de l'élève. Cette dernière donne accès à une analyse globale, sur un ensemble de problèmes ou sur une durée, permettant de prendre des décisions didactiques. Ce jeu local / global est incontournable pour notre étude bien qu'il introduit une complexité dans la modélisation didactique et informatique.

Références Bibliographiques

BALLACHEFF (2001) Les connaissances, pluralité de conceptions. Le cas des mathématiques. Les cahiers du laboratoire Leibniz, n° 19.

BALACHEFF N, PESTY S, CAFERRA R, (2000) *Projet IMAG "Baghera".* Journée des Projets Scientifiques IMAG. Grenoble, France, pages 1-6.

BALACHEFF N., (2000) Les connaissances, pluralité de conceptions (le cas des mathématiques). In : Tchounikine P. (ed.) *Actes de la conférence Ingénierie de la connaissance* (IC 2000, pp.83-90). Toulouse.

BALACHEFF N. (1995) Conception, connaissance et concept. In : *Denise Grenier (ed.) Séminaire Didactique et Technologies cognitives en mathématiques* (pp.219-244). Grenoble : IMAG.

BROUSSEAU G.(1998) *Théorie des Situations Didactiques,* La Pensée Sauvage, Grenoble.

BROUSSEAU G, CENTENO J. (1991) Rôle de la mémoire didactique de l'enseignant. Recherches en didactique des mathématiques, 11 (2/3), 167-210.

PESTY, S., WEBBER, C., BALACHEFF, N. (2001) Baghera **:** une architecture multi-agents pour l'apprentissage humain. In: Agents Logiciels, Cooperation, *Apprentissage et Activité Humaine ALCAA 2001*, Biarritz, France. pp.204-214.

TAHRI S. (1993) Modélisation de l'interaction didactique : un tuteur hybride sur CABRI_GEOMETRE pour analyse de décisions didactiques. *Thèse d'Université*, Université Joseph Fourier, Grenoble, 1993.

WEBBER C. (2003). Modélisation Informatique de l'apprenant - une approche basée sur le modèle cK¢ et la théorie de l'émergence. *Thèse d'Université*, Université Joseph Fourier, Grenoble.

WEBBER C., PESTY S (2002). Emergence de diagnostic par formation de coalitions - Application au diagnostic des conceptions d'un apprenant**.** In: *Journées Francophones pour l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents* 2002. J.P.Muller(ed), Hermes, Lille, 2002. pp.45-57.