

STRATÉGIE ARGUMENTATIVE ET SYSTÈME TUTORIEL POUR L'APPRENTISSAGE INTERACTIF DE LA GÉOMÉTRIE

Philippe R. Richard, Josep M. Fortuny, Pedro Cobo, Esma Aïmeur

RÉSUMÉ : Le but de notre communication est de montrer le développement d'un outil didactique pour l'enseignement de la géométrie au niveau secondaire. Il s'inscrit dans la continuité du projet Intermates destiné à l'acquisition de connaissances mathématiques dans un environnement hypertextuel. L'outil propose une stratégie argumentative, élaborée à partir de l'espace fondamental de situations-problèmes, qui se fonde sur la coopération d'agents virtuels d'un système tutoriel intelligent. Le processus argumentatif intègre la dialectique du contre-exemple aux particularités du raisonnement qui portent sur la construction de figures géométriques et sur la validation de leurs propriétés.

0. INTRODUCTION

L'argumentation occupe une place de choix pour l'acquisition des connaissances en classe de mathématique. D'une part, avec sa dialectique du contre-exemple, Lakatos (1984) montre comment le débat social et sa logique discursive sont au cœur de la découverte mathématique. D'autre part, la perspective constructiviste, qui porte sur le changement de conception de l'élève et le dépassement d'obstacles dans la construction effective des connaissances, exige la reproduction des caractéristiques constitutives du travail mathématique :

Nous savons que le seul moyen de «faire» des mathématiques, c'est de chercher et résoudre certains problèmes spécifiques et, à ce propos, de poser de nouvelles questions (Brousseau, 1998 : 61).

Dans cet esprit, l'exercice de la dialectique de Lakatos en résolution de situations-problèmes apparaît comme étant essentielle pour l'acquisition des connaissances mathématiques.

Toutefois, selon Brousseau, les situations d'apprentissage sont en quelque sorte paradoxales : on considère que l'élève n'aura acquis une connaissance visée que lorsqu'il saura la mettre en œuvre de façon autonome, sans l'appui du maître ou de ses

compagnons. Mais si l'élève refuse, évite ou ne résout pas le problème, le maître est dans l'obligation de l'aider dans son cheminement. Or, puisque l'attention personnalisée et l'animation de débats en classe est didactiquement coûteuse (temps à y consacrer, moyens pédagogiques à mobiliser pour assurer simultanément, à chaque élève, la dévolution du problème et le respect de la logique interne de la situation), on comprend alors pourquoi la pratique enseignante n'y recourt qu'occasionnellement. Le développement de stratégies argumentatives que nous proposons concerne l'acquisition de connaissances en géométrie au niveau secondaire en voulant atténuer le paradoxe précédent par l'intégration de la dialectique du contre-exemple simulée dans un système informatique multiutilisateur.

1. INTERFACE INTERMATES

L'accomplissement du projet Intermates nous fournit une structure technologique primitive et un ensemble de connaissances mathématiques (au sens de curriculum) sur lesquels nous avons pu et nous pouvons fonder le développement de techniques argumentatives. Dans sa version actuelle publiée sur le Web au début de 2003 (www.edu365.com/aulanet/intermates), Intermates offre aux enseignants un outil de travail interactif avec support télématique pour l'auto-apprentissage des mathématiques et le support des élèves de l'école secondaire (Fortuny et al., 2002). Il a été conçu de façon à résoudre des difficultés ou des doutes, renforcer les apprentissages essentiels à la formation générale tout en proposant des situations inspiratrices, des éléments de visualisation, des manipulations simulées, des démonstrations et des points d'information adaptés au cheminement de l'élève. Bien que le matériel disponible s'applique à tout l'enseignement secondaire obligatoire (étape 12-16 ans), il ne s'y substitue pas. Il le complète à partir d'unités didactiques qui mobilisent conjointement plus d'un réseau de concepts et de procédures mathématiques de façon à éviter que l'élève entretienne une vision mathématique segmentée par des contenus isolés. De plus, le projet estimait nécessaire que les mêmes contenus fondamentaux soient traités dans plusieurs activités. Intermates s'est réalisé dans un environnement client-serveur, sous une forme hypertextuelle, pour permettre la résolution simultanée de situations-problèmes par des élèves travaillant indépendamment les uns des autres, mais pouvant communiquer entre eux de façon synchrone (clavardage) ou asynchrone (forum). Il se constitue à partir

d'activités thématiques selon des questions que se posent fréquemment les élèves (figure 1), un glossaire, un index et un moteur de recherche interne. Le matériel destiné à l'élève contient des capsules didactiques de simulation, de laboratoire, de modélisation et de construction mathématique conçues selon les découvertes récentes en didactique des mathématiques et les fonctionnalités que permettent les logiciels multimédias. L'étude de chaque question clef comprend des éléments d'autoévaluation et de contrôle, notamment dans la communication avec des pairs lors de forums à usage restreint qui engagent le travail coopératif. On y propose aussi des activités d'application, de renforcement et de support algorithmique, des problèmes d'enrichissement et des reconstitutions historiques d'expériences. Il est prévu qu'un enseignant qui désirerait ajouter une unité didactique complète puisse l'intégrer au matériel de base et qu'il puisse configurer un itinéraire personnalisé d'apprentissage pour chacun de ses élèves.

The screenshot shows a web browser window with the address bar containing the URL <http://www.edu365.com/aulanet/intermates/60/index.htm>. The page content includes a navigation bar with 'Secondaire' and a main heading 'Que veut dire démontrer?'. Below this is the section 'Voir et regarder' with a video player showing a hand holding a red cube and a blue diamond. The page also features a sidebar with navigation icons and a footer with icons for 'se situer', 'se guider', 'se pratiquer', 's'évaluer', 'se rappeler', 'communiquer', 'imprimer', and 'comment déduire'.

Figure 1. Sous le thème *Voir et regarder* s'attache la question clef *Que veut dire démontrer?* Cette page Web constitue une porte d'entrée de référence qui s'ouvre sur les capsules didactiques (icone «se pratiquer») à partir de situations ancrées dans la réalité de l'élève. Bien que les capsules didactiques se présentent dans un cadre normalisé, leur configuration profite de la diversité des contenus mathématiques et multimédias. L'outil technologique, les propositions de situations et les façons de les affronter agissent en élément motivateur.

2. ARGUMENTATION ET DIALECTIQUE DU CONTRE-EXEMPLE

Selon Duval (1995), l'argumentation répond d'abord à des exigences dialogiques. Elle a pour but de modifier la nature ou le degré de conviction attaché par un interlocuteur à une proposition, de façon à la lui faire accepter ou rejeter. Dans une argumentation, les pas de raisonnement s'ajoutent les uns aux autres en utilisant un réseau d'opposition et en respectant la continuité thématique; ils se complètent et, parfois, se chevauchent. Dans chaque capsule didactique proposée, ce sont les conditions de la situation-problème qui fournissent le contexte du réseau d'opposition et de la continuité thématique. L'argumentation doit alors se composer pour assurer conjointement la dévolution du problème et l'obéissance à la logique interne à la situation. Il est important de souligner que la dévolution du problème n'est pas tout antérieure à sa résolution sinon qu'elle s'inscrit elle-même dans une dialectique du contre-exemple, puisque la découverte de ces derniers peut avoir un effet direct sur l'amélioration de la conjecture ou sur la relativisation de son domaine de validité.

3. COOPÉRATION DANS UN SYSTÈME MULTIAGENTS

Pour reproduire le comportement «intelligent» d'un tuteur humain, les systèmes tutoriels actuels envisagent la participation de plusieurs agents virtuels. Dans les stratégies d'apprentissage de ces systèmes, au modèle tutoriel classique (interaction de l'apprenant avec un tuteur et un compagnon) dans lequel le compagnon collabore positivement à la résolution de la situation, on considère maintenant les stratégies par «dérangement» (en anglais «disturbing») dans lesquelles le compagnon peut aussi contredire l'apprenant (Aïmeur et al.). En regard des preuves et des réfutations de Lakatos, il s'agit d'amener des contre-exemples pour consolider la cohérence des concepts et des procédures mis en œuvre (les contre-exemples peuvent s'appliquer à la conjecture, la preuve, les connaissances, le type de raisonnement ou le contre-exemple lui-même). La chasse aux contre-exemples alimente l'argumentation en incitant à de possibles corrections, modifications, réformes, perfectionnements ou rejets (dans le contexte du réseau d'opposition et de la continuité thématique). La contribution de l'agent compagnon dans l'argumentation devient double : il est de nature collaborative lorsqu'il complète l'activité de l'apprenant (par exemple en l'aidant à identifier des actions signifiantes), mais il est de

nature coopérative s'il exhibe un contre-exemple (il partage sa responsabilité dans la construction de la connaissance prétendue par le choix du problème).

4. RAPPORTS DE L'ARGUMENTATION À LA CONSTITUTION DE L'ESPACE FONDAMENTAL DE LA SITUATION-PROBLÈME ET À L'INTERACTION SOCIALE

La structure de l'argumentation se base sur l'*espace fondamental de la situation-problème* de chaque capsule didactique. Après une analyse préalable du réseau de concepts et de procédures qui s'y rattache, cet espace se constitue sous forme de graphe en s'inspirant de l'ensemble des procédés employés par les élèves dans un processus de résolution collaborative (v.g. Cobo, 1998). L'argumentation se construit d'abord dans cette «logique du problème» en adoptant le modèle d'interactions de Cobo et Fortuny (2000). Ce modèle permet l'évaluation de la progression des compétences cognitives et heuristiques dans un processus de résolution collaborative. Les interactions du modèle sont déjà compatibles avec la dialectique de Lakatos, en ce sens qu'elles peuvent porter sur la formulation de la conjecture, le processus d'argumentation, l'organisation des connaissances ou le mode de raisonnement (v.g. traitement par congruence ou par égalité de mesures). Elles sont de type «guidé» (v.g. pour permettre de vérifier l'effet de certains concepts ou procédures qui interviennent), «alterné» (v.g. pour proposer d'explorer un cas de figure déjà identifié), «relancé» (v.g. pour éviter une impasse et relancer la découverte) et «coopératif» (v.g. pour faire un bilan de résultats obtenus antérieurement). Ensuite, puisque l'interface autorise la communication entre l'apprenant, les pairs et le tuteur, l'argumentation doit aussi pouvoir se réguler en considérant la spécificité du mode de communication asynchrone. Au modèle précédent, nous combinons le modèle de Rodríguez (2003) qui montre l'influence des interactions de type «discussion», «accumulation» et «exploration» sur les connaissances, le discours et le langage. Les échanges à l'intérieur de forums sont propices à contrôler la dévolution de la situation-problème.

5. ÉTAT DU DÉVELOPPEMENT ET DE LA RECHERCHE

Si certaines difficultés technologiques sont en voie de résolution dans la phase de prototypage, d'autres au contraire ont déjà été résorbées. Elles concernent toutes la reconnaissance d'actions signifiantes par rapport au dessin et leur conversion pour être

utilisable par le système tutoriel. Nous avons créé un module, appelé Tutormates, qui permet la construction de dessins et la validation de propriétés en géométrie plane (figure 2). Le système tutoriel reconnaît la construction du dessin et, au besoin, il vérifie les déductions proposées par l'élève. S'il détecte une impasse dans le raisonnement il peut, par exemple, renvoyer aux activités d'Intermates, comme celles qui sont sous-jacentes à l'étude de la question clef «que veut dire démontrer?».

Actuellement, nous envisageons un autre type de module qui pourrait fonder l'argumentation sur la base du raisonnement discursivo-graphique en introduisant l'inférence figurale aux plans du discours de Duval (Richard, 2003). Les actions significatives sur le dessin (partie «graphique») découleraient d'une constatation convenue, exprimée par la langue naturelle, avec ou sans symboles mathématiques (partie «discursive»). Le champ des actions significatives se restreindrait alors au résultat d'un accord entre l'apprenant et le système tutoriel. La stratégie argumentative viserait conjointement à contrôler la justification de l'inférence et à soutenir le dégagement d'un conséquent disponible pour le système tutoriel.

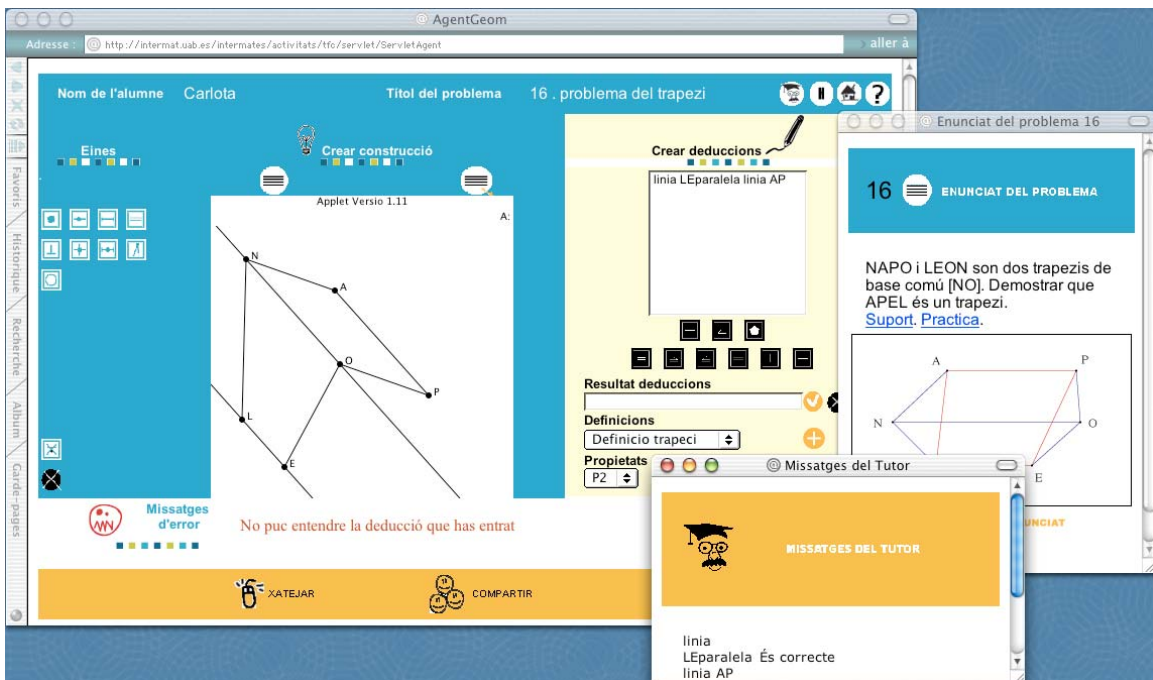


Figure 2. Module Tutormates. La fenestra del fons mostra, a gauche, la part gràfica i, a dreta, la part discursiva. L'enunciat se troba a la finestra de l'esquerra i una retroacció del tutor a la finestra al primer pla.

∞. BIBLIOGRAPHIE

Aïmeur, E. (1998). Application and Assessment of Cognitive Dissonance Theory in The Learning Process. *Journal of Universal Computer Science*, 4(3), 216-247.

Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble: La Pensée Sauvage.

Cobo, P. (1998). *Análisis de los procesos cognitivos y de las interacciones sociales entre alumnos (16-17) en la resolución de problemas que comparan áreas de superficies planas. Un estudio de casos*. Thèse doctorale. Universitat Autònoma de Barcelona.

Cobo, P. & Fortuny, J. M. (2000). Social interactions and cognitive effects in contexts of area-comparison problem solving. *Education Studies in Mathematics*, 42, 115-140.

Fortuny, J. M., Giménez, J. & Richard, P. R. (2002). Distance Education at Secondary Levels : Contexts and Norms for the Learning of Mathematics. *Proceedings of the E-Learn 2002 World Conference of Association for the Advancement of Computing in Education*.

Lakatos, I. (1984). *Preuves et réfutations. Essai sur la logique de la découverte mathématique*. Paris: Hermann.

Richard, P.R. (2003). *Raisonnement et stratégies de preuve dans l'enseignement des mathématiques*. Berne : Peter Lang.

Richard, P.R. (en révision) L'inférence figurale : un pas de raisonnement discursivo-graphique. *Education Studies in Mathematics*.

Rodríguez, R. (2003). *L'aprenentatge de les matemàtiques com a participació i de construcció social en un entorn virtual*. Thèse de l'Universitat Autònoma de Barcelona.

Philippe R. Richard
Département de didactique
Université de Montréal
Canada
philippe.r.richard@umontreal.ca

Josep M. Fortuny
Departament de Didàctica de la Matemàtica i
de les Ciències Experimentals
Universitat Autònoma de Barcelona
Espagne
JosepMaria.Fortuny@uab.es

Pedro Cobo
Departament de Matemàtiques
IES Pius Font i Quer
Espagne
pcobo@pie.xtec.es

Esma Aïmeur
Département d'informatique et recherche
opérationnelle
Université de Montréal
Canada
esma.aimeur@umontreal.ca