
Aspects de la conception d'un environnement collaboratif de modélisation à distance

Vassilis Komis*, **Nikolaos Avouris****, **Angélique Dimitracopoulou*****, **Meletis Margaritis****

**Département de l'Éducation, Université de Patras, 26500, Rion, Patras, Grèce, komis@upatras.gr*

***Département d'Ingénierie Électrique et Informatique, Université de Patras, 26500, Rion, Patras, Grèce, N.Avouris@ee.upatras.gr*

****Département de l'Éducation, Université d'Égée, 1, Av. Demokratias, 85100, Rhodes, Grèce, adimitr@rhodes.aegean.gr*

RÉSUMÉ. Dans cet article nous traitons de la conception d'un environnement collaboratif d'apprentissage à distance centré sur le développement de compétences de modélisation scientifique. Dans un premier temps nous exposons les motifs cognitifs et pédagogiques qui nous ont amenés à concevoir cet outil. Ensuite, nous présentons brièvement les résultats des études de cas au cours desquelles ont été effectuées les expérimentations des premiers prototypes de l'environnement. Enfin, nous discutons de l'architecture de l'environnement et de ses principales fonctionnalités avant d'esquisser un plan des recherches à effectuer pour le valider.

MOTS-CLÉS: collaboration supportée par ordinateur, modélisation, environnement d'apprentissage

1. Introduction

Les acquis apparents de l'apprentissage collaboratif se résument, en principe, en quelques idées bien débattues au cours des dernières années : apprentissage actif et traitement en profondeur de l'information d'une part, et d'autre part, déploiement d'un effort cognitif approfondi par les élèves. Par conséquent, tout porte à croire qu'il est possible à partir d'un outil de collaboration de développer des compétences dans les domaines de la pensée critique, de la communication et de la collaboration et de s'approprier les mécanismes de construction de savoirs [DILLENBOURG 99 ; HENRI 01 ; STAHL 02]. Dans ce contexte, les environnements informatiques en réseau offrent des perspectives intéressantes tout en soulevant des interrogations nouvelles. La coopération et la collaboration à distance sont-elles toujours efficaces ? Quels sont les facteurs qui les influencent et de quelle manière ? Quelle est l'influence des artefacts réels ou symboliques qui médiatisent les actions humaines et la communication au sein de ces environnements ? Quel est le rôle de l'interaction humaine et de l'appui mutuel quand on travaille et apprend ensemble ?

Notre objectif est de présenter les premiers résultats des études qui nous ont aidé à concevoir et développer l'environnement d'apprentissage collaboratif MODELLINGSPACE. Sa conception s'inscrit dans un projet de recherche dont l'objectif est de développer et d'expérimenter un environnement informatique de modélisation dont le but est de contribuer à la résolution collaborative des problèmes au sein d'une classe et/ou entre classes. Le développement de cet environnement fait suite à la production d'un premier logiciel (MODELSCREATOR) qui offre la possibilité de réaliser des modélisations dans des situations d'apprentissage en co-présence [KOMIS, DIMITRACOPOULOU, POLITIS & AVOURIS 01]. Notre article se divise en trois parties. D'abord, nous exposons les principales orientations cognitives et pédagogiques sur lesquelles se fonde la conception du système. Ensuite, nous présentons les résultats des expérimentations des premiers prototypes qui nous ont conduits à définir et à valider son architecture. Enfin, nous discutons de l'architecture de l'environnement et de ses principales fonctionnalités avant d'esquisser le plan des recherches à mener pour le valider.

2. Considérations cognitives et pédagogiques

2.1. Environnements informatiques et apprentissage collaboratif

Les potentialités pédagogiques d'une activité collaborative et les actions pédagogiques à l'aide des EIAH fondées sur cette activité ont été longuement débattues depuis quelques temps. L'accent est mis sur le développement des communautés d'apprentissage [SCARDAMALIA & BEREITER 94] aux buts convergents, qui se servent de règles d'action communes, qui disposent d'outils appropriés et qui se partagent le travail selon une organisation décrite par la théorie de l'activité [LEWIS 97]. Cette problématique modifie fortement la façon dont nous

concevons les EIAH : désormais les efforts se focalisent sur le support et sur la structuration des interactions dans un système d'activité entre les élèves, sur les outils utilisés, sur les activités à réaliser, sur le rôle des maîtres et sur le contexte d'apprentissage.

2.2. Approche cognitive de la modélisation

Les fonctions cognitives que les modèles mettent en œuvre sont très variées : représenter, expliquer, communiquer, convaincre, anticiper, concevoir, contrôler, etc. Il en va de même des fonctions cognitives impliquées par l'élaboration et l'utilisation des modèles : formaliser, conceptualiser, raisonner, etc. [BLISS 94]. Cependant, les études réalisées en psychologie et en didactique sur les questions que pose la modélisation informatique sont peu nombreuses. L'importance accordée par les chercheurs au raisonnement par analogie en tant que forme préférentielle de raisonnement pour la résolution des problèmes les amène à minimiser l'importance des processus de conceptualisation. Or, la modélisation, perçue comme un processus représentationnel, implique un travail important de conceptualisation. Cette conceptualisation ne concerne pas uniquement les activités cognitives des individus séparés car les concepts scientifiques sont des connaissances socialement développées et partagées. Par conséquent, la modélisation présuppose nécessairement un rapport personnel avec les normes sociales et le partage des savoirs. Ceci explique la diversité des cadres théoriques qui se rapportent à la modélisation dans le domaine de la psychologie : théorie du traitement de l'information, constructivisme et interactionnisme socioculturel. Si les deux premières approches considèrent l'individu dans des situations de confrontation avec des systèmes de représentation (langage naturel, diagrammes, formalismes mathématiques, etc.) la troisième met l'accent sur les relations sociales et le fonctionnement inter-psychique.

2.3. Approche pédagogique de la modélisation

Les recherches actuelles en sciences de l'éducation et en psychologie cognitive nous apprennent que les activités de modélisation peuvent renforcer le processus d'apprentissage : au cours de la construction d'un modèle, les apprenants expriment leurs idées et leurs modèles mentaux [BLISS 94] dont, dans la plupart des cas, ils ne sont pas conscients. L'expression est le premier pas vers le processus de la conscience cognitive des idées et des modes de raisonnement, qui, pour sa part, est fondamentale pour le changement conceptuel. Les modèles comme représentations iconiques et graphiques permettent aux idées abstraites de revêtir un aspect concret. Ces représentations jouent un rôle de support cognitif qui accompagne la pensée et le raisonnement [TEODORO 97]. L'expression de la pensée à l'aide de la construction des modèles peut également soutenir le processus d'apprentissage dès que les idées font l'objet de communication et de discussion.

2.4. Implications initiales sur la conception des environnements collaboratifs de modélisation

La conception des environnements collaboratifs de modélisation se heurte à des difficultés d'ordre cognitif, ergonomique et social. Ces difficultés impliquent des choix variés de conception de l'architecture ainsi que des fonctionnalités du système tant au niveau collaboratif qu'au niveau de la construction de modèles. On peut citer, entre autres, les difficultés suivantes : contrôle sur les interactions collaboratives, coordination de la collaboration, ouverture de l'environnement, autorégulation et support de métacognition.

Contrôle sur les interactions collaboratives

Pour accomplir les objectifs communs, l'apprentissage collaboratif à distance demande des interactions intenses et contrôlées durant le processus d'apprentissage. Ce contrôle est nécessaire pour la structuration des dialogues en vue d'établir une compréhension commune [SOLLER 01]. La compréhension requiert également la structuration d'un espace d'activité commun ainsi que des mécanismes appropriés pour la gestion de cet espace lors d'une collaboration synchrone. Dans les systèmes existants, cette gestion s'effectue de diverses manières : en laissant une liberté totale aux des usagers ou par la définition de protocoles de coordination qui se servent par exemple d'une *Clé d'Action* permettant de passer la main à un des partenaires de la session collaborative. Le contrôle des interactions nécessite aussi une structuration de celles-ci, soit par une auto-régulation des apprenants de leurs propres actions, soit par monitorat, soit par un système de conseils.

Coordination de la collaboration

Les élèves qui travaillent de façon collaborative doivent être conscients des actions menées par les autres collaborateurs. La conscience des activités des autres est souvent supportée par des traces d'information fournies par le système sur la localisation des partenaires dans *l'espace commun d'activité*, sur leurs actions et sur l'histoire de l'interaction [AVOURIS, DIMITRACOPOULOU & KOMIS 03].

Ouverture de l'environnement

Le processus de modélisation nécessite un environnement riche, muni d'une variété d'entités primitives pourvues de propriétés et d'un ensemble de relations d'ordre quantitatif, qualitatif et semi -quantitatif pour construire des modèles. Les utilisateurs du système doivent être en mesure de construire des nouvelles entités primitives ou de modifier les entités existantes pour étendre les classes de problèmes pouvant être résolus par son intermédiaire. La variété des entités primitives pose ainsi des problèmes de gestion. Les entités doivent être échangées facilement et de façon transparente au cours d'une session collaborative de modélisation. Cette fonctionnalité doit être aussi appliquée aux modèles construits.

Autorégulation et support de métacognition

Le système doit maintenir des processus d'autorégulation et soutenir le support de la métacognition à l'aide d'outils multiples et flexibles. Par exemple, le système

doit permettre aux utilisateurs d'annoter leur travail (une entité, un modèle, une représentation graphique, etc.), de garder des notes dans un carnet structuré et de rédiger des rapports en y insérant des moments importants du processus de construction d'un modèle. Ces fonctionnalités doivent être disponibles tant au niveau du travail individuel que collectif. Les traces de construction des modèles peuvent soutenir l'élaboration des outils métacognitifs par les élèves sur leur processus de modélisation et servir des outils d'analyse pour les professeurs.

3. Des études de cas à l'architecture des systèmes collaboratifs

Plusieurs projets de recherche ont été dernièrement réalisés dans le but de concevoir, développer et évaluer des systèmes collaboratifs d'apprentissage [STAHL 02]. Nous présentons ici nos travaux relatifs au développement initial de MODELLINGSPACE. Par une approche en spirale nous avons développé plusieurs prototypes au moyen desquels nous avons procédé à des expérimentations en vue de mieux cerner différents aspects de l'architecture et des fonctionnalités des systèmes de collaboration synchrone à distance. Initialement, l'accent a été mis sur trois aspects : tout d'abord, sur l'analyse de la communication et de l'interaction à distance, verbales ou écrites, et de l'interaction entre partenaires à l'aide de la manipulation directe ; ensuite, sur la conception diversifiée des outils de contrôle du travail dans l'espace de travail distribué et enfin, sur l'hétérogénéité du contenu pédagogique. Une autre étude a porté sur l'élaboration des méthodologies d'analyse de la collaboration et sur le développement des outils informatiques appropriés.

3.1. Aspects concernant l'interaction et la communication synchrone à distance

Les résultats de notre recherche sur la construction d'un modèle OMT par des étudiants en informatique lors d'un cours de base des données sont évocateurs de la possibilité d'une collaboration synchrone à distance [KOMIS, AVOURIS & FIDAS 02]. Cinq paires d'étudiants ont participé à l'expérimentation. Au sein de chaque paire, les étudiants collaborent en partageant un *espace de travail distribué* (chaque étudiant voit les actions de l'autre dans sa fenêtre de travail) en se servant d'un prototype de logiciel de modélisation. Un mécanisme d'échange de rôles entre partenaires a été employé, basé sur la métaphore de « passer la main » entre le collaborateur actif et le collaborateur passif. Une analyse qualitative des résultats basée sur la méthodologie OCAF [AVOURIS, DIMITRACOPOULOU & KOMIS 03] décrite ci-dessous a permis de conclure que les étudiants peuvent collaborer et résoudre un problème en utilisant *l'espace de travail distribué*. La communication entre les groupes s'est faite en mode écrit (chat) et par manipulation directe des objets dans l'espace distribué. L'analyse du contenu des messages échangés montre que 68% de ces messages portent sur la modélisation, 29% sur l'interaction et le contrôle de l'espace alors que peu de messages, respectivement 3% et 2%, relèvent de l'interaction sociale et de la gestion du logiciel. Nous avons obtenu des résultats similaires dans deux autres études où nous avons utilisé la même architecture distribuée et des mécanismes analogues d'interaction et de gestion de l'espace de

travail distribué [KOMIS, AVOURIS & FIDAS 03]. La gestion de l'espace distribué n'a pas posé de problèmes aux partenaires et l'interaction verbale a été suffisamment riche pour résoudre adéquatement le problème posé.

3.2. *L'influence de la conception alternative des outils de contrôle du travail dans l'espace commun d'activité*

Dans une autre expérimentation nous avons étudié l'influence des implémentations alternatives de certains outils concernant la collaboration synchrone pendant la communication homme – ordinateur [FIDAS, KOMIS & AVOURIS 01]. Nous avons étudié l'interface d'un outil de communication écrite et d'un outil de manipulation directe des objets de l'espace distribué. Les résultats qualitatifs et les interviews des usagers montrent qu'il y a une influence de ces implémentations alternatives sur la qualité de la communication et de la collaboration. La collaboration est plus efficace quand le système offre des outils de représentation qui peuvent constamment fournir des informations sur les actions des partenaires de collaboration à distance. À titre d'exemple, la collaboration est plus naturelle quand le système indique que le partenaire est en train d'effectuer une action qui n'est pas encore arrivée à son terme (rédiger un message ou insérer et déplacer un objet dans l'*espace de travail distribué*). Dans une autre étude (non encore publiée), douze groupes d'étudiants ont utilisé deux prototypes de MODELLINGSPACE avec deux mécanismes de contrôle différents pour résoudre un problème de modélisation : six avec *Clé d'Action* (A) et six autres sans *Clé d'Action* (B). Les solutions de deux équipes (A et B) étaient similaires mais les discussions de l'équipe A étaient, en raison des rôles établis par le mécanisme de contrôle, plus argumentées ce qui est le signe d'une activité métacognitive plus élaborée.

3.3. *Sur l'hétérogénéité du contenu pédagogique*

Comment la résolution d'un problème de modélisation à distance en mode de collaboration synchrone peut-elle évoluer quand les collaborateurs ne disposent pas d'un même matériel pédagogique ? Tel était l'objectif d'une récente expérimentation centrée sur l'hétérogénéité du *contenu pédagogique* (entités représentant des notions et des concepts) que nous avons menée avec les élèves d'un « lycée technique ». Dix groupes d'élèves ont travaillé à distance pour construire le modèle d'un problème ouvert. Les cinq groupes avaient à disposition un ensemble identique d'entités primitives nécessaires à la construction du modèle alors que les cinq autres groupes disposaient de sous-ensembles constitués d'entités hétérogènes. La conclusion de l'étude fut que les élèves travaillant avec des librairies d'entités primitives hétérogènes réussissent aussi bien que les élèves disposant des librairies d'entités primitives homogènes [KOMIS, AVOURIS & FIDAS 03]. L'hétérogénéité du contenu pédagogique ne semble pas alors poser problème lors de la collaboration. Toutefois, la communication entre les groupes disposant des entités hétérogènes était plus dense et contenait davantage d'interventions relatives aux notions centrales du problème à résoudre.

3.4. Aspects relatifs à la spécification des outils pour les enseignants

La plupart des études sur l'apprentissage collaboratif portent sur les élèves. En revanche, peu d'attention est accordée aux enseignants. Ainsi, nous avons entrepris une étude d'exploration des besoins des enseignants et des stratégies qu'ils mobilisent comme facilitateurs [non encore publiée]. L'étude comprenait l'analyse des données de six heures de cours (Travaux Pratiques), pendant lesquelles trois groupes des deux élèves avaient à résoudre en collaboration synchrone divers problèmes simples. De l'étude ressort que les enseignants intervenaient sur le travail collaboratif des élèves selon deux modes complémentaires : (a) *mode 'en ligne'* : en utilisant un système simple de supervision, ils intervenaient pour fournir notamment des informations sur le contenu à la demande d'un groupe et pour donner des conseils sur le processus collaboratif, et (b) *mode 'hors ligne'* : en exploitant la solution finale de chaque groupe et les 'historiques' de chaque session de collaboration, ils faisaient, au début de la session suivante, des commentaires sur la base d'un diagnostic du processus de la résolution. Les enseignants ont demandé à avoir la possibilité de lier directement chaque intervention des élèves à l'état correspondant de l'espace commun ; (b) de pouvoir suivre plus aisément la structure des dialogues des élèves ; (c) d'avoir un système plus élaboré de supervision de collaboration synchrone pour plusieurs groupes.

3.5. Aspects relatifs à l'analyse de la collaboration

L'étude des situations de résolution collaborative des problèmes se fait d'habitude au moyen de l'analyse du discours ou de l'analyse de l'interaction. L'attention, par conséquent, se focalise sur les acteurs impliqués, enseignants et élèves. À la suite des recherches effectuées avec les prototypes de MODELSCREATOR et de MODELLINGSPACE [AVOURIS, DIMITRACOPOULOU & KOMIS 03] nous avons élaboré un cadre méthodologique (Object-oriented Collaboration Analysis Framework - OCAF) relatif à l'analyse de la collaboration dans un *espace de travail distribué*. Dans ce cadre, l'accent est mis sur les éléments de la solution (en principe les concepts du problème et leurs relations) élaborés collaborativement avec leur propre histoire. Cette approche produit un aperçu différent du processus habituel d'analyse de la collaboration. Ici, la solution au problème se fonde sur des éléments structurants qui appartiennent aux acteurs ayant contribué, à un degré variable, à leur mise en place. La méthode OCAF fournit des mesures qualitatives et quantitatives de la collaboration et peut être appliquée tant dans des situations de collaboration synchrone à distance que pendant des activités de collaboration en face à face.

4. L'environnement d'apprentissage MODELLINGSPACE

À la suite de l'explicitation de la problématique et des études de cas mentionnées ci-avant nous avons conçu et implémenté le système MODELLINGSPACE (MS). MS est un environnement éducatif dont le but est de promouvoir la construction, individuelle et ou en commun de différentes formes de modèles. Il comporte des

outils pour construire et éditer des entités primitives, pour créer et explorer des modèles fondés sur les entités primitives, pour supporter l'interaction synchrone et asynchrone des élèves et des éducateurs travaillant à distance et des outils pour analyser les activités de modélisation.

4.1. Architecture de l'environnement

Les décisions principales concernant l'architecture du MS sont relatives :

A. à l'évolution de l'architecture du logiciel MODELSCREATOR [KOMIS, DIMITRACOPOULOU, POLITIS & AVOURIS 01] qui constitue le point de départ de MS. Cette évolution est liée à une gestion plus efficace des modèles (nouvelles fonctions d'édition des modèles, nouvelles relations et traitement de l'historique de leur construction), à la possibilité de construction des nouvelles entités primitives par les utilisateurs (éditeur des entités qui n'existait pas dans MODELSCREATOR) et aux différents modes de représentation. Les innovations suggérées reposent sur les recherches existantes (sections 2.2 & 2.3) et sur les conclusions des nos études sur l'hétérogénéité du matériel pédagogique (section 3.3), les outils de suivi du processus de modélisation (sections 3.4 & 3.5), les outils de contrôle et de représentations multiples (section 3.2). MODELLINGSPACE comporte ainsi une caractéristique d'ouverture qui permet aux utilisateurs d'avoir accès à un ensemble d'entités et d'en produire de nouvelles pour construire et tester des modèles (figure 1). Grâce à cette caractéristique, les partenaires de la collaboration peuvent résoudre un problème en utilisant des ensembles hétérogènes d'entités.

B. au développement des fonctionnalités de communication synchrone (espace de travail distribué) et asynchrone (système client – serveur maintenant les sessions de travail, les modèles, les entités, les interactions des groupes) ainsi que de l'intégration des outils d'analyse métacognitive. Ces spécifications proviennent des recherches récentes (section 2.4) et de nos études sur l'interaction et la communication synchrone à distance (section 3.1) et des outils de suivi des aspects collaboratifs et d'analyse métacognitive (sections 3.4 & 3.5).

La conception du système supportant la collaboration synchrone et asynchrone pour construire des modèles prend appui également sur le concept d'*artefact partagé / surface de travail*. À l'opposé d'autres systèmes collaboratifs qui mettent l'accent sur la communication (support de conférence, outils d'argumentation, systèmes de décision, etc.) dans le système proposé les partenaires travaillant à distance collaborent en partageant le modèle (dans le cas d'un travail en mode asynchrone), ou en agissant sur le surface de travail partagé et en échangeant (dans le cas d'un travail en mode synchrone) des entités hétérogènes (figure 1).

Le cadre de la collaboration synchrone (figure 1) est constitué par les composantes suivantes [DIX, FINLAY, ABOWD & BEALE 98] : les participants, le mécanisme de communication directe, l'artefact, les outils pour agir sur les artefacts, le mécanisme pour partager l'aperçu de l'artefact. Ce cadre nécessite aussi des mécanismes de contrôle de l'espace et des actions ainsi que de la structure de la communication pour résoudre les problèmes connus de la coordination dans

l'activité collaborative supportée par ordinateur. La question de *deixis* (désignation) doit être aussi abordée pour régler le problème des gestes nécessaires lors de l'usage de l'artefact. Au cours d'une collaboration synchrone la notion centrale est celle du *feedback à travers l'artefact*, où l'un des participants manipule les objets distribués et les autres observent ses manipulations. Cette communication à travers l'artefact peut être aussi importante que la communication directe entre les participants [KOMIS, AVOURIS & FIDAS 02]. Toutefois, ce feedback pour être efficace doit être supporté par les canaux de communication habituels dans ce type de système, comme la voix et la messagerie (chat) [PREECE, ROGERS & SHARP 02].

Les premiers prototypes du système sont développés en C++ (Win32) et l'actuelle version (MS 0.90, version client et serveur) est implémentée en Java 2 (SDK 1.4.0) et fonctionne sur plusieurs plateformes (MS Windows, Linux, Solaris, Mac OS, UNIX). Tous les fichiers du système (entités, modèles, historiques, messages avec le serveur) sont en format XML pour garantir leur interopérabilité.

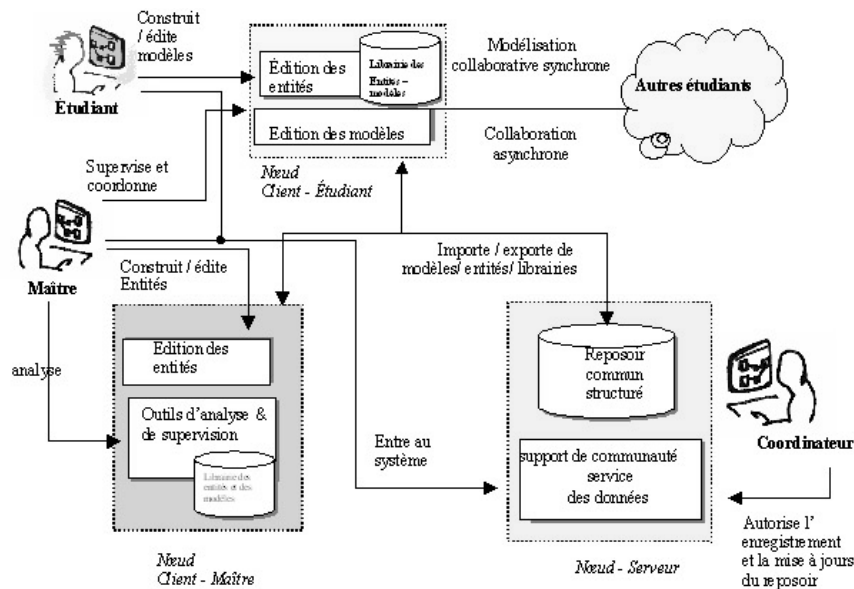


Figure 1. Vue globale de l'architecture: acteurs et nœuds

4.2. Interface et fonctionnalités principales

La figure 2 présente l'interface du système qui comporte les principales fonctionnalités proposées au cours d'un usage collaboratif. Les éléments structurants du système sont les *entités* (représentant des concepts) qui contiennent des *propriétés* (caractéristiques intrinsèques des entités dont la variation procure au modèle un comportement dynamique) et les *relations* pour lier les propriétés entre

elles. Les entités sont groupées à gauche et les relations à droite de la fenêtre principale du système (figure 2). Dans la fenêtre principale nous avons un modèle constitué par des entités primitives engendrées par la vidéo d'une situation réelle. Dans les fenêtres superposées, nous avons les représentations alternatives (graphique orthogonal, tableau de valeurs, diagramme à barres), les outils de gestion des relations quantitatives et qualitatives et l'historique de la séance de travail (logfile). En bas de la fenêtre figurent les outils de gestion de la collaboration.

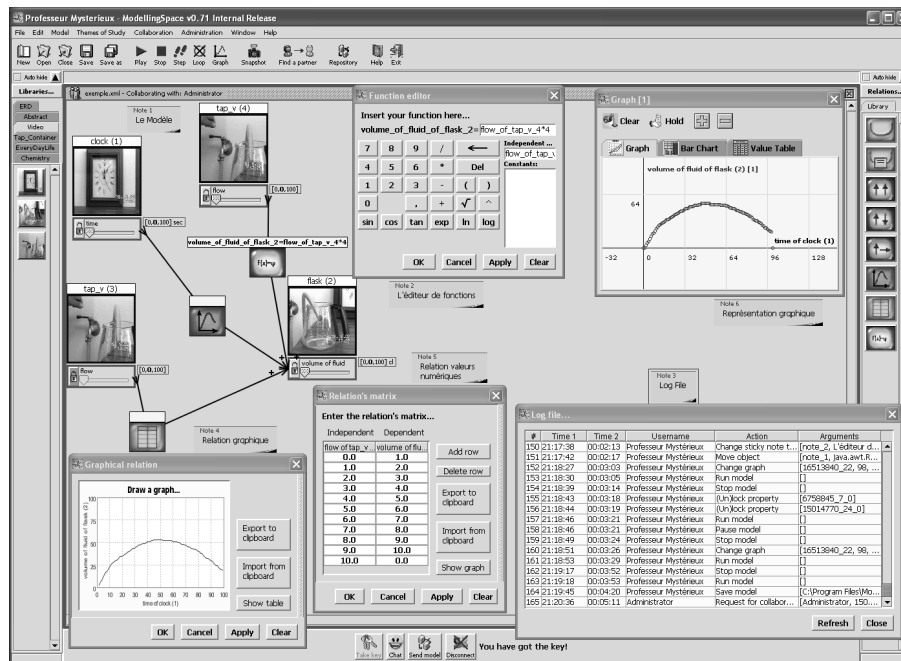


Figure 2. Interface d'édition des modèles (principales fonctionnalités)

Le système interprète les *relations* pour visualiser le comportement des entités dont des propriétés sont liées et produit une représentation évocatrice du modèle construit par l'utilisateur. Des représentations alternatives (graphiques, tableaux de valeurs et diagrammes à barres) sont aussi disponibles pour soutenir le processus de modélisation. Ces relations sont d'ordre semi-qualitatif, quantitatif ou qualitatif pour construire des cartes conceptuelles. Les relations semi-qualitatives correspondent à des formules mathématiques courantes (proportionnalité, proportionnalité inverse, etc.) qui s'expriment comme : « si l'une entité augmente, l'autre augmente aussi, diminue, reste constante », etc. Les relations quantitatives peuvent être exprimées par les opérateurs algébriques courants (+, -, *, /, =, etc.) et utilisées à l'aide d'une interface permettant de lier les propriétés des entités d'un modèle construit dans l'espace de travail ou par un tableau de valeurs par l'intermédiaire duquel on peut introduire des données numériques. Le logiciel offre également la possibilité

d'utiliser une relation exprimée à l'aide d'un graphique par lequel l'utilisateur peut dessiner la variation entre deux propriétés (variables) du modèle.

5. Conclusion

Les expérimentations des prototypes de MODELLINGSPACE par des groupes d'élèves et d'étudiants se réfèrent seulement aux composants du système qui concernent la collaboration synchrone au cours d'exercices de modélisation semi - quantitative et qualitative. Ces expérimentations n'impliquent de ce fait qu'une partie des relations, des représentations et des outils offerts par le système. Toutefois, elles nous ont permis d'étudier plusieurs aspects significatifs des interactions et de l'interface et elles nous ont menés à déterminer les principales fonctionnalités et à définir l'architecture actuelle de l'environnement. En plus, d'autres aspects sont expérimentés actuellement pour avoir un aperçu complet de l'usage de l'environnement par rapport aux choix de sa conception. Ces aspects concernent l'analyse des interactions élève(s) – facilitateur en fonction des outils de supervision et de méta - analyse offert à l'enseignant, dans des cas distincts de collaboration. Ils se réfèrent aussi à une l'analyse détaillée du discours et des actions des élèves au cours de l'interaction par un dialogue structuré et à l'analyse des usages des outils qui supportent une auto-régulation des actions des collaborateurs. En parallèle, nous menons une analyse des usages des représentations alternatives à une multitude de situations, afin d'étudier les effets sur l'apprentissage des concepts impliqués, ainsi que sur le processus de modélisation lui-même.

Remerciements

Le développement de l'environnement MODELLINGSPACE est financé par le programme IST / SCHOOL OF TOMORROW de l'Union Européenne. MODELSCREATOR a été financé par le Ministère Hellénique de l'Education Nationale. Les auteurs tiennent à remercier Vitor Duarte Teodoro pour ses idées sur les relations quantitatives, les trois évaluateurs anonymes pour leurs commentaires et Christian Depover, Pantelis Kyprianos et Albert Strebelle pour leur relecture attentive de la première version de l'article.

6. Bibliographie

- [AVOURIS, DIMITRACOPOULOU & KOMIS 03] Avouris, N., Dimitracopoulou, A., Komis, V., « On analysis of collaborative problem solving: An object-oriented approach », *Computers in Human Behavior*, 19 (2), pp. 147-167, 2003
- [BLISS 94] Bliss, J., From Mental Models to Modelling in H. Mellar, J. Bliss, R. Boohan, J. Ogborn, C. Tompsett (Eds). *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum*, The Falmer Press, London, 1994.
- [DILLENBOURG 99] Dillenbourg, P. (Edited by) *Collaborative-learning: Cognitive and Computational Approaches*, Advances in Learning and Instruction series, Pergamon, Elsevier, 1999.

- [DIX, FINLAY, ABOWD & BEALE 98] Dix, A., Finlay, J., Abowd, G., Beale, R., *Human-Computer Interaction*, 2nd Edition, Prentice Hall, Hempstead, UK, 1998.
- [FIDAS, KOMIS & AVOURIS 01] Fidas, C., Komis, V., Avouris, N., « Design of collaboration-support tools for group problem solving » in N. Avouris & N. Facotakis, *Advances in Human – Computer Interaction, Proceedings of the Panhellenic Conference with International Participation in Human - Computer Interaction*, December 7-9, 2001, University of Patras, p. 263-268.
- [FIDAS, KOMIS, AVOURIS & DIMITRACOPOULOU 02] Fidas, C., Komis, V., Avouris, N., Dimitracopoulou, A., « Collaborative Problem Solving using an Open Modeling Environment » in G. Stahl (edited by), *Computer Support For Collaborative Learning: Foundations For A CSCL Community, Proceedings of CSCL 2002*, Boulder, Colorado, USA, January 7 – 11, 2002, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., p. 654-655.
- [HENRI 01] Henri, F., *Apprentissage Collaboratif à Distance : Pour Comprendre et Concevoir les Environnements d'Apprentissage Virtuel*, Presses Universitaires de Québec, 2001.
- [KOMIS, DIMITRACOPOULOU, POLITIS & AVOURIS 01] Komis, V., Dimitracopoulou, A., Politis, P., Avouris, N., « Expérimentations exploratoires sur l'utilisation d'un environnement informatique de modélisation par petits groupes d'élèves », *Sciences et Techniques Educatives*, Vol. 8, no 1-2, p.75-86, 2001.
- [KOMIS, AVOURIS & FIDAS, 02] Komis, V., Avouris, N., Fidas, C., « Computer Supported collaborative concept mapping: Study of Interaction », *Education and Information Technologies*, 2002, 7:2, p. 169-188.
- [KOMIS, AVOURIS & FIDAS 03] Komis, V., Avouris, N., Fidas, C., « A study on Heterogeneity during real-time collaborative problem solving », CSCL 2003: Computer Support for Collaborative Learning (Designing for Change in Networked Learning Environments), Bergen, Norway, 14-18 June 2003 (in press)
- [LEWIS 97] Lewis, R., “An Activity Theory framework to explore distributed communities”, *Journal of Computer Assisted Learning*, Vol. 13, 1997, p. 210-218.
- [PREECE ROGERS & SHARP 02] Preece, J., Rogers, Y., Sharp, H., *Interaction Design beyond human-computer interaction*, J. Willey & Sons, New York, 2002.
- [SCARDAMALIA & BEREITER 94] Scardamalia, M., Bereiter, C. « Computer Support for Knowledge – Building Communities », *The Journal of the Learning Sciences*, 3(3), 1994, p. 265-283.
- [SOLLER 01] Soller, A., L., « Supporting Social Interaction in an Intelligent Collaborative Learning System », *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol 12, p. 40-62, 2001.
- [STAHL 02] Stahl, G., (edited by), *Computer Support For Collaborative Learning: Foundations For A CSCL Community, Proceeding of CSCL 2002*, Boulder, Colorado, USA, 2002.
- [TEODORO 97] Teodoro, V.D., *Modellus: Using a Computational Tool to Change the Teaching and Learning of Mathematics and Science*, in “*New Technologies and the Role of the Teacher*” Open University, Milton Keynes, UK, 1997.