
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

RESUME. Dans ce travail nous traitons la conception d'un environnement collaboratif d'apprentissage à distance pour soutenir la modélisation scientifique. Dans un premier temps nous exposons les motifs cognitifs et pédagogiques qui nous ont amené à concevoir ce système. En suite, nous présentons brièvement les résultats des études de cas concernant l'expérimentation de premiers prototypes du système. A la fin, nous discutons l'architecture définie du système et ses principales fonctionnalités et nous esquissons un plan des recherches à entreprendre pour la valider.

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

ABSTRACT. This paper presents some design aspects of a collaborative learning environment for modeling. Firstly, we discuss the general cognitive and pedagogical considerations that led us to conceive this system. Then, we present briefly the results of the experimentations of initial prototypes of the system that helped us to validate some crucial functionalities concerning collaborative modeling. Finally, we discuss the architecture of the system, as well as its main functionalities and we present a plan for research to be continued.

KEY-WORDS. Computer supported collaboration, modelling, learning environment

1. Introduction

Les apprentis acquis de l'apprentissage collaboratif se résument, en principe, en quelques idées bien débattues les dernières années : apprentissage actif et traitement profond de l'information, d'une part, et de l'autre, déploiement d'un effort cognitif considérable de la part des élèves. Par conséquent, il est possible de se faire 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 [DIL 99 ; HEN 01 ; STA 02]. Dans ce contexte, les environnements informatiques en réseau offrent de nouvelles possibilités ; néanmoins ils soulèvent de nouvelles interrogations. Est-ce que la coopération / collaboration à distance est toujours efficace ? Quels sont les facteurs qui l'influencent et de quelle manière ? Quelle est l'influence des artefacts (réels ou symboliques) qui médient 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 aident à concevoir et à développer un environnement d'apprentissage collaboratif appelé MODELLINGSPACE. Sa conception s'inscrit dans un projet de recherche dont le but est de développer et d'expérimenter un environnement informatique de modélisation en vue de contribuer à la résolution collaborative des problèmes en classe et/ou entre classes. Ce système constitue la suite d'un autre environnement de modélisation (MODELSCREATOR) permettant la modélisation dans des situations d'apprentissage en co-présence [DIM 99 ; KOM 01]. Notre article se déroule en trois temps. D'abord, nous exposons les principales considérations cognitives et pédagogiques sur lesquelles nous sommes fondés pour concevoir le système proposé. En suite, nous présentons les résultats des études d'expérimentation de premiers prototypes du système qui nous ont conduits à définir et à valider son architecture. Enfin, nous discutons l'architecture définie du système et ses principales fonctionnalités et nous présentons un plan des recherches à mener pour valider l'environnement d'apprentissage.

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 dernièrement. L'accent est mis sur le développement des communautés d'apprentissage [SCA 94] aux buts convergents, se servant des règles d'action communes, disposant des outils appropriés et qui se partagent le travail à la manière bien décrite par la théorie de l'activité [LEW 97]. Cette problématique modifie amplement 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, les outils utilisés, les activités à réaliser, le rôle des maîtres et le contexte de l'apprentissage [GIF 99].

2.2. Approche cognitive de la modélisation

Les fonctions cognitives que les modèles accomplissent 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.). Cependant, les études en psychologie et en didactique sur les questions de la modélisation informatique sont peu nombreuses. L'importance accordée par les chercheurs sur le 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 en psychologie qui se rapportent à la modélisation : 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 [LEM 93] nous apprennent que les activités de modélisation peuvent renforcer le processus d'apprentissage : lors de la construction d'un modèle les apprenants expriment leurs idées et leurs modèles mentaux [BLI 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 prendre un aspect concret. Ces représentations jouent un rôle de support cognitif qui accompagne la pensée et le raisonnement [TEO 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 la 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 construction de modèles. On peut citer, entre autres, les suivantes :

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 [SOL 01 ; BAK 99]. La compréhension requiert également la structuration de l'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 : au moyen de la liberté totale des usagers ou par la définition des protocoles de coordination, se servant, par exemple, d'une *Clé d'Action* qui passe 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 [JER 01].

Coordination de la collaboration : les élèves qui travaillent de façon collaborative doivent être conscients des actions des autres collaborateurs. La conscience sur les activités des autres est souvent supportée par des traces d'informations fournies par le système, sur la location des partenaires dans *l'espace commun d'activité*, sur leurs actions et sur l'histoire de l'interaction [FID 02].

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 [DIM 99, KOM 01]. 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 à son aide. La variété des entités primitives pose ainsi des problèmes de gestion. Les entités primitives 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 des 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 mettant des instantanés importants du processus de construction d'un modèle. Ces fonctionnalités doivent être disponibles tant au niveau de travail individuel que collectif. Les traces du travail de construction des modèles doivent être disponibles pour soutenir l'élaboration des outils métacognitifs pour les élèves sur leur propre processus de modélisation et des outils de méta-analyse pour les professeurs.

3. Des études aux différents aspects d'architecture des systèmes collaboratifs

Plusieurs projets de recherche sont effectués dernièrement dans le but de concevoir, développer et évaluer des systèmes collaboratifs d'apprentissage [DIL 99 ; STA 02]. Ici nous présentons nos travaux au sujet du 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 des aspects de l'architecture et des fonctionnalités des systèmes de collaboration synchrone à distance. Initialement, l'accent a été mis sur l'analyse de la communication et de l'interaction verbale - écrite à distance et de l'interaction entre partenaires à l'aide de la manipulation directe, sur la conception alternative des outils de contrôle du travail dans l'espace de travail distribué et sur l'hétérogénéité du contenu pédagogique. Ensuite, l'expérimentation portait 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 [KOM 02]. Cinq groupes d'étudiants collaborent en partageant un *espace de travail distribué* (les deux parties de collaboration voient les actions des autres sur l'espace – 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 inactif. Une analyse qualitative des résultats (basée sur la méthodologie OCAF [AVO 03], décrite ci-dessous) ressort 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 (3% et 2% réciproquement) relèvent de l'interaction sociale et de la gestion du logiciel. Nous avons des résultats similaires dans deux autres études où nous avons utilisé la même architecture distribuée et des analogues mécanismes d'interaction et de gestion de l'espace de travail distribué [FID 03 ; MAR 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 [FID 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 postérieurs des usagers montrent qu'il y a une influence de ces implémentations altératives 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 de rédiger un message, ou il insère et déplace un objet dans l'espace distribué de travail. Dans une autre étude, douze groupes d'étudiants ont utilisé deux prototypes de MS avec deux différents modes de mécanisme de contrôle 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 du contrôle, plus argumentées faisant preuve d'une activité métacognitive plus élaborée [MAR 03].

3.3. Sur l'hétérogénéité du contenu pédagogique

Comment la résolution d'un problème de modélisation à distance en mode de collaboration synchrone peut évoluer quand les collaborateurs ne disposent pas le 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 un modèle d'un problème ouvert. Les cinq groupes avaient à disposition un ensemble identique des entités primitives nécessaires à la construction du modèle et les cinq autres groupes avaient des sous-ensembles des entités hétérogènes. Nous en avons conclu que les élèves travaillant avec des bibliothèques d'entités primitives hétérogènes réussissent autant que les élèves disposant des bibliothèques d'entités primitives homogènes [KOM 03]. L'hétérogénéité du contenu pédagogique ne semble pas alors faire problème lors de la collaboration. Toutefois, la communication entre les groupes disposant des entités hétérogènes était plus dense et contenait plus des allocutions 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 fut accordée aux enseignants. Ainsi, nous avons entrepris une étude d'exploration des besoins des enseignants et des stratégies qu'ils mobilisent comme facilitateurs [PET 03]. L'étude comprenait l'analyse des données de six heures de cours, 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 après 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. Quant à eux, les enseignants ont demandé (a) d’avoir la possibilité de lier directement chaque expression (utterance) 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 sophistiqué de supervision de collaboration synchrone pour plusieurs groupes d’élèves.

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 relatives avec les prototypes de MODELSCREATOR et de MODELLINGSPACE [AVO 03] nous proposons un cadre méthodologique (Object-oriented Collaboration Analysis Framework - OCAF) pour analyser la collaboration dans un espace de travail distribué. Dans le centre d’intérêt de ce cadre sont les éléments de la solution (en principe les concepts du problème et leurs relations) développés collaborativement avec leur propre histoire. Cette approche produit un aperçu inversé du processus ; la solution est faite par des éléments structurants qui appartiennent aux acteurs ayant contribué, en un degré variable, à leur développement. 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 face à face.

4. L’environnement d’apprentissage MODELLINGSPACE

À la suite de la problématique et des études de cas mentionnées ci - haut nous avons conçu et implémenté le système MODELLINGSPACE (MS). MS est un environnement éducatif dont le but est de promouvoir la construction, individuellement 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 [KOM 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 à 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 des entités et d'en produire nouvelles pour construire et tester des modèles (figure 1). Grâce à cette caractéristique, les partenaires de collaboration peuvent réfléchir en utilisant des ensembles hétérogènes d'entités pour résoudre un problème.

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 les outils de suivi des aspects collaboratifs et d'analyse métacognitive (sections 3.4 & 3.5).

La conception du système de la collaboration synchrone et asynchrone pour construire des modèles prend appui également sur le concept de l'*artefact partagé / surface de travail* [DIX 98]. À l'opposé d'autres systèmes collaboratifs qui mettent l'accent sur la communication (support des conférences, 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 98]: les participants, le mécanisme de la communication directe, l'artefact, les outils pour agir sur les artefacts, les mécanismes pour partager l'aperçu de l'artefact. Ce cadre nécessite également 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 supporté par ordinateur. La question de deixis (désignation) doit être également 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 de 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, nous l'avons vu, aussi importante que la communication directe entre les participants [KOM 02]. Toutefois, ce feedback pour être efficace doit être supporté par de canaux de communication habituelle dans ce type de systèmes, comme la voix et la messagerie (chat) [PRE 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.

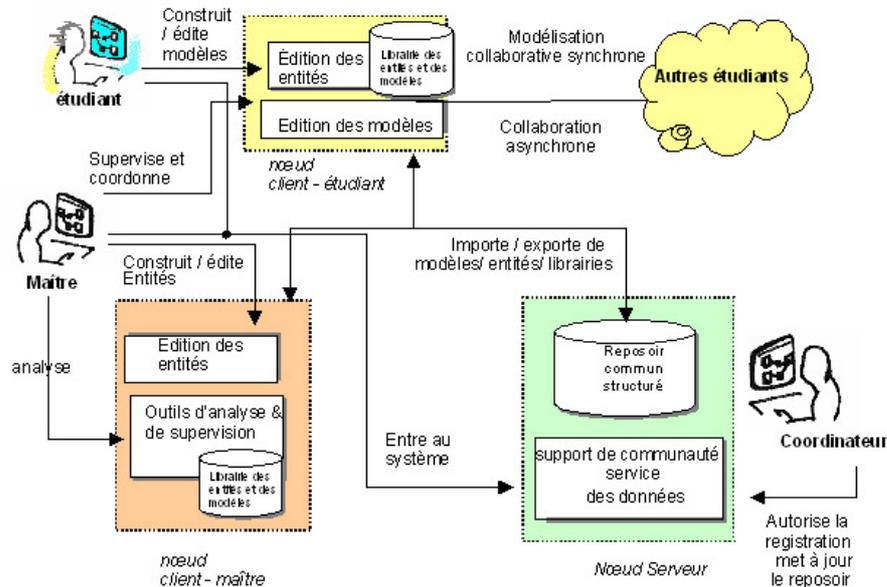


Figure 1. Vue globale de l'architecture: acteurs et nœuds

4.2. Interface et fonctionnalités principales

Dans la figure 2 nous présentons l'interface du système qui comporte les principales fonctionnalités au cours d'un usage collaboratif. Les éléments structurants du système sont les *entités* (représentant des concepts) qui contiennent des *propriétés* (étant des caractéristiques intrinsèques des entités et 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, tableau de valeurs, diagrammes 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 nous avons les outils de gestion de la collaboration.

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, qualitatif et des relations 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 dans lequel on peut introduire des données numériques. Il y a aussi une relation qui peut être exprimée de façon qualitative (graphique) et sert à dessiner la variation entre deux propriétés (variables) du modèle.

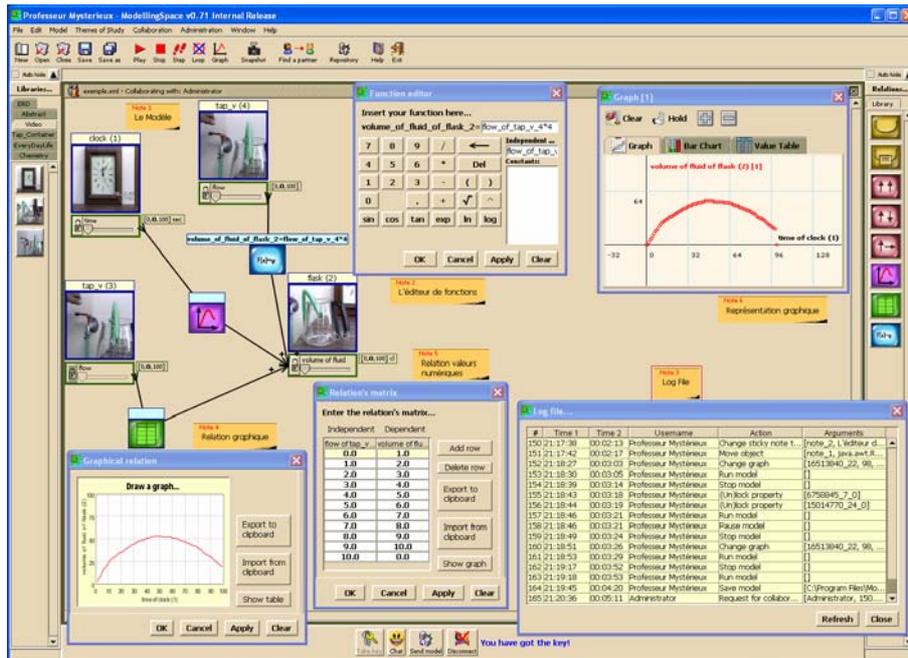


Figure 2. Interface de l'édition des modèles (importantes fonctionnalités)

5. Conclusion

Les expérimentations des prototypes de MODELINGSPACE par des groupes d'élèves et d'étudiants présentées ci - haut se réfèrent seulement aux composants du système qui concernent la collaboration synchrone au cours de modélisation semi - quantitative et qualitative. Ces expérimentations impliquent, de ce fait, 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 mené à déterminer les principales fonctionnalités, et à définir l'architecture actuelle de l'environnement. En plus, d'autres aspects sont expérimentés actuellement pour avoir une 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 offerts à l'enseignant, l'analyse détaillée du discours et des actions des élèves au cours de l'interaction par un dialogue structuré, l'analyse des

usages des outils qui supportent une auto-régulation des actions des collaborateurs, afin de compléter les expérimentations sur les choix de conception les plus importants concernant la collaboration synchrone et asynchrone. 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 la 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.

6. Bibliographie

- [AVO 03] AVOURIS N., DIMITRACOPOULOU A., KOMIS V., "On analysis of collaborative problem solving: An object-oriented approach", *Computers in Human Behavior*, 19, pp. 147-167, 2003
- [BAK 99] BAKER, M., HANSEN, T., JOINER, R., & TRAUM, D., The role of grounding in collaborative problem solving tasks. In P. DILLENBOURG (Ed) *Collaborative-learning: Cognitive and Computational Approaches*. pp. 31-64, Advances in Learning and Instruction series, Pergamon, Elsevier, 1999.
- [BLI 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.
- [DIL 99] DILLENBOURG P. (Edited by) *Collaborative-learning: Cognitive and Computational Approaches*, Advances in Learning and Instruction series, Pergamon, Elsevier, 1999.
- [DIM 99] DIMITRACOPOULOU A., KOMIS V., APOSTOLOPOULOS P., POLITIS P., "Design Principles of a new modeling environment for young students, supporting various types of reasoning and interdisciplinary approaches", in S.P. Lajoie & M. Vivet (Eds), Proceedings of 9th Int. Conference on Artificial Intelligence in Education. Le Mans, 19-23 July 1999, IOS Press, Ohmsha, p. 109-120.
- [DIX 98] DIX A., FINAY J., ABOWD G, BEALE R., *Human-Computer Interaction*, 2nd Edition, Prentice Hall, Hempstead, UK, 1998.
- [FID 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.
- [FID 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.

- [GIF 99] GIFFORD B., ENYEDY N., « Activity Centered Design: Towards a Theoretical Framework for CSCL », *Proceedings of Computer Support Collaborative Learning -99*, University of Stanford, 1999, p. 189-197.
- [HEN 01] HENRI F., *Apprentissage Collaboratif à Distance : Pour Comprendre et Concevoir les Environnements d'Apprentissage Virtuel*, Presses Universitaires de Québec, 2001.
- [JER 01] JERMAN P., SOLLER A. & MUHLENBROCK M., From Mirroring to Guiding: A Review of State of the Art Technology for Supporting Collaborative Learning, in DILLENBOURG P., EURELINGS A. & HAKKARAINEN K. (Eds), *Proceedings of Euro Computer Supported Collaborative Learning*, Proc. of EuroCSCL, Maastricht, NL, pp.324-331, 2001.
- [KOM 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, pp.75-86, 2001.
- [KOM 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.
- [KOM 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)
- [LEM 93] LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A., *Construire des concepts en physique*, Paris, Hachette, 1993.
- [LEW 97] LEWIS R., "An Activity Theory framework to explore distributed communities", *Journal of Computer Assisted Learning*, Vol. 13, 1997, p. 210-218.
- [MAR 03] MARGARITIS M., AVOURIS N. and KOMIS V., Study on activity control mechanisms in computer supported synchronous collaborative modelling, *CSCL 2003: Computer Support for Collaborative Learning (Designing for Change in Networked Learning Environments)*, Bergen, Norway, 14-18 June 2003 (submitted)
- [PET 03] PETROU A. & DIMITRACOPOULOU A. (submitted). Teachers' requirements for managing synchronous collaboration in real school classes working on traditional problems. *CSCL 2003: Computer Support for Collaborative Learning (Designing for Change in Networked Learning Environments)*, Bergen, Norway, 14-18 June 2003
- [PRE 02] PREECE J, ROGERS Y, SHARP H., *Interaction Design beyond human-computer interaction*, J. Willey & Sons, New York, 2002.
- [SCA 94] SCARDAMALIA M., BEREITER C. « Computer Support for Knowledge – Building Communities », *The Journal of the Learning Sciences*, 3(3), 1994, p. 265-283.
- [SOL 01] SOLLER, A., L., Supporting Social Interaction in an Intelligent Collaborative Learning System. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol 12, pp. 40-62, 2001.
- [STA 02] STAHL G., (edited by), *Computer Support For Collaborative Learning: Foundations For A CSCL Community, Proceeding of CSCL 2002*, Boulder, Colorado, USA, 2002.
- [TEO 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.