

Graphes et manipulation graphique des connaissances dans un environnement de construction de cours

Anatole KENGNE (1), Claude FRASSON (1)
Gilbert PAQUETTE (2)

(1) Laboratoire Héron, Université de Montréal
CP 6128, succ Centre-ville,
Montréal (PQ), H3C 3J7 Canada

(2) Laboratoire Licef, Télé-Université
1001 Sherbrooke Est
CP 5250 Montréal (PQ), H2X 3M4 Canada

RÉSUMÉ

Cet article présente un système de manipulation graphique des connaissances dans un environnement de construction de cours. Ce système, basé sur la théorie des graphes, vise à aider les auteurs de didacticiel dans leur tâche de modélisation et de partitionnement des connaissances du domaine à enseigner. Le modèle de connaissances est structuré sous la forme d'un graphe dont les noeuds représentent les connaissances et les arcs indiquent les liens existants entre les connaissances. Outre les opérations classiques sur les graphes telles l'ajout et la suppression des noeuds (connaissances) et des arcs (liens), nous définissons d'autres opérations plus spécifiques au processus de construction de cours telles que la documentation, le filtrage d'un modèle de connaissances, le partitionnement d'un modèle en petites unités d'enseignement. Un prototype du système, réalisé entièrement suivant le paradigme modèle/vue/contrôleur dans un environnement Smalltalk, est actuellement opérationnel.

MOTS CLÉS

Modèle de connaissances, environnement de construction de cours, théorie des graphes

1. INTRODUCTION

Depuis le début de la décennie 90 on remarque une grande effervescence dans le domaine des systèmes tutoriels intelligents (STI), en particulier dans les environnements de construction de cours, comme le témoigne la multitude de grands projets actuellement en développement dans le monde. Les projets IDE[Pirolli & al., 1990], CAMCE[Delta, 1990], NESTOR[Mulhauser, 1990], ID-Expert[Merrill, 1993], AGD[Frasson & al., 1992] [Paquette & al., 1994], et tout récemment le projet SAFARI[Gecsei & al., 1994], en sont quelques exemples. Malheureusement la plupart des projets de génie didacticiel se heurtent encore à un sérieux problème. Celui de l'acquisition et de la modélisation des connaissances. Il s'agit plus précisément du processus d'extraction de la connaissance, de construction et de manipulation des modèles de connaissances, de répartition des connaissances en objets didactiques qui puissent être réutilisés.

Nous présentons dans cet article un système de manipulation graphique de modèles de connaissances dans un environnement de construction de cours. Ce système, basé sur la théorie des graphes, vise à aider les auteurs de didacticiel dans leur tâche de modélisation et de partitionnement des connaissances du domaine à enseigner. Il fournit un ensemble d'outils graphiques expérimentés dans un prototype qui a été réalisé en Smalltalk. Après une présentation sommaire du processus de construction de cours, nous donnons une définition pratique de ce qu'est un modèle de connaissances, ainsi que des outils de manipulation graphique développés dans le prototype actuel.

2. PHASES DE CONSTRUCTION D'UN COURS

Le processus de construction d'un cours passe par cinq grandes phases: analyse, conception, simulation, réalisation, validation [Kjiri & al., 1993]. Nous nous intéressons ici à la phase de conception qui est celle au cours de laquelle l'auteur est confronté au problème de modélisation de connaissances. En effet c'est au cours de cette phase que le contenu du cours est élaboré. L'auteur définit le contenu pédagogique de son cours en se référant aux données produites lors de la phase d'analyse [Kengne, 1993_b].

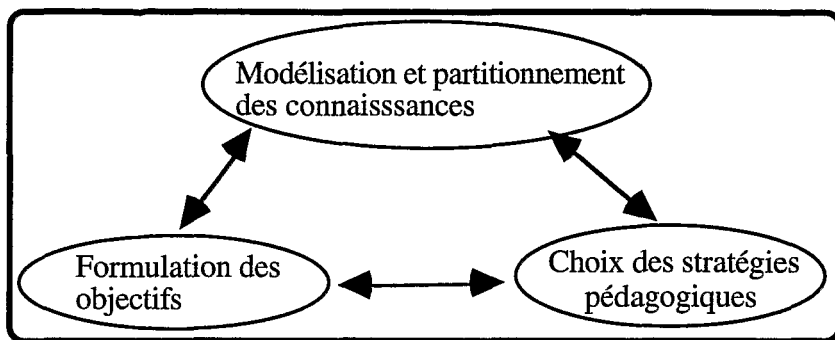


Figure 1: Activités de la phase de conception

Dans la phase de conception (figure 1), l'auteur modélise les connaissances à enseigner et les partitionne en petites unités d'enseignement¹, puis il associe à chacune d'elle des objectifs pédagogiques de manière à recouvrir les objectifs globaux formulés lors de l'analyse, enfin il choisit les stratégies pédagogiques correspondant à chacune des unités d'enseignement.

3. MODÉLISATION DES CONNAISSANCES À BASE DES GRAPHS

3.1 Définition

Pour structurer les diverses connaissances composant un cours, nous sommes amenés à définir de façon pratique ce qu'est un modèle de connaissances. Un modèle de connaissances est un ensemble de connaissances et de liens, structuré sous forme d'un graphe orienté dans lequel les noeuds représentent les connaissances du domaine et les arcs définissent les liens entre les connaissances.

¹ Une unité d'enseignement est une entité qui contient les connaissances issues du curriculum de la matière à enseigner, pouvant être présentée à l'étudiant en une session d'apprentissage [Frasson et al., 1992, octobre].

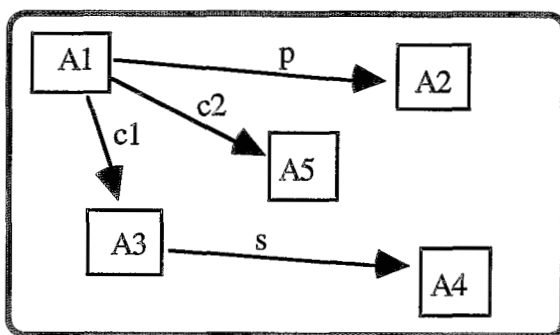


Figure 2: Exemple de modèle de connaissances

La figure ci-dessus présente un exemple de modèle de connaissances comprenant cinq connaissances (A1, A2, A3, A4, A5), et quatre liens (c1, c2, p, s). La lecture du modèle de connaissances se fait suivant le sens d'orientation des flèches. Nous lisons donc la figure comme suit: A1 est composé de A3; A1 est composé de A5; A1 précède A2; A3 est une sorte de A4. Afin de permettre une plus grande expressivité des modèles de connaissances, nous distinguons quatre types de noeuds (ou de connaissances) et trois types d'arcs (ou de liens).

3.2 Classification des connaissances

Le modèle de connaissances supporte quatre types de connaissances: les concepts, les procédures, les principes et les propriétés. Les concepts sont les connaissances factuelles d'un domaine. On a par exemple le concept de "dés" dans un jeu de dés. Les procédures sont les savoir-faire dans un domaine. Dans l'exemple de jeu de dés toujours, on va avoir la procédure de "détermination du score d'un joueur". Les principes sont encore appelés connaissances conditionnelles et se présentent sous forme de règles comme le montre cet exemple: "si les deux dés du joueur portent le même chiffre, il bénéficie d'un tour supplémentaire de jeu.". Les propriétés quant à elles sont des connaissances terminales (non décomposables) servant à décrire les autres types de connaissances. La couleur "rouge" est un exemple de propriété d'un dé.

3.3 Classification des liens

Nous distinguons trois types de liens entre les connaissances: liens de composition (est-composé-de), liens de précédence (précède), liens de spécialisation (est-sort-de). Le lien de composition permet de raffiner une connaissance en unités de connaissances plus petites. Par exemple "un dé

est-composé-de six faces". Entre deux connaissances A et B, nous pouvons avoir un lien de composition simple (\xrightarrow{C}) indiquant que la connaissance B est une composante de A, ou un lien de composition multiple (\xrightarrow{C}) indiquant que la connaissance A se décompose en une liste de connaissances B. Le lien de précédence (\xrightarrow{P}) permet d'introduire un ordonnancement entre les connaissances. Le lien "est-sort-de" (\xrightarrow{S}) permet de définir une relation de spécialisation. Par exemple ("*un dé aux coins arrondis*" est-sort-de "*dé*").

4. MANIPULATION GRAPHIQUE DES CONNAISSANCES

Le modèle de connaissances tel que nous l'avons défini s'appuie sur la théorie des graphes. En plus des opérations classiques sur les graphes telles que l'ajout et la suppression des noeuds (connaissances) et des arcs (liens), l'extraction d'un sous graphe, nous avons recensé d'autres opérations spécifiques pour le processus de développement de cours, qui vont être utiles aux concepteurs durant leur tâche de modélisation et de découpage de connaissances. Il s'agit des opérations permettant de filtrer un modèle, de le documenter, et de le partitionner en unités d'enseignement.

4.1 Filtrage du modèle de connaissances

Cette opération fournit au concepteur une vue partielle et plus suggestive du modèle de connaissances qui dans certains cas peut être très volumineux et difficile à appréhender dans son ensemble. Il peut par exemple focaliser son attention sur un type de connaissances ou un type de liens bien défini. Le critère de filtre porte donc sur les types de connaissances (concept, procédure, principe, propriété), ou sur les types de liens (compose, précède, est-sort-de), ou sur une combinaison de ces types.

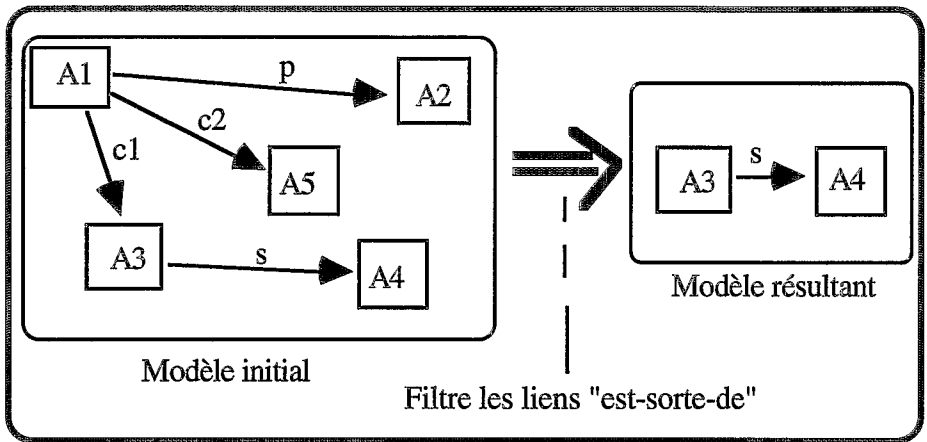


Figure 3: Exemple d'utilisation des filtres

Dans la figure 3 nous présentons un exemple d'utilisation de l'opération de filtrage. En effet à partir d'un modèle de connaissances initial, nous avons appliqué l'opération de filtrage avec comme critère de filtre les liens de type "est-sort-de". C'est à dire ceux portant la lettre "s" sur le graphe. Le résultat de cette opération est un modèle de connaissances plus réduit composé uniquement des noeuds connectés par les liens "est-sort-de".

Un autre avantage qu'il y a à utiliser les filtres est qu'ils peuvent induire une stratégie pédagogique. Par exemple si l'opération de filtrage indique que notre modèle n'est constitué que de concepts, une stratégie pédagogique de "présentation" serait mieux indiquée. Alors que s'il n'y a que des procédures, on choisira de faire des exercices d'application.

4.2 Documentation du modèle de connaissances

Cette opération permet à l'auteur de documenter son modèle. Il se sert de l'outil "bloc-notes" pour associer une description sommaire et un commentaire personnel à chaque connaissance (noeud du modèle) et/ou à chaque lien (arc du modèle).

4.3 Partitionnement du modèle de connaissances

Pour partager les connaissances du modèle entre les unités de formation, le concepteur se sert de l'opération de marquage. Il s'agit d'indiquer à l'aide d'une marque (ou un jeton) que telle connaissance va appartenir à telle unité d'enseignement. Le démarquage est l'opération

inverse. Elle consiste à supprimer une connaissance d'une unité d'enseignement en enlevant le jeton correspondant.

4.4 Zoom du modèle de connaissances

L'opération de zoom s'applique sur l'ensemble du modèle. Elle consiste simplement en la modification du facteur de grossissement du graphe. Ce facteur de grossissement détermine la taille des noeuds et l'épaisseur des liens lors de l'affichage du modèle de connaissances. Ainsi en faisant un "zoom gros" la taille des éléments du graphe est agrandie, alors qu'en faisant un "zoom petit" cette taille est rétrécie. cet outil permet donc à l'utilisateur de fixer la taille des éléments du graphe à son aise.

4.5 Explosion d'un noeud

Certains noeuds du graphe peuvent contenir un sous modèle de connaissances; c'est le cas par exemple dans une modélisation de connaissances par niveau de profondeur comme le montre la figure suivante.

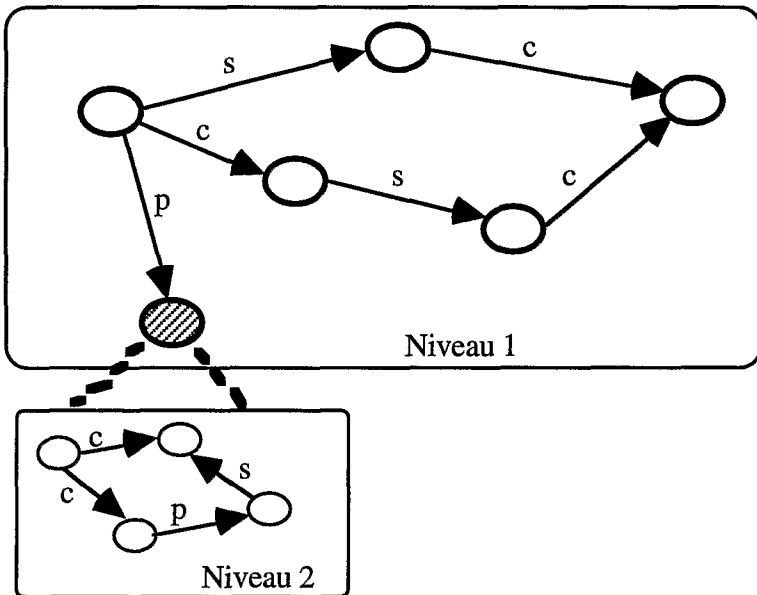


Figure 4: Un modèle de connaissances multi-niveaux

Dans ce type de modèle, cette opération consiste à "exploser" (regarder à travers) un noeud pour y manipuler le sous modèle de connaissances qu'il contient.

5. IMPLANTATION

Pour réaliser notre système nous avons opté pour une implantation à base d'objets. Ce qui ajoute plus de souplesse à notre structure de graphe et à son dépendant graphique. Le prototype du système a été développé dans l'environnement VisualWorks 1.0 de Parc Place Systems. Cet environnement facilite la construction des applications orientées objet grâce à ses outils de création d'interfaces graphiques et à son langage de prototypage rapide: Smalltalk. Le paradigme d'implantation que nous avons utilisé est celui préconisé dans l'environnement Smalltalk et qui une fois de plus a produit d'excellents résultats. Il s'agit du MVC (Modèle/Vue/Contrôleur). Dans cette optique du MVC le graphe de connaissances est vu comme une collection de noeuds (connaissances) et d'arcs (liens). Chaque objet noeud (ou arc) représente la partie "modèle" du MVC et est lié à son dépendant graphique. Le dépendant graphique symbolise la partie "vue" du MVC. Il correspond à l'objet visible que l'on affiche à l'écran. A chaque dépendant graphique est associé un objet chargé de capter les actions de l'utilisateur pendant la manipulation graphique. Cet objet correspond à la partie "contrôleur" du MVC. La dynamique entre le modèle, la vue et le contrôleur allège la conception des applications interactives en Smalltalk et facilite leur implantation.

En guise d'exemple nous avons utilisé notre système pour bâtir le modèle des connaissances d'un cours sur la normalisation des relations. Nous nous restreignons dans cet exemple aux trois premières formes normales. Le modèle de connaissances sur la normalisation des relations (Normt) se compose des concepts (Conc) de clé (Clé), de forme normale (FN), de dépendance partielle (Dp), et de dépendance transitive (Dt). Il est aussi composé de procédures (Proc). Par exemple les procédures "appliquer une forme normale (ApFN)" et "comprendre le principe de normalisation (CoNo)". Les concepts de première forme normale (1FN), de deuxième forme normale (2FN), et de troisième forme normale (3FN) définissent des sortes de forme normale et sont donc liés au concept FN par les liens "est sorte de". Il existe un lien de précédence entre 1FN et 2FN, et entre 2FN et 3FN. Nous avons associé au concept Dp une connaissance conditionnelle (Règle) qui stipule que si on a une dépendance partielle dans une relation alors on a aussi une dépendance transitive. Suite à cette analyse du domaine nous avons dégagé les connaissances et les liens pouvant intervenir dans notre modèle. Le tableau I présente l'ensemble de ces connaissances classées selon leur type. Le tableau II contient tous les liens du modèle regroupés selon leur type. Par exemple "A , B" dans la colonne "précède" se lit A précède B.

Concepts	procédures	Principe	Propriétés
Normt	Proc	Règle	---
Conc	ApFN	---	
FN	CoNo		
Clé	---		
Dp			
Dt			
1FN			
2FN			
3FN			

Tableau I: Classification des connaissances

Est-composé-de	Précède	Est-sortie-de
Normt , Conc	1FN , 2FN	ApFN , Proc
Normt , Proc	2FN , 3FN	CoNo , Proc
Conc , Clé		1FN , FN
Conc , Dp		2FN , FN
Conc , Dt		3FN , FN
Conc , FN		
Dp , Règle		

Tableau II: Classification des liens

La figure 5 présente le modèle de connaissances du cours sur les formes normales construit à partir des données des tableaux I et II, en utilisant notre système de manipulation graphique de connaissances. L'interface du système fournit une zone de travail servant à la construction du modèle de connaissances, et une palette d'outils de réalisation des opérations décrites au point 4.

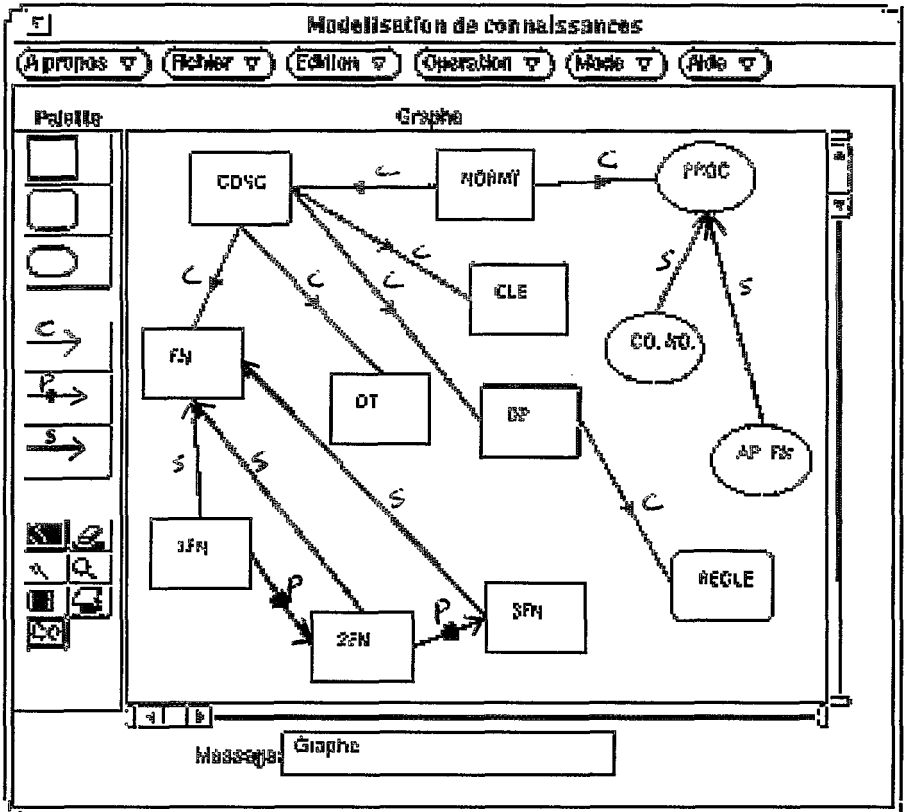


Figure 5: Modèle de connaissances sur la normalisation des relations

En haut à gauche de la palette, nous avons un groupe de huit outils (les outils de construction) qui permettent de créer différents types de connaissances (à l'aide des icônes "Concept", "Procédure", "Principe", "Propriété") et différents types de liens (à l'aide des icônes "Est-composé-de", "Lien multiple", "Précède", "Est-sort-de"). L'icône "Effacer", lorsque sélectionné, permet de supprimer une connaissance ou un lien. L'icône "Bloc-note" permet au concepteur d'enregistrer toute sorte de commentaire ou description à associer à chaque élément (connaissance / lien) du modèle. L'opération de filtrage se réalise en utilisant les icônes "Voir concept", "Voir procédure", "Voir principe", "Voir précédence", "Voir composition", "Voir sorte-de", "Voir sans propriétés". Le zoom du modèle de connaissances s'effectue grâce aux icônes "Zoom avant" pour agrandir le modèle, et "Zoom arrière" pour le rétrécir. Pour naviguer à travers les sous modèles on utilise les icônes "Niveau+bas" pour descendre d'un niveau, et "Niveau+haut" pour remonter d'un niveau. Enfin pour partitionner le modèle de connaissances le concepteur se sert du deuxième bouton de la souris. cette

commande est supportée par une fenêtre de dialogue permettant de spécifier à quelle unité d'enseignement la connaissance sera rattachée.

6. CONCLUSION

Le système que nous avons présenté permet une manipulation graphique des modèles de connaissances dans un environnement de construction de cours. Il est facile à utiliser et son pouvoir d'expression et de modélisation est assez important car il permet au concepteur de distinguer graphiquement les quatre types de connaissances et les trois types de liens les plus couramment utilisés. De plus il produit des modèles de connaissances réutilisables pour la construction d'autres cours. Le prototype qui a été réalisé dans un environnement Smalltalk nous a permis de tester les différents outils présentés dans cet article. Dans notre agenda des travaux, nous envisageons de rendre notre interface plus intuitive, mais surtout de permettre à un concepteur de rajouter de nouveaux types de connaissances et/ou de liens si le besoin se fait sentir.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier tous les membres de l'équipe du projet AGD qui ont été d'un apport précieux au développement de cette idée. Il s'agit en particulier de Laila Kjiri du laboratoire Héron de l'université de Montréal, de Claire Aubin, Chantal Paquin, Pascal Lagassé, Guy Leblanc du Groupe DMR Inc., et de Françoise Crevier, Diane Ruelland, Eric Bleicher, du laboratoire Licef de Télé-Université. Nous remercions aussi le Centre de Recherche en Informatique de Montréal (CRIM) et le Groupe DMR Inc. pour leur support financier.

RÉFÉRENCES

- [DELT 90] DELTA'90: "R&D in Information and Communication based learning technology". European Community Programmes, July 1990.
- [FRAS 92] C. FRASSON; L. KJIRI; C. AUBIN : Génie didacticiel pour le développement des cours, Analyse préliminaire, Rapport interne du Groupe DMR, Février 1992
- [GECS 94] J. GECSEI & C. FRASSON: "SAFARI: an environment for creating tutoring systems in industrial training", invited talk, Ed-Media World conference on educational multimedia and hypermedia, Vancouver, juin 1994

- [GOUA 90] G. GOUARDÈRES: " Le projet AGDI, Atelier de Génie Didacticiel Intégré" TSI, vol 9, no 5., 1990.
- [KENG 92] A. KENGNE & C. FRASSON: Système tuteur intelligent réparti; 60^e congrès de l'ACFAS, Montréal - Canada, du 11 au 15 mai 1992.
- [KENG 93_a] A. KENGNE; D. RAMAZANI; C. FRASSON: Modélisation d'un système tuteur intelligent réparti; 61^e congrès de l'ACFAS, Rimouski - Canada, du 17 au 21 mai 1993.
- [KENG 93_b] A. KENGNE: Interface graphique de modélisation de connaissances dans un système de conception de cours; M. Sc.; Université de Montréal - Canada, décembre 1993.
- [KJIR 93] L. KJIRI; A. KENGNE; C. FRASSON; G. PAQUETTE: Architecture d'un système d'aide à la conception de cours; actes de la conférence ACTI'93 à Limoges - France, du 17-18 novembre 1993.
- [LECA 91] J. LECAVALIER: Les outils de design pédagogique assisté par ordinateur: contexte et bilan, Laval, Québec: CCRIT,130p., Octobre 91
- [LEON 91] J.L. LÉONHARDT: "Multimedia authoring: some evaluation" ALT News, issue 8, 1991
- [MCGR 89] K.L. MCGRAW: Knowledge acquisition for intelligent instructional systems, Journal of Artificial Intelligence in Education, 1(1), 11-26, 1989
- [MERR 93] M. D. MERRILL,: "An integrated model for automating instructional design and delivery", chapter 6 of book: Automating instructional design: concepts and issues, educational technology publications, 1993..
- [MULH 90] M. MULHAUSER,: Issues of Integrated Authoring/Learning Environments; Proceedings of WCCE, pp 419-424, 1990.
- [PAQU 91] G. PAQUETTE: "Le rôle des métaconnaissances dans LOUTI, un générateur d'environnement d'apprentissage", conférence KMET'90, actes publiés chez IOS press, Amsterdam, avril 1991.

- [PAQU 94] G. PAQUETTE; F. CREVIER; C. AUBIN; C. FRASSON:
"Design of a knowledge-based didactic engineering
workbench", conférence CALISCE'94, Paris, septembre
1994.
- [PIRO 90] P. PIROLI & D.M. RUSSELL: "The instructional design
environment: technology to support design problem
solving". Instructional Science, no19, p. 121-144, 1990