



FORMATION À DISTANCE ET DÉVELOPPEMENT



EDU 6014

L'ingénierie cognitive des systèmes
de téléapprentissage

Par Gilbert Paquette
Directeur du CIRTA, chercheur au LICEF, TÉLUQ

L'INGÉNIERIE COGNITIVE DES SYSTÈMES DE TÉLÉAPPRENTISSAGE¹

Par Gilbert Paquette

Directeur du CIRTA, chercheur au LICEF, TÉLUQ

L'évolution rapide des méthodes et des outils de formation met en évidence la multiplicité des décisions à prendre au moment de la conception d'un système de téléapprentissage. Les possibilités pédagogiques nouvelles extrêmement variées rendues possibles par les technologies d'information et de la communication militent en faveur d'une méthodologie renouvelée soutenant la conception des systèmes de téléapprentissage.

Sur un autre plan, un environnement d'apprentissage sur Internet est un système informatique comportant un ensemble d'outils logiciels, de documents numérisés et de services de communication beaucoup plus diversifiés que par le passé. Le développement de tels systèmes sur l'Internet ne peut plus être traité comme une œuvre artisanale, en marge des méthodes rigoureuses employées dans d'autres champs de sciences de l'information. Les méthodes de « *génie logiciel* » commencent maintenant à s'imposer dans les applications Internet, à plus forte raison devrait-elles le faire dans la conception des systèmes d'apprentissage sur Internet.

Par ailleurs, l'intérêt de plus en plus grand pour la gestion des connaissances dans les organisations souligne l'importance des connaissances et de l'expertise en tant que capital précieux pour un individu ou une organisation. Ces préoccupations rejoignent celles qui ont présidé, au cours des années soixante-dix et quatre-vingt, à l'essor des systèmes experts. Depuis, les techniques et les outils informatiques ont évolué, les systèmes à bases de connaissances s'intégrant avec les autres systèmes informatiques. Toutefois, les méthodes d'extraction, de formalisation et de traitement des connaissances, autrement dit, l'*ingénierie des connaissances*, demeurent au cœur des processus de gestion des connaissances et aussi, par voie de conséquence, au cœur de la conception des systèmes d'apprentissage.

Ce chapitre vise à centrer l'attention sur le concepteur d'un système de téléapprentissage, acteur initial indispensable créant l'environnement de travail collaboratif et individuel dans lequel évoluera l'apprenant et les autres acteurs, formateurs, experts de contenu, gestionnaires de formation, au moment des apprentissages. Nous présentons ici les fondements théoriques de l'ingénierie des systèmes de téléapprentissage. Puis, nous effectuons un survol d'une méthode (MISA) qui opérationnalise ce type d'ingénierie, nous présentons un atelier distribué de support à cette méthode (ADISA) et nous examinons certains des processus par lesquels on peut construire des environnements de téléapprentissage définis à l'aide de cette méthode. En guise de conclusion, nous terminons en situant cette méthode en regard des théories de l'enseignement et nous précisons des voies d'avenir pour de futurs développements.

1. Ce texte contient des extraits de deux chapitres d'un ouvrage de l'auteur intitulé « L'ingénierie pédagogique – pour construire l'apprentissage en réseau », (Paquette 2002), publié aux presses de l'Université du Québec.

1. Les fondements de l'ingénierie pédagogique

D'entrée de jeu, nous définissons l'ingénierie pédagogique ainsi :

une méthodologie soutenant l'analyse, la conception, la réalisation et la planification de l'utilisation des systèmes d'apprentissage, intégrant les concepts, les processus et les principes du design pédagogique, du génie logiciel et de l'ingénierie cognitive.

1.1 Les méthodes systémiques de design

Située à l'intersection du design pédagogique, du génie logiciel et de l'ingénierie cognitive dont elle hérite certaines de ses propriétés, l'ingénierie pédagogique, se présente comme une méthodologie systémique particulière vouée à la résolution des problèmes de conception des systèmes d'apprentissage. L'ingénierie pédagogique tire ses fondements de la science des systèmes (Le Moigne 1995; Simon 1973) qui définit la notion de système comme un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisé en fonction d'un but.

Une méthode d'ingénierie pédagogique regroupe un ensemble d'objets pédagogiques à construire, de tâches de conception et de principes d'opération organisés dans le but de soutenir la définition d'un système d'apprentissage. Ce dernier est lui-même un système utilisé par des apprenants et des facilitateurs au moment de sa diffusion. Autrement dit, l'ingénierie pédagogique est un méta système qui vise à développer d'autres systèmes : les systèmes d'apprentissage.

L'ingénierie pédagogique est d'abord et avant tout un processus complexe de résolution de problèmes tel que défini dans les sciences cognitives (Newell et Simon, 1972), et parfois étudié comme tel en sciences de l'éducation (Romiszowski 1981; Reigeluth 1983, Tennyson 1990; Merrill 1994). Les processus de ces domaines présentent des similitudes, que l'on travaille en architecture, en génie civil, en pédagogie, en génie logiciel ou en ingénierie cognitive. Dans tous les cas, la solution est un système à construire (un artefact) devant satisfaire certaines contraintes, très peu définies au départ, devant être spécifiées dès la phase initiale, puis précisées tout au long du processus.

En observant des résolveurs à l'oeuvre dans des problèmes de design de différents types, (Goël et Piroli, 1989) ont identifié un certain nombre de connaissances stratégiques invariantes, utilisées au cours du processus de résolution qui tiennent compte de la complexité de ce type de problème.

- On constate une activité intense de structuration et de restructuration du problème.
- Les concepteurs développent plusieurs modèles du système, se concrétisant dans des devis, des schémas fonctionnels, des prototypes.
- Le fait qu'il n'existe pas de « bonne » ou de « mauvaise » réponse entraîne l'évaluation continue de la valeur d'une solution ou d'un élément de solution.
- Cette évaluation est cyclique et s'effectue par approximations successives.
- Les concepteurs ont tendance à préciser progressivement les contours du système tout en essayant de se conserver une certaine latitude.
- Les concepteurs décomposent le problème en modules perméables ayant des intersections et des liens plus ou moins élaborés.
- Les concepteurs passent des buts abstraits initiaux aux spécifications concrètes finales par une série d'approximations de plus en plus précises jusqu'à produire le système qui constitue la solution au problème initial.

- Les concepteurs utilisent abondamment des systèmes symboliques ou graphiques pour décrire les résultats intermédiaires.

1.2 *Le design pédagogique scientifique*²

Ces principes s'appliquent tous aux trois méthodologies dont l'ingénierie pédagogique hérite ses principales propriétés. En particulier, ils s'appliquent au *design pédagogique* dont l'origine du remonte à John Dewey qui, il y a un siècle, réclamait le développement d'un « science charnière » entre les théories de l'apprentissage et les pratiques éducatives (Dewey 1900).

Son appel fut entendu au début des années soixante, date à laquelle on peut parler du début d'une nouvelle discipline, principalement sous l'influence des travaux de B.F. Skinner, Jerome Bruner et David Ausubel (Reigeluth, 1983). Skinner proposait alors une approche scientifique de la pédagogie en la distinguant de l'étude de l'apprentissage, tout en développant le premier modèle d'intervention pédagogique validé sur une base empirique (Skinner, 1954). Contrairement à l'approche behavioriste de Skinner, Bruner développait une théorie fondée sur la pédagogie de la découverte et les stages de développement intellectuels (Bruner, 1966). Par ailleurs, Ausubel, construisait un modèle pédagogique menant à des méthodes de présentation fondées sur les structures cognitives (Ausubel 1968).

Les années soixante-dix et quatre-vingt ont permis une floraison de travaux visant la construction de « théories de l'enseignement ». On assiste alors au développement d'une approche cybernétique (Landa, 1976), à l'énoncé de conditions de l'apprentissage (Gagné, 1970), à l'identification de stratégies pédagogiques fondées sur les théories de l'apprentissage structuralistes (Scandura, 1973), au développement d'une théorie cognitiviste de l'enseignement au moyen d'activités de recherche de l'information (Collins et Stevens, 1983), à l'élaboration d'une théorie de l'analyse des composantes des stratégies pédagogiques (Merrill 1976), à des travaux sur une théorie de l'élaboration pour l'analyse et le design des tâches (Reigeluth 1983).

Sur la base de ces différents travaux, le design pédagogique se présente aujourd'hui comme l'ensemble des théories et des modèles permettant de comprendre, d'améliorer et d'appliquer des méthodes d'enseignement favorisant l'apprentissage. Par rapport aux théories développées en psychologie de l'apprentissage, le design pédagogique peut être vu comme une forme d'ingénierie visant à améliorer les pratiques éducatives. Sa relation à la pédagogie est analogue à celle des méthodes de l'ingénieur par rapport aux sciences physiques, ou à celle de la médecine par rapport aux sciences de la vie.

À la lumière de l'évolution vers le téléapprentissage en réseau, il semble aujourd'hui nécessaire de renouveler cette méthodologie. Les modèles et les théories de design pédagogique reposent sur de solides fondements et une somme impressionnante de travaux, mais l'opérationnalisation de ces éléments théoriques et leur intégration dans une méthode à la fois systémique et cognitiviste devient une nécessité pour contrer la tendance au développement artisanal de que l'on peut observer dans la majorité des formations sur l'Internet.

1.3 *Le génie logiciel*

Le génie logiciel, ou plus largement, l'ingénierie des systèmes d'information, peut nous inspirer dans le renouvellement des méthodes de design pédagogique. D'une part, les systèmes d'apprentissage sont des

2. Dans la littérature américaine, cette discipline est connue sous le terme « Instructional Design (ID) », « Instructional System Design (ISD) » ou « Instructional Science » (Reigeluth, 1983; Merrill, 1994). En Europe, l'une des pionnières dans le domaine a utilisé le terme « Pédagogie scientifique » (Montessori, 1958).

systèmes d'information, de plus en plus informatisés et complexes d'ailleurs. D'autre part, le génie logiciel réussit à vaincre progressivement la tendance artisanale dans le domaine de la programmation des ordinateurs, artisanat qui s'avérait, là aussi, inadéquat pour vaincre la complexité croissante des systèmes d'information.

L'ingénierie des systèmes d'information s'intéresse à des systèmes composés d'acteurs, de processus, de produits et de principes d'opération. Cette méthodologie est globale, constituant un langage commun à des utilisateurs multiples et à des métiers divers. Elle est dynamique, s'intéressant à l'évolution des états des objets du système à travers divers processus. Elle est opérationnelle, identifiant clairement les biens livrables, les produits qui résultent de ses différents processus. Elle est non linéaire, reposant sur un certain nombre de principes d'opération qui tiennent compte des caractéristiques des activités humaines de design, notamment les liens d'influence enchevêtrés plutôt que linéaire impliquant de fréquents retours en arrière et une progression en spirale.

L'ingénierie pédagogique s'inspire de ces principes de conception des systèmes d'information, en les adaptant à la conception des systèmes d'apprentissage. Elle prévoit des processus bien définis s'exécutant largement en parallèle et par itérations successives appelés « livraisons ». Elle décrit précisément les produits de ces processus et leur contribution au devis général du système d'apprentissage. Elle valorise l'architecture du système d'apprentissage, plutôt que le développement hâtif et artisanal des matériels pédagogiques. Enfin, elle prépare soigneusement la mise en place, ainsi que la diffusion et l'utilisation du système d'apprentissage.

1.4 L'ingénierie des connaissances

L'ingénierie des connaissances s'est développée dans la foulée des applications des systèmes experts et de l'intelligence artificielle au cours des trente dernières années. L'ingénierie des connaissances a été appliquée en éducation sous la forme de systèmes tutoriels intelligents (Wenger 1987) destinés à l'apprentissage individualisé, mais aussi dans des systèmes experts en design pédagogique destinés aux concepteurs (Merrill, 1994; Spector et al., 1993).

On a vu apparaître une nouvelle fonction, celle d'ingénieur de la connaissance, et une nouvelle discipline, *l'ingénierie de la connaissance*, qui étudie les méthodes et les pratiques de développement des systèmes à base de connaissances (McGraw et Harbisson-Briggs, 1989). L'ingénierie des connaissances implique des opérations telles que l'identification des connaissances, leur explicitation, leur représentation et leur formalisation dans un langage symbolique ou graphique facilitant leur utilisation subséquente. Ces opérations permettent de construire une vue explicite et structurée des connaissances pouvant servir de base à l'ingénierie pédagogique d'un système d'apprentissage ou de téléapprentissage.

C'est de cette façon que nous intégrons l'ingénierie des connaissances à une méthode d'ingénierie pédagogique. Les processus d'ingénierie des connaissances sont adaptés et spécialisés pour nous aider à définir le contenu, les activités et les scénarios pédagogiques, les matériels pédagogiques, ainsi que les processus de diffusion du système d'apprentissage.

Sur un autre plan, l'ingénierie des connaissances nous a servi également à définir la méthode d'ingénierie pédagogique elle-même. En appliquant des techniques d'ingénierie des connaissances au domaine du design pédagogique lui-même, nous identifions les concepts, les processus et les principes d'ingénierie pédagogique. Les sources d'expertise sont puisées à la fois dans les théories et les modèles de design pédagogique en sciences de l'éducation, ainsi que dans les concepts, les processus et les principes du génie logiciel et du génie cognitif.

2. La méthode d'ingénierie des systèmes d'apprentissage (MISA)

Nous présentons maintenant la *méthode d'ingénierie des systèmes d'apprentissage*, MISA, qui résulte de nos travaux réalisés principalement au centre de recherche de la Télé-université du Québec, le LICEF³. La méthode est fondée sur les principes qui viennent d'être exposés.

2.1 Objectifs de la méthode

Nous avons voulu atteindre les huit objectifs principaux suivants.

1. Intégrer les principes du design pédagogique scientifique au domaine du téléapprentissage en axant les devis, non seulement sur les contenus et les matériels pédagogiques, mais aussi sur les scénarios d'apprentissage et les processus de coordination des acteurs sur les réseaux, entre eux et avec les ressources pédagogiques : matériels/documents, outils, moyens de communication, services et milieu de formation.
2. Intégrer la modélisation des connaissances dans les processus, les produits et les principes d'opération de la méthode.
3. Faciliter la communication et l'atteinte de consensus entre les membres d'une équipe de conception grâce à l'intégration de principes d'opération inspirés de ceux du génie logiciel.
4. Rendre la démarche d'ingénierie pédagogique visible et la structurer de manière à permettre un contrôle de qualité tant sur le processus que sur les produits qui en découlent.
5. Systématiser la démarche d'ingénierie sans restreindre la créativité essentielle à l'élaboration de stratégies pédagogiques et médiatiques efficaces.
6. Faciliter la conception de systèmes d'apprentissage ouverts ou émergents offrant des itinéraires d'apprentissage variés adaptables par les apprenants, les formateurs et les gestionnaires de la formation.
7. Maintenir la cohérence d'ensemble du système d'apprentissage, tant sur le plan du contenu (connaissances et compétences) que des autres dimensions, ainsi que sur les différents devis entre eux.
8. Soutenir la réutilisation des devis de systèmes d'apprentissage et de leurs composantes d'un projet à un autre.

2.2 Survol de la méthode

MISA supporte 35 tâches ou processus principaux et quelques 150 tâches secondaires. Elle a été construite à l'aide du système de représentation des connaissances par objets typés MOT (Paquette 1996). Ce système de représentation permet de construire graphiquement diverses catégories de modèles : des systèmes conceptuels, procéduraux ou prescriptifs, et notamment, des méthodes comme MISA. Dans le système MOT, les différents types de connaissance (faits, concepts, procédures, principes) sont représentés de façon intégrée par des objets que l'on peut mettre en relation par des liens de spécialisation, d'instanciation, de composition, de précédence et d'autres types de liens.

3. Une première version de la méthode MISA (Aubin et al., 1995), a été construite en parallèle à la réalisation de l'AGD, un d'atelier informatisé de support au génie didactique (Paquette et al, 1994). Au cours de l'année 1995, l'AGD et la méthode sous-jacente ont été mis à l'essai dans neuf organisations et entreprises (Aubin et Crevier, 1995). Une seconde version a été complétée en 1997 (Crevier 1997) et une troisième version en 1998 (Paquette et al, 1999). La version actuelle (MISA 4.0), a été révisée en liaison avec le développement d'un atelier distribué d'ingénierie de systèmes d'apprentissage sur Internet (ADISA).

La figure 1 présente, sous la forme d'un modèle de connaissances MOT, une vue d'ensemble des principaux éléments de la méthode. Trois types de liens de la modélisation MOT sont utilisés ici : le lien de composition C relie deux objets dont le second est une composante du premier; le lien de régulation R relie deux objets dont le premier est un principe qui régit (contrôle) le second, une procédure; le lien intrant/produit I/P relie un concept intrant à une procédure ou une procédure à un concept un produit de la procédure.

Sur cette figure, la tâche principale « Réaliser le devis d'un système d'apprentissage » est régie par des principes d'opération et produit le devis d'ensemble du système d'apprentissage (SA). Elle et se décompose de deux façons. On peut *progresser à travers les phases*, soit six processus⁴ principaux : définir le problème de formation, proposer une solution préliminaire, concevoir l'architecture pédagogique, concevoir les matériels pédagogiques et leur diffusion, réaliser et valider les matériels, planifier la diffusion du système d'apprentissage. De façon alternative, on peut *développer le devis par axes* selon quatre dimensions : le devis des connaissances, le devis pédagogique, le devis des matériels et le devis de diffusion.

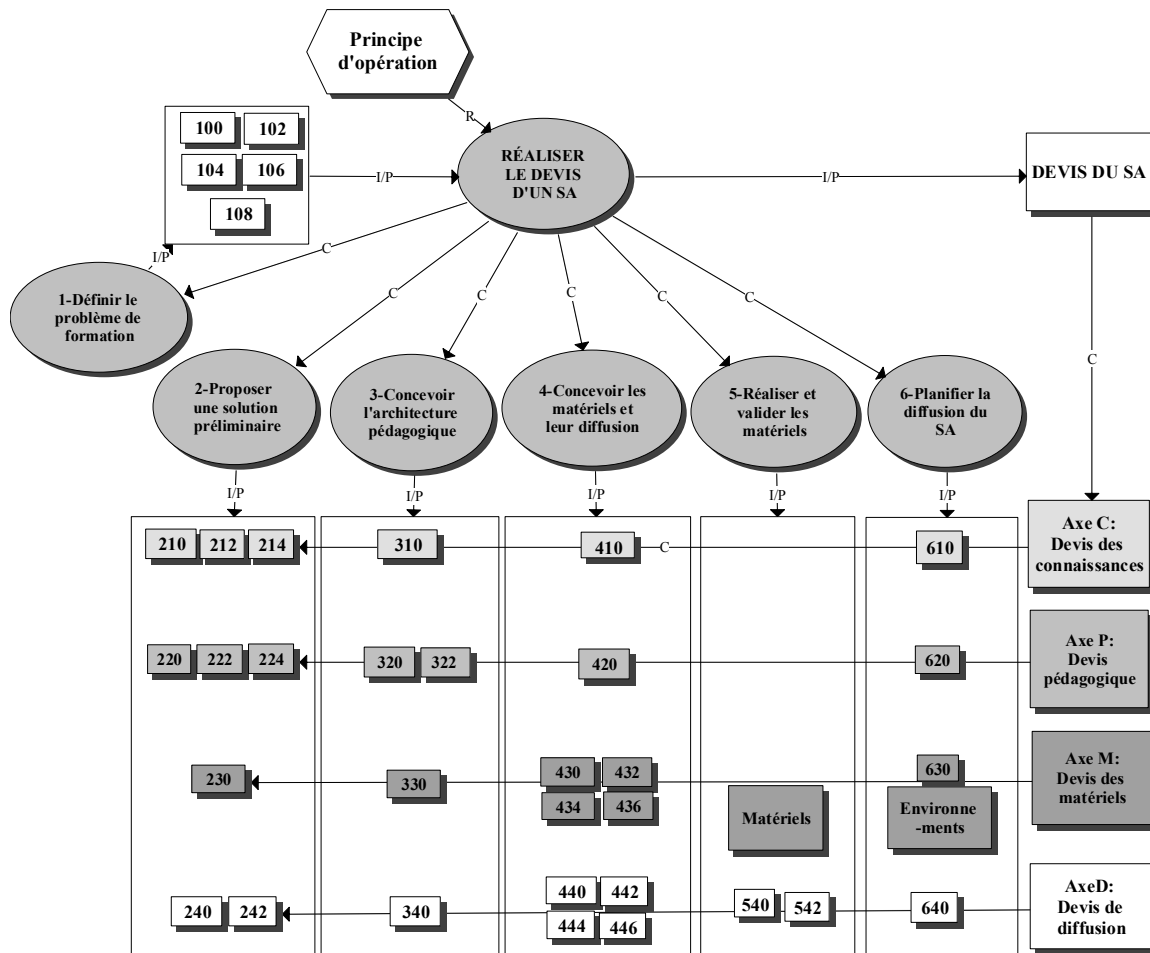


Figure 1 - MISA : représentation de haut niveau⁵

4. Un processus est un sous-modèle regroupant une procédure principale, les sous-procédures qui la compose, ses concepts intrants et produits, ainsi que les principes qui régissent son exécution.
5. Les processus de production des matériels et des environnements sont extérieurs à la méthode MISA. Voilà pourquoi ils ne font pas l'objet d'éléments de documentation.

Globalement, ces processus peuvent à leur tour être décomposés en tâches principales qui visent à produire l'un ou l'autre des trente-cinq éléments de documentation de la méthode, numérotés ici de 100 à 640. Ces composantes du devis du SA sont réparties selon les six phases et les quatre axes, le premier numéro indiquant la phase et le second, l'axe.

2.3 Principaux concepts de la méthode

Le devis d'un système d'apprentissage est constitué d'un sous-ensemble de trente-cinq *éléments de documentation*, sélectionnés en fonction du problème de formation et des caractéristiques du système d'apprentissage cible.

Le concept d'*élément de documentation* (ÉD), inspiré des méthodes de génie logiciel, constitue le matériau de base de la méthode. Certains éléments de documentation sont des modèles graphiques résultant d'une ingénierie des connaissances relative à un des axes de la méthode, d'autres sont des fiches décrivant des composantes du futur système d'apprentissage et leurs propriétés. Chaque fiche comporte un certain nombre d'attributs avec leurs valeurs. Le tableau 1 présente la liste des 35 éléments de documentation identifiés sur la figure 1.

Phase 1	Phase 2
100 Cadre de formation de l'organisation	210 Orientation du modèle des connaissances
102 Objectifs de la formation	212 Modèle des connaissances
104 Publics cibles	214 Tableau des compétences
106 Contexte actuel	220 Orientations pédagogiques
108 Ressources documentaires	222 Réseau des événements d'apprentissage
Phase 4	224 Propriétés des unités d'apprentissage
410 Contenu des instruments	230 Orientations médiatiques
420 Propriétés des instruments et des guides	240 Orientations de diffusion
430 Liste des matériels	242 Analyse coûts/bénéfices/impacts
432 Modèles médiatiques	Phase 3
434 Éléments médiatiques	310 Contenu des unités d'apprentissage
436 Documents source	320 Scénarios pédagogiques
440 Modèles de diffusion	322 Propriétés des activités
442 Acteurs et ensembles didactiques	330 Infrastructure de développement
444 Outils et moyens de communication	340 Plan des livraisons
446 Services et milieux de diffusion	Phase 6
Phase 5	610 Gestion des connaissances/compétences
540 Plan des essais et des tests	620 Gestion des apprenants et des facilitateurs
542 Registre des changements	630 Gestion du SA et de ses ressources
	640 Gestion de la qualité

Tableau 1 – Les éléments de documentation de la méthode MISA 3.5

Chacun des éléments de documentation se décompose en attributs pouvant prendre différents types de valeurs : un titre, un nombre, un texte, une liste d'objets, un graphe. Chaque couple attribut/valeur(s) décrit une propriété d'une composante du système d'apprentissage. Le devis du système d'apprentissage se décompose ainsi en plusieurs niveaux de concepts :

Devis du système d'apprentissage

Dossier regroupant des éléments de documentation

Élément de documentation

Attribut de l'élément de documentation

Valeur(s) attribuée(s) à l'attribut.

2.4 Processus et tâches d'ingénierie

Sauf pour ce qui est de la phase 1, chacun des éléments de documentation produit par la méthode se trouve à l'intersection d'une phase et d'un axe. Il est produit au moyen d'une tâche représentée par un sous processus qui est à la fois une composante du processus représentant la phase et du processus représentant l'axe. Par exemples, les éléments de documentation 222 et 224 sont tous deux des composantes de la phase « Proposer une solution préliminaire » et de l'axe « Concevoir le devis pédagogique ».

Chacune des tâches est définie par son contexte, c'est-à-dire les éléments de documentation qui influencent son exécution, l'élément de documentation qui en résulte comme produit, ainsi que les autres tâches qui sont influencées par ce produit.

Par exemple, les éléments de documentation 102, 104, 220 et 222 doivent être examinés lorsqu'on énonce les propriétés des unités d'apprentissage (224), la définition des publics cibles (104) et du réseau des événements d'apprentissage (222) ayant une influence déterminante. Chaque unité d'apprentissage (UA) est en effet créée lors de la construction du réseau des événements d'apprentissage (222), à l'intention d'un ou plusieurs publics cibles définis dans l'élément de documentation 104. Dans un deuxième temps, en phase 3, lorsqu'on aura associé un modèle de connaissances à l'unité d'apprentissage (310), ainsi qu'un scénario pédagogique (320), on complètera sa définition. Par ailleurs, une fois l'ÉD 224 complété, les propriétés des UA ainsi définies auront une influence sur les tâches permettant de construire les éléments de documentation 310, 320, 322, 340, 410 et 420.

Chacune des trente-cinq tâches de base de la méthode produisant un élément de documentation se décompose à son tour en activités permettant de fixer l'un des attributs de l'élément de documentation. Par exemples, la tâche « Définir les propriétés des unités d'apprentissage » se décompose en activités comme suit :

- Choisir un identificateur pour chaque unité d'apprentissage (UA)
- Identifier les publics cibles auxquels l'UA est destinée
- Évaluer la durée de l'UA pour chaque public cible
- Établir le % de l'évaluation attribué à l'UA, pour chaque public cible
- Estimer le temps consacré aux activités collaboratives, pour chaque public cible
- Choisir le type de scénario pédagogique
- Choisir le mode de diffusion de l'UA
- Rédiger un texte de commentaires destiné aux médiatiseurs.

2.5 La dimension stratégique : principes d'opération

La décomposition de la méthode selon des processus, des tâches et des activités, met en évidence deux démarches principales, l'une par phases, l'autre par axes. On peut aussi travailler directement au niveau des éléments de documentation et on peut bien sûr adopter une démarche hybride. Il y a donc un grand nombre de démarches possibles qui peuvent être guidées par des principes d'opération. Ces principes sont répartis en principes d'adaptation, de progression et de coordination.

Principes d'adaptation. La méthode MISA permet de traiter une grande diversité de projets, d'où la nécessité de faire une configuration préalable des éléments de documentation, en début de projet ou suite à la première phase, afin de déterminer lesquels sont requis et quel niveau de détail est souhaitable. Les principes d'adaptation permettent ainsi au concepteur de se définir un cheminement personnalisé dans les activités de la méthode selon la nature de son projet. En voici quelques exemples.

- Le choix d'un mode de diffusion est également critique pour l'adaptation de la méthode. Un mode de livraison en classe, même constructiviste, dispensera de définir la plupart des éléments du devis concernant le choix des médias, des outils ou des moyens de communication. Un apprentissage à distance ou en autoformation à l'aide d'outils informatisés nécessitera au contraire une grande attention à ces questions.
- Le choix d'une formation individuelle plutôt qu'en collaboration réduira le travail de définition des moyens de communication et de certains aspects scénarios d'apprentissage, par exemple les consignes des activités d'apprentissage qui seront moins élaborées.
- On utilisera la méthode différemment selon l'envergure ou la complexité du projet d'ingénierie pédagogique. Ainsi le développement d'un curriculum comportant plusieurs cours entraîne la construction d'un modèle des connaissances élaboré. Le devis se limite toutefois aux deux phases d'analyse et d'architecture, puis la démarche en six phases sera reprise pour chacun des cours. À l'opposé, une unité d'apprentissage de quelques heures permettra de procéder plus rapidement à travers ces deux phases.

Principes de progression dans les phases. Un cheminement dans la méthode étant choisi, il s'agit de le gérer en fonction des caractéristiques du projet. Voici quelques-uns des principes régissant la progression dans les phases. Ceux-ci découlent des principes présentés à la section 1.1 à partir de l'observation de travaux de conception.

- La démarche d'ingénierie pédagogique bien que structurée en phases, axes, tâches et activités, n'en est pas pour autant une démarche dont les activités se suivent en une séquence linéaire. Le processus de résolution de problèmes de conception procède davantage d'une démarche en spirale, par itérations successives.
- La démarche d'ingénierie pédagogique procède de l'abstrait vers le concret. On commence avec une définition abstraite des requis du futur système, établie lors de la définition du problème de formation en phase 1. Puis on précise cette définition en phase 2 au moyen de principes d'orientation. Dans les phases 3 et 4, le système prend forme définitivement par la production des éléments centraux des devis. La phase 5 consiste à valider les matériels et les environnements sur la base des devis.
- L'approche par livraisons, empruntée au génie logiciel, permet de réaliser le système d'apprentissage graduellement plutôt qu'en un seul bloc. On pourra ainsi subdiviser le processus de développement selon l'ampleur du projet et prévoir une phase préalable de prototypage. La notion de livraison encourage l'application du principe de développement par itération et la synchronisation du travail en équipe.

Ainsi, sur la base du plan de livraison (ÉD 340), on effectuera autant d'itération des phases 4 et 5 qu'il y a de livraisons, effectuant ainsi la conception, la réalisation et la validation des matériels, livraison par livraison.

- La définition des principes d'orientations de chacun des quatre devis favorise la cohérence du système d'apprentissage. Ces principes sont particulièrement utiles lorsque le développement s'étale sur plusieurs livraisons et implique la participation de plusieurs types de spécialistes et d'équipes multidisciplinaires. En général l'usage de ces principes facilite les communications entre les équipes en réduisant les erreurs dans la transmission des informations.

Principes de coordination entre les axes. Les processus correspondant aux axes de la méthode conduisent à la définition d'un des quatre devis de base du système d'apprentissage. Ces processus sont indépendants mais inter reliés.

- Le modèle des connaissances définit les connaissances et les compétences visées, déterminant ainsi le contenu du système d'apprentissage, c'est-à-dire les faits, les concepts, les procédures, les principes et les habiletés qui constituent l'objet des apprentissages. Dans la construction de ce modèle, il importe d'éviter de faire intervenir des considérations de démarche pédagogique, de choix médiatiques ou d'orientations de diffusion.
- Le traitement pédagogique permettra de décrire les événements et les unités d'apprentissage, comment ils interagissent et par quel cheminement l'apprenant acquerra les connaissances et les compétences visées. Le devis pédagogique est indépendant du choix des types de média et de support aux matériels pédagogiques à l'aide desquels l'apprenant effectuera ses apprentissages. Par exemple, un scénario d'apprentissage peut prévoir, comme instrument d'une activité, la simulation d'un phénomène par l'apprenant. On réservera au niveau de l'axe 3 les décisions à savoir si cette simulation se fait par un jeu de rôle, en laboratoire ou à l'aide d'un logiciel de simulation.
- Le traitement médiatique conduit au devis des différents matériels, lequel décrit leurs propriétés, leur structure interne et leur relation aux documents source qui portent le contenu d'apprentissage. Les modèles des matériels tiennent compte des devis des axes 1 et 2 et leur donnent une forme concrète en faisant appel à une variété de médias.
- La planification de la diffusion, permet de décider comment les matériels et les autres ressources (outils, moyens de communication, services et milieux de diffusion) seront rendus disponibles aux différents acteurs lors de l'utilisation du système d'apprentissage. Là encore, il importe de maintenir une certaine indépendance par rapport aux autres axes. Par exemple, dépendant de la qualité des dispositifs technologiques disponibles aux usagers, un même matériel pédagogique numérisé pourra être diffusé par la poste sur CD-ROM, téléversé à partir d'un serveur de média ou encore consulté directement sur l'Internet.
- Bien qu'indépendants et jouant des rôles différents dans un système d'apprentissage, connaissances, pédagogie, média, et dispositif de diffusion doivent être solidement coordonnés en vue de construire un système d'apprentissage qui atteint ses objectifs. Le modèle des connaissances joue un rôle unificateur important à cet égard. Un sous-modèle est associé à chaque unité d'apprentissage, définissant ainsi le contenu sur lequel vont porter les scénarios d'apprentissage. Ce contenu est ensuite distribué entre les instruments d'apprentissage utilisés dans les divers scénarios d'apprentissage, fournissant ainsi un contenu précis aux matériels pédagogiques regroupant ces instruments.

2.7 L'atelier ADISA

Un atelier distribué d'ingénierie d'un système d'apprentissage (ADISA), a été construit pour soutenir les utilisateurs de la méthode MISA. Il regroupe un ensemble d'outils inter reliés permettant de canaliser et de soutenir les efforts d'ingénierie pédagogique. Il facilite la consistance entre les produits de la méthode, ainsi que le contrôle de la qualité des diverses composantes d'un système d'apprentissage. À notre connaissance, ADISA est le premier système de support à l'ingénierie pédagogique intégrant la modélisation des connaissances et répondant aux exigences de l'ingénierie du téléapprentissage⁶.

ADISA est accessible via un navigateur web. Il permet de sélectionner l'un des 35 éléments de documentation de la méthode MISA, puis de construire un modèle MOT ou un formulaire décrivant les propriétés des objets d'un modèle MOT.

Les données inscrites par l'utilisateur dans le formulaire ou le modèle MOT d'un ÉD peuvent être transmises à un autre ÉD de différentes façons. ADISA cherche à créer un équilibre entre la propagation automatique des données et la propagation contrôlée par l'utilisateur. La propagation automatique est commode, car elle évite à l'utilisateur de réinscrire des données qu'il a déjà créées dans un autre ÉD. Sans la propagation automatique, l'usage de la méthode deviendrait vite fastidieux. Par contre la propagation automatique rend le travail en équipe plus difficile, car il peut y avoir conflit entre deux concepteurs, l'un travaillant à modifier des données sur lesquelles l'autre se base pour construire un autre ÉD. Cette situation obligerait alors les concepteurs à travailler l'un après l'autre plutôt qu'en parallèle, ce qui n'est pas l'idéal.

De plus dans certains cas, la propagation automatique n'est pas la meilleure façon de faire lorsque l'utilisateur est le mieux placé pour effectuer certains choix délicats. Par exemple, une tâche importante du concepteur consiste à regrouper tous les instruments apparaissant dans les scénarios pédagogiques des unités d'apprentissage, en un certain nombre de matériels pédagogiques (430). Pour aider le concepteur dans cette tâche, ADISA lui fournit un tableau regroupant tous les instruments apparaissant dans les graphes des scénarios pédagogiques (320) et les présente sur chacune des lignes du tableau. Les colonnes représentent les matériels à construire, définis par l'utilisateur. Cette interface lui permet ici de décider quels instruments seront regroupés et médiatisés dans un ou plusieurs matériels, en cochant les cases correspondantes. Il pourra par exemple regrouper toutes les informations de référence au contenu du cours, à la fois dans un site web et dans un manuel imprimé. Il s'agit là d'un autre type de propagation, de l'ÉD 320 à l'ÉD 430, sous le contrôle de l'utilisateur, le système lui offrant des sources d'information.

ADISA offre donc trois façons de propager les données d'un élément de documentation à un autre.

- La *propagation automatique* se fait sans intervention de l'utilisateur, les informations de l'ÉD source étant transmises directement dans un des champs du formulaire de l'ÉD cible.
- La *propagation de type source* consiste à transmettre les informations d'un ou plusieurs ÉD source, l'utilisateur choisissant celles qui seront intégrées dans l'ÉD cible.
- La *propagation de type information* consiste simplement à afficher les informations d'un ÉD source (par exemple le graphe d'un modèle) jugé particulièrement utile pour la construction de l'ÉD cible, l'utilisateur demeurant libre d'en tenir compte ou non.

6. D'autres systèmes de support au design pédagogique, tels que Designer's Edge ou Integreator sont basés sur des méthodes plus traditionnelles qui ne font pas appel à la modélisation des connaissances et ne couvrent que certaines dimensions de la conception des systèmes de téléapprentissage. L'atelier de génie didactique (AGD), l'ancêtre d'ADISA, intégrait la modélisation des connaissances, mais se limitait aux tâches identifiées dans la première version de la méthode, MISA 1.0. De plus, l'AGD était un système en mode local uniquement, ne supportant pas la conception à distance en équipe.

3. Des devis à l'environnement de téléapprentissage

La méthode MISA, soutenue par l'atelier ADISA permet de définir les plans et devis d'un environnement de téléapprentissage quelle que soit la plate-forme de formation à distance. Dans cette section, nous allons identifier les processus par lesquels ces plans et devis peuvent être utilisés pour créer les environnements d'apprentissage qui seront offerts aux acteurs d'un campus virtuel ou d'un centre virtuel d'apprentissage.

Nous avons décrit ailleurs le concept de Centre virtuel de téléapprentissage ainsi que le système Explor@ qui permet de construire et d'opérer de tels centres [Paquette 2001]. Dans un tel centre, chaque cours ou événement d'apprentissage est soutenu par un site Web intégrateur qui donne accès aux principaux matériels du cours. Chaque acteur dispose également d'un environnement qui regroupe les ressources (documents, applications, services, etc.) dont il a besoin pour exercer ses rôles.

Pour construire un tel centre et les systèmes d'apprentissage auxquels il donne accès, on utilisera les divers modèles élaborés en appliquant la méthode MISA. Les modèles des matériels (ÉD 432) serviront à construire le site Web intégrateur du cours et les matériels spécifiques auxquels ce site donnera accès. Les modèles de diffusion (ÉD 440) définiront les acteurs, leurs rôles et les ressources auxquelles ils auront accès dans leurs environnements. Le modèle des connaissances (ÉD 212) et le modèle pédagogique (ÉD 222/320) permettront de créer deux structures regroupant les ressources d'un acteur selon les connaissances et les compétences visées ou selon la structure des activités d'apprentissage. Ces structures seront accessibles par les usagers dans des outils de navigation leur permettant d'afficher une ressource, d'évaluer leur progression et de déterminer les gestes à poser dans l'environnement du cours.

3.1 Des modèles des matériels aux documents pédagogiques

Dans MISA, les modèles des matériels (ÉD 432) permettent de construire une représentation graphique de chacun des matériels utilisés dans un événement d'apprentissage (programme, cours, module, activité), y compris le modèle du site Web intégrateur tel que défini dans Explor@.

La figure 2 montre le modèle d'un tel site pour un des cours de la télé-université. Les rectangles représentent les composantes médiatiques (pages Web ou parties de pages) et les éléments médiatiques, plus petites composantes qui donnent accès à un contenu fourni par des documents sources (boîtes aux coins coupés) tel un clip vidéo, un graphe, un texte ou un hypertexte. Certains de ces documents sources peuvent être d'autres matériels qui pourront aussi être décrits au moyen d'un graphe semblable.

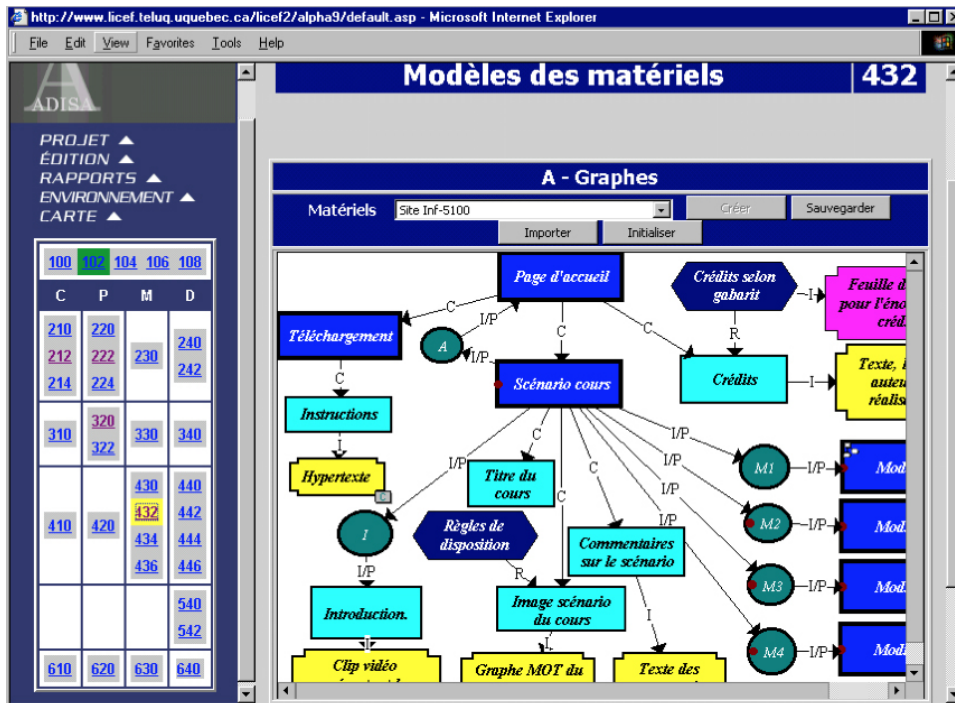


Figure 2 – Modèle d'un matériel de type « site web » dans ADISA

Dans un modèle d'un matériel, les cercles représentent les hyperliens permettant par exemple de passer d'une composante « scénario cours » vers les pages des modules, lesquelles seront à leur tour décrites de la même façon par des sous modèles. Quant aux hexagones, ils représentent des principes de disposition des éléments entre eux.

Lorsque ce modèle est complété par un concepteur pédagogique, il est transmis à l'équipe de réalisation qui produira le site web. Le modèle sert d'outil de communication entre ces divers spécialistes. Il aidera l'analyste informatique et le concepteur graphique à obtenir une vue d'ensemble précise et structurée des intentions de l'équipe de conception, ce qui fait souvent défaut dans beaucoup de projets. Le fait que le modèle soit conceptuel, c'est-à-dire dépouillé de format médiatique précis, permet au concepteur graphique et au programmeur d'intégration d'exercer leur propre créativité. L'expérience montre que les meilleurs sites résultent du respect des compétences respectives des membres d'une équipe de projet. Nous avons voulu faire en sorte que l'équipe de conception décide de la structure d'un matériel en tenant compte des connaissances à traiter et de l'approche pédagogique qu'elle a retenue, laissant à l'équipe de réalisation le soin d'établir des normes de médiatisation et de définir la forme que prendra l'interface usager.

3.2 Des modèles de diffusion aux environnements de ressources

Dans MISA, les modèles de diffusion (ÉD 440) fournissent les éléments nécessaires pour créer un ou plusieurs environnements regroupant les ressources nécessaires à un acteur. On pourra d'abord identifier les principaux acteurs dans un modèle de diffusion général : un ou plusieurs types d'apprenants, un ou plusieurs types de facilitateurs tels que formateurs, experts de contenus, gestionnaires, conseillers techniques, etc. On pourra ensuite élaborer un modèle de diffusion spécifique pour les acteurs pour lesquels on désire construire un environnement Explor@. La figure 3 nous montre un tel modèle destiné à des acteurs appelés ici « formateurs/tuteurs ».

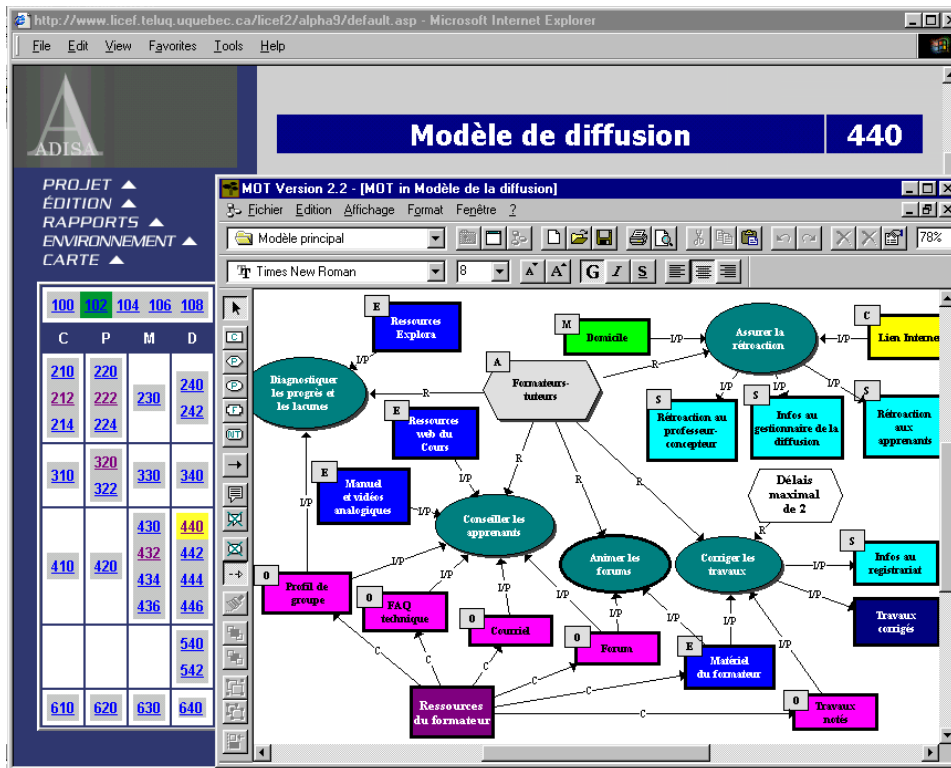


Figure 3 - Un modèle de diffusion dans ADISA pour un acteur de type formateur

Dans un modèle de diffusion, les acteurs sont représentés par des figures hexagonales et leurs rôles, tâches ou opérations, par des ovales. Les ressources dont ils ont besoin ou qu'ils produisent dans chaque opération sont représentées par des rectangles. L'acteur est relié à chacun de ses rôles par un lien R qui signifie « régit » ou « est responsable de ». Les ressources sont liées par un lien I/P intrant à un rôle où elles seront utilisées ou par un lien I/P sortant du rôle vers une ressource fournie ou produite par l'acteur responsable du rôle.

Dans l'exemple de la figure 3, l'acteur formateur tuteur doit produire une évaluation des travaux. Il doit aussi transmettre plusieurs types de rétroactions : à l'apprenant quant à ses progrès, au registraire quant aux notes obtenues par les apprenants et, enfin, au professeur concepteur et au gestionnaire de la formation quant à la qualité du cours et de son déroulement à la fin de chaque session.

Ce modèle de diffusion pour l'acteur formateur/tuteur présente les ressources auxquelles il devra avoir accès pour remplir ses rôles. Outre le site et les matériels identiques à ceux disponibles aux apprenants, le formateur-tuteur aura besoin plus spécifiquement d'un outil « profil de groupe » qui l'aidera à diagnostiquer les lacunes des apprenants et à les conseiller. Pour conseiller les apprenants, il aura besoin également d'un outil lui permettant de maintenir une foire aux questions, d'un outil courriel et d'un outil de forum. À l'aide de ce dernier outil, il pourra également agir comme animateur d'un groupe de discussion. Il aura aussi besoin d'un outil appelé « Travaux notés » pour récupérer et évaluer les travaux des apprenants. Enfin, pour l'ensemble de ses tâches, il aura à sa disposition un lien Internet qu'il utilisera de son domicile.

3.3 Du modèle pédagogique à l'arborescence des activités⁷

Le modèle pédagogique décrivant la structure des événements d'apprentissage, des cours, des unités d'apprentissage des activités et des ressources à utiliser ou à produire est aussi nécessaire si on veut évaluer la progression d'un apprenant et lui faire des recommandations en fonction du chemin qu'il a parcouru.

En regroupant le RÉA (222) et les scénarios pédagogiques (320) tels que celui de la figure 4, on peut construire l'une des deux arborescences utilisées par Explor@, soit la *structure pédagogique*. Pour ce faire, on utilise la structure du RÉA en suivant les liens C jusqu'aux UA, puis on continue le développement de l'arborescence en utilisant, les scénarios pédagogiques. Pour ce faire, on décompose chaque UA en activités provenant de son scénario pédagogique puis, sous chaque activité, on énumère les ressources intrant et les productions liées à cette activité.

À partir de la structure pédagogique ainsi construite, on associera dans Explor@, des niveaux de progression aux unités pédagogiques qui la composent. En utilisant ce modèle de progression d'un usager, le système Explor@ sera en mesure de présenter à l'apprenant un bilan de ses activités et lui fournir des conseils pour l'aider dans son cheminement dans les événements d'apprentissage. Le formateur pourra également utiliser ce bilan dans ses interventions auprès des apprenants.

En transformant le modèle pédagogique construit dans MISA sous la forme d'une structure arborescente, on perd bien sûr une partie de l'information, notamment les liens de précédence entre les unités d'apprentissage, ainsi que les préalables entre les activités dans les scénarios pédagogiques. Voilà pourquoi une prochaine version du système Explor@ utilisera directement le format graphique de la figure précédente pour donner accès aux activités et aux ressources.

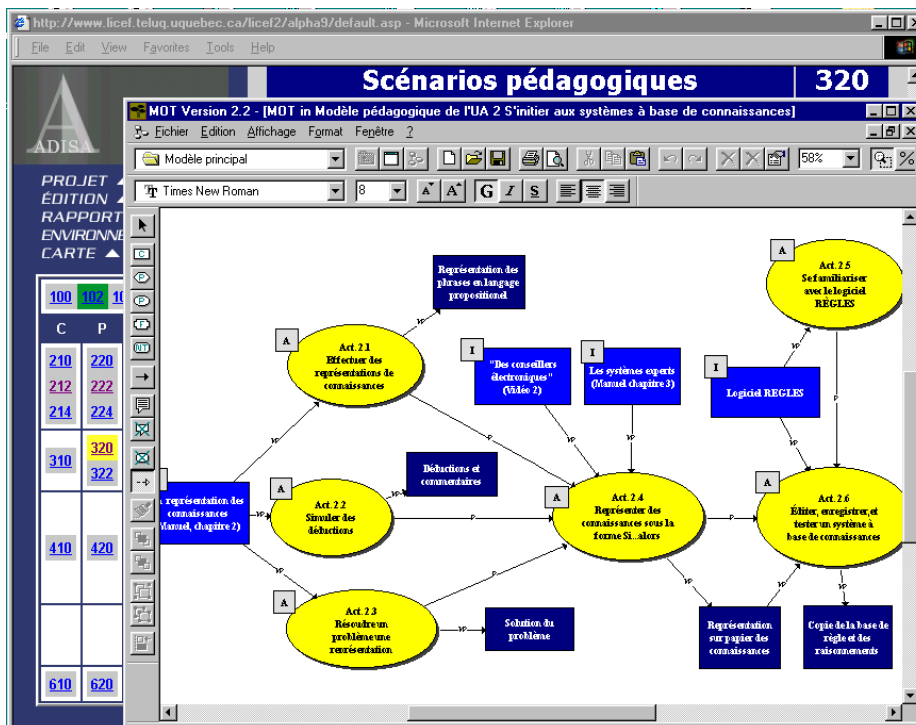


Figure 4 – Exemple d'un scénario pédagogique d'une unité d'apprentissage

7. Les exemples présentés dans cette section sont extraits d'un cours universitaire conçu par l'auteur et dont la version web est actuellement en diffusion à la Télé-université : INF 5100 – L'intelligence artificielle.

3.4 Du modèle des connaissances à l'arborescence des contenus

L'utilisation du modèle pédagogique pour produire un bilan de progression dans les activités ne permet pas de savoir si un apprenant a acquis les connaissances et les habiletés visées. Pour se faire, il faut utiliser un modèle des connaissances comme celui de la figure 5.

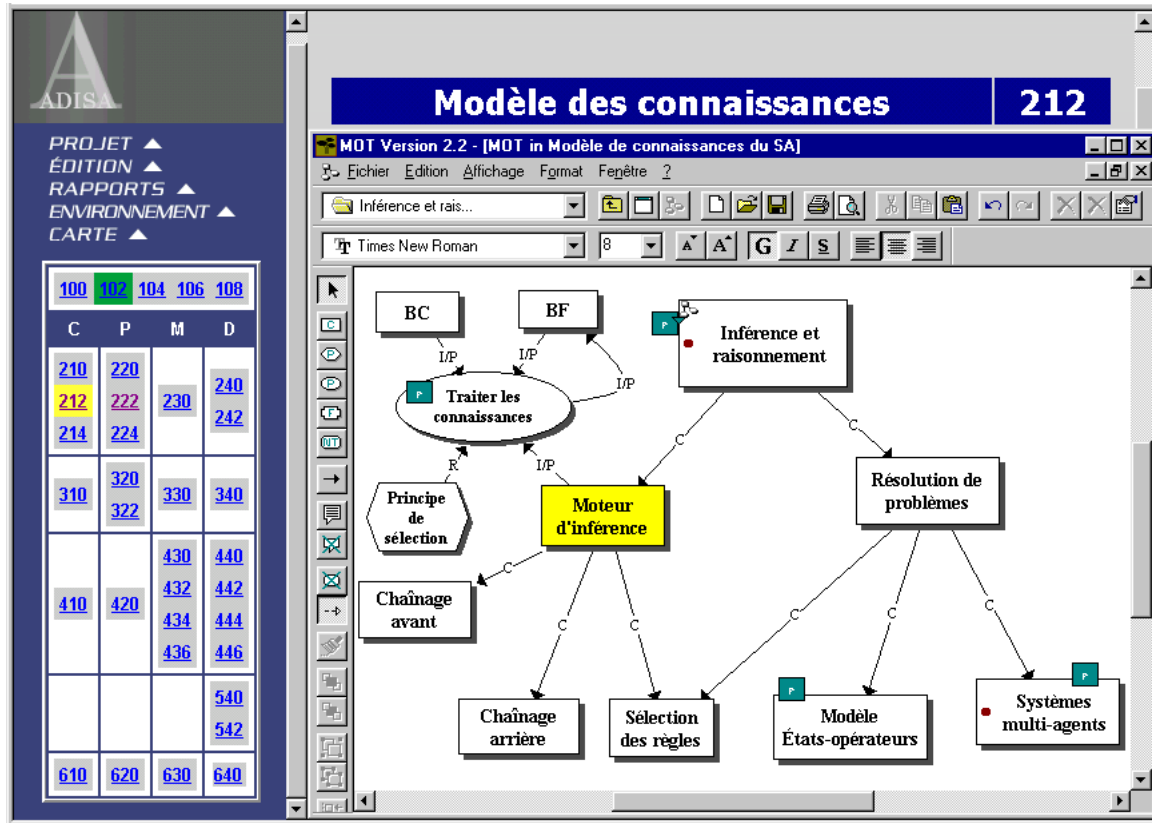


Figure 5 - Une partie du modèle de connaissance d'un cours

Le modèle des connaissances n'épouse pas en général la même forme que la structure pédagogique. Par exemple, un cours peut être subdivisé en trois unités d'apprentissage qui couvrent toutes trois l'ensemble du modèle des connaissances, par exemple une présentation, un projet et une discussion de groupe portant sur l'ensemble de la matière.

Le passage du modèle de connaissance principal (212) et de ses sous-modèles (310, 410) à la structure cognitive (SC) d'Explor@ n'est pas aussi direct que dans le cas de la structure pédagogique. Dans ce cas-ci, on ne s'occupera que des connaissances principales pour lesquelles on a défini une compétence visée, permettant à l'apprenant et/ou à un évaluateur externe d'évaluer les progrès des apprentissages.

La figure 5 ne montre qu'une partie de ce modèle sur lequel les connaissances principales identifiées par le symbole P. Dans Explor@, on utilisera la structure cognitive pour définir, là aussi, des niveaux de progression dans l'acquisition de chaque connaissance apparaissant dans cette arborescence, ainsi que des critères permettant de déterminer quel niveau un apprenant a atteint à un moment donné.

Globalement, le modèle des connaissances et le modèle pédagogique fournissent une base pour construire un modèle de l'usager. Celui-ci regroupe à la fois les niveaux de progression quant aux activités réalisées

(SP) et le niveau atteint dans l'acquisition des connaissances acquises (SC). Ce modèle de l'usager permettra à un concepteur, utilisant par exemple un système ouvert comme Explor@, d'intégrer à l'environnement de téléapprentissage divers outils « intelligents » tels un bilan des connaissances et des compétences, un profil de groupe à l'intention du formateur ou un système conseiller. Ces outils pourront ensuite être intégrés dans les environnements Explor@ d'un acteur en fonction des rôles qu'il joue, tel que défini dans le modèle de diffusion.

4. Perspectives sur l'ingénierie pédagogique

Pour conclure ce chapitre, nous mettons en évidence les principes d'utilisation de la méthode MISA que nous privilégions, puis nous situons cette théorie prescriptive en regard des théories de l'apprentissage, des théories de l'enseignement et des modèles pédagogiques qui résultent des travaux en éducation.

4.1 Une théorie prescriptive pour MISA

Rappelons d'abord certaines définitions. Une *théorie* regroupe un ensemble de concepts et de principes régissant ces concepts. Les principes se partagent en deux groupes : les *définitions* qui énoncent des propriétés des concepts, eux-mêmes des classes d'objets, et les *lois* qui sont des *principes relationnels* affirmant que si certaines propriétés de concepts de la théorie (les conditions) sont satisfaites, d'autres propriétés (les résultats) se produisent. Une théorie est *descriptive* si ses principes relationnels n'impliquent aucune intervention externe. Une théorie est *prescriptive* si ses principes relationnels affirment que, dans certaines conditions, certaines interventions favorisent l'apparition de tel résultat; *par exemple, si on chauffe un bocal d'eau suffisamment longtemps et avec suffisamment d'énergie, alors la température de l'eau commence à dépasser 100°C et l'eau commence à s'évaporer.*

Cette distinction est importante, car elle met en évidence le fait que les théories prescriptives ont un rôle directeur par rapport à une méthode comme MISA, lui fournissant des principes d'opération. Par exemple en chimie, une théorie prescriptive des gaz, contrairement à une théorie descriptive, s'intéressera aux interventions (la modification des propriétés) sur l'environnement qui permettront de produire certains effets dans certaines conditions. Elle peut donc fournir des principes d'opération pour une méthode scientifique applicable à la chimie des gaz.

Le tableau 2 présente une synthèse des principaux principes d'ingénierie pédagogique que nous proposons pour l'utilisation de la méthode MISA. Ces principes sont classifiés selon quatre grandes fonctions qui doivent être présentes dans un système d'apprentissage complet, soit l'autogestion, le traitement de l'information, la collaboration et l'assistance.

Auto-gestion et Métacognition	Traitement de l'information
<p>1. Les connaissances d'une unité d'apprentissage doivent être de granularité moyenne ou large et structurées par des liens précis.</p> <p>2. Les connaissances d'une unité d'apprentissage doivent être reliées à des habiletés qui permettent de définir des compétences cibles.</p> <p>3. Le scénario d'apprentissage doit être décrit sous la forme d'un processus de traitement de l'information, correspondant aux habiletés à exercer.</p> <p>4. Le scénario doit en général être ouvert, à cheminements multiples pour permettre à l'apprenant de l'autogérer.</p> <p>5. Le scénario doit être adaptable par l'apprenant et/ou un formateur.</p> <p>6. Le devis pédagogique doit intégrer explicitement des activités et des outils de support à l'autogestion et à la métacognition.</p>	<p>7. Les scénarios d'apprentissage doivent proposer des ressources d'information riches et diversifiées.</p> <p>8. Suffisamment de ressources d'information doivent présenter des fonctionnalités de communication bi-directionnelle.</p> <p>9. Les activités d'apprentissage doivent proposer des objectifs bien définis en relation avec les compétences cibles de la formation.</p> <p>10. Le système d'apprentissage doit offrir des outils de recherche, d'annotation et de structuration des informations.</p> <p>11. Le système d'apprentissage doit offrir des outils de production de l'information adaptés aux tâches de chaque activité.</p>
Collaboration	Assistance
<p>12. Dans les scénarios d'apprentissage, les activités collaboratives doivent soutenir et prolonger les activités individuelles et vice versa.</p> <p>13. Le modèle de collaboration doit être adapté au processus de traitement de l'information caractérisant un scénario d'apprentissage.</p> <p>14. Le modèle de collaboration doit alterner activités synchrones et asynchrones tout en privilégiant les interactions asynchrones.</p> <p>15. Le modèle de collaboration doit prévoir des activités et des outils spécifiques d'organisation et de gestion.</p>	<p>16. Les interactions d'assistance doivent correspondre à des principes régissant le processus générique proposé par le scénario d'apprentissage.</p> <p>17. Il faut prévoir des scénarios d'assistance à facilitateurs multiples : formateurs, experts de contenu, apprenants pairs, fichiers et agents informatiques.</p> <p>18. L'assistance devrait être offerte de façon parcimonieuse, surtout à l'instigation de l'apprenant.</p> <p>19. Le type de guidage offert par le système d'apprentissage devrait être surtout heuristique, méthodologique, plutôt que donnant des indices sur le contenu.</p>
En général	
<p>20. Le système d'apprentissage doit assurer une cohérence entre les connaissances et les compétences visées et, d'autre part les devis pédagogiques, médiatiques et de diffusion qui visent à en assurer l'acquisition.</p>	

Tableau 2 – Les prescriptions de la méthode MISA

Notre propos n'est pas ici de justifier ces principes, ce qui déborderait le cadre de ce chapitre, mais de souligner qu'ils constituent une théorie prescriptive soutenant l'utilisation de la méthode d'ingénierie de systèmes d'apprentissage (MISA).

4.2 MISA et les théories de l'apprentissage

Une autre distinction importante dans notre cas doit être faite entre les théories de l'apprentissage et les théories de l'enseignement dont l'ingénierie pédagogique. Ces dernières sont en général des théories prescriptives car elles s'intéressent à des principes d'intervention favorisant l'apprentissage. Au contraire,

les théories de l'apprentissage sont en général descriptives car elles visent à comprendre les phénomènes psychologiques et sociologiques de l'apprentissage en établissant des relations entre diverses propriétés du fonctionnement intellectuel et social.

Il va de soi que les théories et les méthodes de design ou d'ingénierie pédagogique sont influencées par les théories de l'apprentissage. Rappelons que le développement des théories de l'apprentissage a été marqué par la psychologie du comportement ou behaviorisme, la psychologie structuraliste, la psychologie humaniste, la psychologie cognitive et plus récemment par le constructivisme et le socioconstructivisme. En fait, on assiste, depuis les années 1950, à une évolution où l'emphase passe de l'analyse des comportements externes résultant de l'apprentissage, aux schémas et aux processus mentaux responsables de ces comportements. Cette évolution a des conséquences importantes pour la formation et inspire maintenant la plupart des théories de l'enseignement.

La méthode MISA favorise-t-elle l'application d'une théorie de l'apprentissage plutôt qu'une autre? Et du point de vue de l'acteur concepteur, est-elle constructiviste, cognitiviste ou behavioriste? Nous allons tenter d'apporter une réponse à ces questions.

Signalons tout d'abord qu'une méthode peut difficilement se restreindre à une théorie de l'apprentissage; elle peut simplement la favoriser jusqu'à un certain point ou la décourager. C'est ainsi que beaucoup de méthodes anciennes de design pédagogique et, plus récemment des « méthodes » sommaires intégrées dans des systèmes auteurs de « e-learning », contiennent implicitement des démarches de conception plutôt à l'opposé des principes présentés à la section précédente : découpage hiérarchique de la matière aboutissant en une liste de sujets restreints sans liens explicites, objectifs terminaux précis servant à tester de petites granules de connaissance, séquences linéaires d'activités, emphase sur des scénarios de type présentation/exercices/test. Voilà qui ressemble davantage à une approche behavioriste que cognitiviste ou constructiviste.

D'autre part, on peut tout aussi bien, même si ce n'était pas notre intention en la créant, utiliser une méthode comme MISA pour construire des systèmes d'apprentissage semblables à celui décrit au paragraphe précédent. Mais on peut surtout l'utiliser pour construire d'autres systèmes d'apprentissage satisfaisant toute la gamme des principes cognitivistes, du néo-behaviorisme jusqu'au constructivisme le plus pur. En fait, nous nous sommes donné beaucoup de mal, dans presque chaque tâche de la méthode, pour placer le concepteur devant une variété de choix : types de modèles de connaissances, taxonomie complète des habiletés, types de RÉA et de scénarios pédagogique, etc. L'accent mis sur la modélisation des connaissances à l'aide de schémas, ainsi que la variété des types de modèles de diffusion, entre autres, illustrent les possibilités de la méthode, aussi bien dans des contextes formels de formation, que pour la construction de systèmes d'inspiration constructiviste dans lesquels l'émergence des scénarios, des objectifs et des compétences devient la responsabilité première des personnes en apprentissage. En ce sens, oui, MISA est une des rares méthodes complètes et opérationnelles qui favorise des solutions basées sur des principes cognitivistes ou constructivistes.

Du point de vue du concepteur également, si on la compare à d'autres méthodes, MISA adopte une approche organique plutôt que mécaniste : variété et adaptabilités des cheminements, scénarios de conception sous le contrôle total du concepteur; évaluation formative intégrée aux phases de la méthode, possibilité de construction et de reconstruction des modèles, assistance à la cohérence des produits.

4.3 MISA et les théories et modèles d'enseignement

Dans son ouvrage synthèse, Reigeluth⁸ regroupe plusieurs théories de l'enseignement présentées chacune par leurs auteurs. Certaines de ces théories sont également présentées et comparées dans [Romiszowski 1981]⁹.

La comparaison de neuf théories avec la théorie de l'enseignement de MISA fait ressortir des principes rejoignant assez bien ceux présentés à la section 4.1, bien qu'avec des accents et une terminologie différente [Paquette 2002]. À titre d'exemples :

- La *théorie du component display de Merrill* met l'accent sur l'identification des types de connaissances et d'habiletés, ce qui correspond dans MISA à la modélisation des connaissances et des compétences (212-214), puis sur la sélection des stratégies et des tactiques pédagogiques en fonction d'une grille contenu/habilité (320-322-420). La séparation entre axes des connaissances et stratégies pédagogiques est également un point commun avec MISA.
- La *théorie de l'élaboration de Reigeluth* met l'accent sur une modélisation progressive des connaissances et l'usage des représentations graphiques, ce qui correspond au développement d'une modèle par sous modèles dans MISA et leur association subséquente aux unités d'apprentissage et aux instruments(212, 310, 410).
- L'*apprentissage par investigation de Collins et Stevens* privilégie des scénarios par études de cas et analogie ou par induction et découverte guidée.
- Enfin, les *principes andragogiques de Knowles* peuvent être concrétisés lors de l'énoncé des principes d'orientation pédagogique (220), notamment quant à l'auto-évaluation par les apprenants, puis par le choix des activités et des instruments de scénarios d'apprentissage par études de cas, par découverte guidée ou par résolution de problèmes ou réalisation de projets(320-322-420).

Par ailleurs, on retrouve dans la littérature le concept de « modèle pédagogique » dans un sens un peu différent de celui que nous avons utilisé ici. Les « modèles pédagogiques » regroupent un ensemble de principes opérationnels plus spécifiques que les théories d'enseignement, mais qui ont trait principalement à la définition d'un scénario pédagogique et de ses différentes composantes. Un ouvrage synthèse largement utilisé par les praticiens et les consultants en formation [Joyce et Weil 1980], part de l'hypothèse qu'aucun modèle pédagogique ne peut s'adresser à toutes les formes ou à tous les styles d'apprentissage. On y présente donc un répertoire de vingt-cinq modèles classifiés en quatre groupes, selon qu'ils sont axés sur le traitement de l'information, une approche personnaliste, sociale ou comportementale. Le premier groupe s'inspire généralement des théories cognitivistes de l'apprentissage, le deuxième groupe, de la psychologie humaniste, le troisième groupe de l'apprentissage social et le quatrième groupe de la psychologie behaviouriste.

Chacun de ces modèles est décrit par Joyce et Weil au moyen de cinq composantes :

1. La *démarche* (« the syntax ») qui est décrite comme une suite d'activités appelées phases, chaque modèle possédant une démarche différente par phases.
2. Le *système social*, c'est-à-dire les rôles et les interrelations entre apprenants et formateurs. Notamment le degré d'initiative de l'apprenant et la collaboration entre apprenants.
3. Les *principes de réaction*, soit la façon dont le formateur doit analyser l'activité de l'apprenant pour définir ses interventions.

8. (Reigeluth 1983) op cit. Dans un ouvrage plus, récent, l'éditeur inclut de nouvelles théories.

9. (Romiszowski 1981) op. cit. pp. 165-186.

4. Le *système de support*, nécessaire à l'existence du modèle, par exemple les qualités requises pour le rôle du formateur et les types de matériels, d'outils et de moyens de communication.
5. Les *effets directs et indirects*, c'est-à-dire les apprentissages visés ou implicites qu'ils favorisent.

Comme on peut le constater, on retrouve ici ce que d'autres qualifient de stratégie pédagogique. Dans MISA, nous décrivons progressivement ces divers éléments d'abord dans les orientations pédagogiques (220), puis dans les scénarios d'apprentissage et d'assistance (320) et leurs consignes d'activités (322). Le système de support est défini principalement en énonçant les orientations médiatiques (230) et par le choix des matériels (430), ainsi qu'en spécifiant les orientations de diffusion (240) et la description des acteurs et des ressources (442-444-446). Quant aux effets directs et indirects, ils sont plutôt représentés par l'énoncé des compétences visées (214) et servent à choisir les autres éléments du modèle. Dans le contexte de MISA, les modèles pédagogiques se présentent comme une bibliothèque de spécifications inter reliées qui concrétisent une théorie de l'enseignement.

4.4 Validation de la méthode

Outre les considérations théoriques qui précèdent, il importe de valider une méthode comme MISA sur le terrain dans une variété de contextes et d'usage.

L'objectif de l'ingénierie pédagogique est favoriser la production de plans et de devis de qualité pour un système d'apprentissage. Elle doit pouvoir améliorer la qualité du travail des concepteurs mais elle ne peut promettre la qualité de leurs productions, laquelle dépend de la façon dont on utilise la méthode et des choix faits par les concepteurs et ensuite médiatisés et utilisés par leurs usagers finaux. Autrement dit, ce qu'on doit évaluer, ce ne sont pas les habiletés de conduite automobile du conducteur d'un véhicule, mais la qualité du véhicule et la façon dont il se comporte en fonction des objectifs du conducteur et de son niveau d'expertise.

Aussi les données de validation de la méthode doivent-elles se situer à un niveau « méta » par rapport au SA. Les productions des usagers de la méthode font évidemment partie de ces métadonnées, mais pas nécessairement l'évaluation du SA lorsque réalisé, implanté et utilisé par les apprenants et les formateurs. Ce qui est central ici, c'est d'inclure dans les méta données de validation des traces de la démarche des concepteurs, leurs objectifs initiaux et les produits qu'ils ont réalisés, leurs évaluations en regard de l'utilisation de la méthode, ainsi que l'évolution de leurs compétences d'ingénierie pédagogique suite à l'utilisation de la méthode.

Ce dossier de validation doit ensuite être analysé, ce qui nous conduit à des améliorations de la méthode et de ses outils, voire à une reformulation plus ou moins étendue de ses produits, de ses processus et de ses principes.

Nous avons fait plusieurs itérations de ce type qui nous ont conduit de MISA-1 à MISA-2 (1994-1996), de MISA-2 à MISA-3 (de 1996 à 1998) et, plus récemment à la méthode MISA-4 et à l'atelier ADISA présentés dans ce chapitre. Ce processus se poursuit actuellement, la méthode et l'atelier étant utilisés dans des travaux d'ingénierie pédagogique diversifiés, notamment la ré ingénierie et l'ingénierie de cours sur Internet à la Télé-université, l'ingénierie de formation technologies dans des professionnels ou chez des techniciens d'une grande entreprise, l'élaboration d'un environnement programme pour une école de virtuelle de technologie de l'information regroupant quatre universités ou écoles constitutives de l'Université du Québec.

Conclusion

Quelles seront les prochaines étapes? Nous avons souligné que la construction progressive d'une méthode d'ingénierie pédagogique part de la pratique et y revient inévitablement. En même temps, elle doit prendre du recul par rapport à la pratique et être validée par celle-ci en terme d'utilisabilité et de productivité.

Or la pratique de l'ingénierie pédagogique est un processus méconnu, exigeant et soumis à de multiples contraintes.

Il est méconnu, comme nous le constatons régulièrement, parce que la majorité des concepteurs de cours ou de programmes sont la plupart du temps des experts de contenu ayant consacré l'essentiel de leur formation, de leurs réflexions et de leurs énergies à maîtriser le contenu de leur discipline. Ils ont aussi une longue habitude de la formation dans un contexte qu'ils ont tendance à reproduire. Comme clients de la formation, ils sont constamment devant des exemples d'experts de contenu qui croient suffisant de présenter la matière, de répéter et d'expliquer pour que l'apprentissage se réalise. On accepte volontiers que la construction d'un pont, d'un diagnostic médical ou d'un système informatique puisse être un processus complexe, mais on est en général surpris de la complexité des démarches menant à la construction d'un système d'apprentissage. C'est que l'ingénierie pédagogique est une entreprise parfois difficile, surtout lorsqu'on tente de prévoir une diversité de situations et d'envisager le domaine avec suffisamment de généralité comme nous l'avons fait ici.

Par ailleurs, cette entreprise est rendue plus difficile par les nombreuses contraintes dans lesquelles les concepteurs doivent opérer : contraintes de temps, de budget, de disponibilité des sources d'information, de distance entre le moment de la conception et l'utilisation du système d'apprentissage. Par exemple, en entreprise, les concepteurs se font constamment demander de préparer en quelques jours une formation à donner à des centaines d'employés sur de nouveaux produits, de nouvelles méthodes ou de nouveaux outils, dont le choix et l'élaboration se sont étalés sur plusieurs mois et parfois plusieurs années. On demande à des professeurs de tous les niveaux d'enseignement, de construire des cours utilisant les technologies de l'Internet et du multimédia avec un minimum de ressources financières et de support technique. On sous-estime les difficultés inhérentes à l'utilisation répétées d'un environnement d'apprentissage sur plusieurs années avec une clientèle, un contenu et des outils technologiques qui évoluent et se modifient constamment.

Ces problèmes bien réels nous invitent à orienter nos futurs travaux vers la prise en compte de la diversité des situations d'ingénierie et des exigences de qualité et de productivité, vers l'amélioration de l'assistance donnée aux concepteurs par la méthode et l'atelier et finalement, vers le support aux administrateurs et aux concepteurs dans l'implantation d'une méthode d'ingénierie pédagogique dans une organisation donnée.

Bibliographie

- Aubin, C. et F. Crevier. (1995) *Rapport d'expérimentation et recommandations*. Document interne. Centre de recherche LICEF. Télé-université. Montréal, 90 pages.
- Aubin, C., F. Crevier et G. Paquette (1995) *Méthode d'ingénierie didactique – Document de référence*. Document interne. Centre de recherche LICEF. Télé-université. Montréal, 133 pages.
- Ausubel, D. P. (1968) *Educational Psychology; A cognitive view*. New York, Rhinehart & Winston, 1968.
- Bouchy, S. (1994) *L'ingénierie des systèmes d'information évolutifs*. Eyrolles, Paris 1994, 330 pages.

- Bruner, J.S. (1966). *Towards a Theory of Instruction*. Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- Collins, A. A.L. & Stevens (1983) A cognitive theory of inquiry teaching. In (C. Reigeluth Ed) *Instructional Theories in Action: Lessons Illustrating Selected Theories and Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum, pp 247-278, 1983.
- Crevier, F. (1996) *Conception et validation d'une méthode d'ingénierie didactique*. Thèse de doctorat. Sciences de l'Éducation, Université de Montréal, 1996.
- Dewey, J. (1900) Psychology and social practice. *The psychological Review*. 1900, 7, pp 105-124.
- Gagné, R. M. (1970) *The conditions of learning (2nd ed.)* New York, Holt, Rhinehart & Winston, 1970.
- Girard, J., G. Paquette, A. Miara et K. Lundgren. Intelligent Assistance for Web-based TeleLearning. In S. Lajoie and M. Vivet (Eds), *AI in Education – Open Learning Environments*, IOS Press, 1999.
- Goel, V. et P. Pirolli (1989). "Design within Information-Processing Theory: The Design Problem Space", *AI Magazine*, Spring 1989: 19-36.
- Landa, L. (1976) *Instructional regulation and control: Cybernetics, algorithmization, and heuristics in education*. Englewood Cliffs, N. J.: Educational Technology Publications, 1976.
- Lemoigne, J.L. (1995) *Les épistémologies constructivistes*. PUF, Que sais-je? 127 pages, 1995.
- McGraw, K.L. et K. Harbisson-Briggs. (1989) *Knowledge Acquisition*. Prentice-Hall, 1989, 376 pages.
- Merrill, M.D. (1983) Component Display Theory. In (C. Reigeluth Ed) *Instructional Theories in Action: Lessons Illustrating Selected Theories and Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum, pp 279-333, 1983.
- Merrill, M.D. (1994) *Principles of Instructional Design*. Educational Technology Publications, Englewood Cliffs, New Jersey, 465 pages, 1994.
- Newell, A & H. Simon (1972) *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NF: Prentice-Hall, 1972.
- Montessori, M. (1958) *Pédagogie scientifique* (5ème édition). Desclee De Brouwer, 1958 et The Montessori Method, New York : Schocken Books, 1964.
- Paquette, G., F. Crevier et C. Aubin. (1994) ID Knowledge in a Course DesignWorkbench. *Educational Technology*, USA, volume 34, n. 9, pp. 50-57, November 1994.
- Paquette, G. (1996). La modélisation par objets typés: une méthode de représentation pour les systèmes d'apprentissage et d'aide à la tâche. *Sciences et techniques éducatives*, France, pp. 9-42, avril 1996.
- Paquette, G., C. Aubin et F. Crevier (1999) MISA, A Knowledge-based Method for the Engineering of Learning Systems, *Journal of Courseware Engineering*, vol. 2, August 1999.
- Paquette, G., I. de la Teja, et A. Dufresne, (2000). *Explora: An Open Virtual Campus*. Actes de la conférence ED-Media 2000, Montréal 2000.
- Paquette, G. (2000) Construction de portails de téléapprentissage Explor@ - Une diversité de modèles pédagogiques. *Science et Techniques Educatives* 7(1), 207-226, 2000.
- Paquette, G. (2001) TeleLearning Systems Engineering – Towards a new ISD model, *Journal of Structural Learning* 14, pp. 1-35, 2001.

- Paquette, G. (2001) Designing Virtual Learning Centers. In H. Adelsberger, B. Collis, J. Pawlowski (Eds) *Handbook on Information Technologies for Education & Training*, within the Springer-Verlag series "International Handbook on Information Systems", pp. 249-272.
- Paquette, G. (2002) *L'ingénierie pédagogique, pour construire l'apprentissage en réseau*. Presses de l'Université du Québec, 2002, 457 pages.
- Paquette, G. (2002) *La modélisation des connaissances et des compétences, pour concevoir et apprendre*. Presses de l'Université du Québec, 2002, 352 pages.
- Reigeluth, C.M & C. A. Rodgers (1983). The elaboration theory of instruction: Prescriptions for task analysis and design. *NSPI Journal*, 1980, 19(1), pp. 16-26. Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum, 487pp, 1983.
- Romiszowski, A. J. (1981) *Designing Instructional Systems*. Kogan Page London/Nichols Publishing, New York, 415 pages, 1981.
- Scandura, J.M. (1973) *Structural Learning I: Theory and Research*. London/New York: Gordon & Breach Science Publishers, 1973.
- Simon, H.A. (1981) *The sciences of the artificial*. The MIT press, Cambridge Mass. 1981; traduction française: Sciences des systèmes, sciences de l'artificiel, Paris, Dunod, 1990.
- Skinner, B.F. (1954) The science of learning and the art of teaching. *Harvard Educational Review*, 1954, 24(2), pp. 86-97.
- Spector, J.M., M.C. Polson et D.J. Muraida (1993) (Eds) *Automating Instructional Design, Concepts and Issues*, Educational Technology Publications, Englewood Cliffs, New Jersey, 364 pages, 1993.
- Tennyson, Robert D. (1990) Cognitive Learning Theory Linked to Instructional Theory. In *Journal of Structural Learning*, Vol. 10(3): 249-258, 1990.
- Wenger, E. (1987) *Artificial Intelligence and Tutoring Systems- Computational and Cognitive Approaches to the Communication of Knowledge*. Morgan-Kaufmann Pub. Co, 1987, 486 pages.

Gilbert Paquette est titulaire de la chaire de recherche du Canada en ingénierie cognitive du téléapprentissage et Directeur du Centre interuniversitaire de recherche sur le télé-apprentissage (CIRTA). Il est aussi chercheur au Centre de recherche LICEF de la Télé-université qu'il a fondé en 1992. À l'origine de plusieurs projets de recherche-développement stratégiques dans les domaines de la gestion des connaissances, de l'ingénierie pédagogique et de la formation à distance, il a publié trois livres et plusieurs articles scientifiques dans ces domaines. Il a aussi fondé une entreprise, Micro-Intel (1987-1991) et a servi comme Ministre de la Science et de la Technologie du Québec (1982-1984).
