

# METHODE D'INGENIERIE D'UN SYSTEME D'APPRENTISSAGE (MISA)

Gilbert PAQUETTE, Françoise CREVIER et Claire AUBIN

Centre de recherche LICEF  
Télé-université  
1001 Sherbrooke est, Montréal (Québec), H2L 4L5  
Tél. : 514.522.3540  
Courriel : licef@teluq.quebec.ca

## Résumé

La méthode d'ingénierie des systèmes d'apprentissage (MISA) vise à appliquer des principes des sciences cognitives au domaine du design pédagogique. Représentée par un modèle qui décrit de façon structurée et graphique ses processus, ses produits et ses principes, MISA vise à produire un système d'apprentissage qui se caractérise par trois modèles : un modèle des connaissances, objets de l'apprentissage ; un modèle pédagogique spécifiant les processus ou scénarios d'apprentissage et de formation ; un modèle médiatique définissant les matériels pédagogiques et les infrastructures technologiques et organisationnelles qui supportent l'apprentissage. La méthode présentée ici résulte d'un effort de cinq ans qui a permis de produire une première version de la méthode incarnée dans un atelier informatisé. Cette méthode a ensuite été validée auprès d'une dizaine d'organisations, puis elle a été reconstruite en fonction des résultats des observations recueillies lors de ces validations.

## 1. Introduction : le design pédagogique, un problème d'ingénierie

La méthode MISA présentée ici vise à décrire de façon systématique un processus, appelé généralement "design pédagogique", lequel permet de concevoir, de réaliser et de mettre en place des systèmes d'apprentissage. La Figure 1 illustre le domaine couvert par la méthode MISA. Le design pédagogique est un processus complexe au niveau des communications humaines, car il implique l'apport de divers spécialistes : spécialistes du contenu faisant l'objet d'apprentissage, spécialistes du domaine de la

pédagogie, spécialistes des médias et spécialistes de la gestion.

Mais c'est d'abord et avant tout un processus complexe de résolution de problèmes tel que défini en sciences cognitives [Newell et Simon, 1972] , et parfois étudié comme tel en sciences de l'éducation [Romiszowski 1981; Reigeluth 1987, Tennyson 1988; Merrill et al 1992].

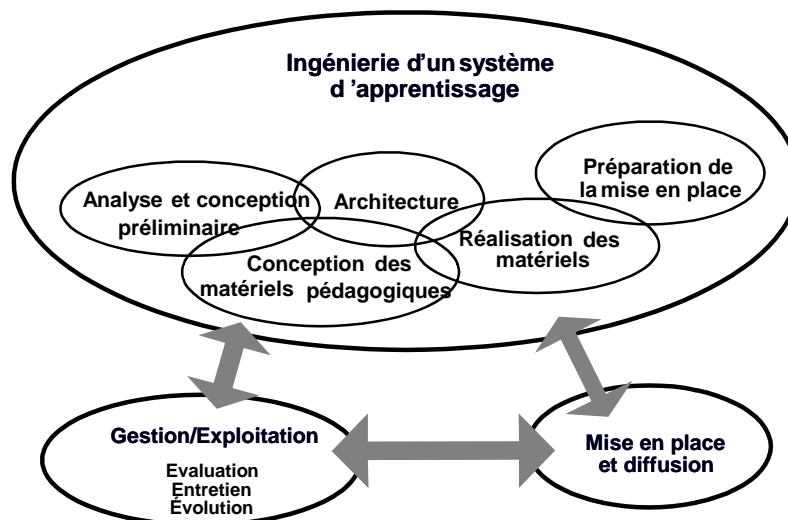


Figure 1 — Champ de l'ingénierie des systèmes d'apprentissage

On peut définir le design pédagogique comme un processus visant à résoudre une classe particulière de problèmes: les problèmes de formation et d'apprentissage [Pirolli et al, 1988, 1990]. Les problèmes de design pédagogique sont d'abord des problèmes, ensuite des problèmes de design (à l'instar de l'architecture ou du génie mécanique), puis des problèmes de design pédagogique et enfin, des problèmes de design pédagogique relatifs à certains types de connaissances faisant appel à la didactique d'une ou plusieurs disciplines<sup>1</sup>. L'étude de chacun de ces quatre niveaux de problèmes apporte un cadre de référence utile pour la conception d'une méthode d'ingénierie de systèmes d'apprentissage.

Le modèle général de la résolution de problèmes nous invite à caractériser le processus d'ingénierie didactique en termes :

- d'état final, soit le système d'apprentissage à construire,
- d'état initial, soit une définition précise du problème de formation auquel le système d'apprentissage doit apporter une réponse, et
- d'opérateurs qui permettront de transformer la définition initiale du problème en des descriptions de plus en plus précises jusqu'à la réalisation concrète du système d'apprentissage.

Par ailleurs, la méthode de résolution de problèmes élaborée par Polya [1957,1967] distingue quatre phases ou processus principaux à travers lesquels l'activité de résolution de problèmes se déploie, guidée par des règles méthodologiques ne garantissant pas toujours le succès, mais offrant de "bonnes" chances de réussite. Cette méthodologie générale nous fournit presque directement une description des sous-processus généraux d'ingénierie des systèmes d'apprentissage. Elle souligne également l'importance des principes guidant le choix des opérateurs pour l'analyse initiale du problème, phase souvent négligée des concepteurs pédagogiques. Elle souligne aussi l'importance de distinguer l'élaboration du plan (la conception du devis pédagogique) de sa mise en oeuvre (la réalisation du système de formation). Elle nous invite enfin à prévoir une phase d'évaluation et au besoin de révision du système de formation, une approche par décomposition des problèmes jusqu'à des sous-problèmes "résolvables", ainsi qu'un guidage heuristique dans la gestion des tâches à effectuer.

Les problèmes de design présentent des similitudes, que l'on travaille en architecture, en ingénierie d'un système physique, en génie logiciel ou en conception d'un système d'apprentissage. Dans tous les cas, la solution est un système à construire devant satisfaire certaines contraintes, très peu définies au départ, devant être spécifiées à la phase

initiale d'analyse, puis précisées tout au long du processus. En observant les résolveurs à l'oeuvre dans des problèmes de design, Goël et Pirolli [1989] ont identifié un certain nombre de connaissances stratégiques invariantes, utilisées au cours du processus de résolution, qui témoignent de la complexité de ce type de problèmes:

- Les concepteurs font preuve d'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 la création et l'utilisation par les concepteurs de fonctions d'évaluation de la valeur d'une 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 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 de buts abstraits aux spécifications concrètes 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 des systèmes symboliques ou graphiques pour décrire les résultats intermédiaires.

La méthode MISA, présentée dans cet article, innove dans le domaine du design pédagogique par l'application de ces principes opératoires de gestion des processus de design, en les appliquant au domaine de l'éducation et aux quelques 310 tâches particulières identifiées dans la méthode. Elle innove également par l'usage de techniques de modélisation cognitive à la fois pour la représentation des connaissances, des traitements pédagogiques et des traitements médiatiques. Ces trois dimensions d'un système d'apprentissage (SA) sont nettement distinguées entre elles, mais aussi reliées par des associations précises qui ont pour but de rendre la démarche d'ingénierie visible et structurée de manière à faciliter un contrôle de la qualité autant du processus que des produits qui en découlent.

La méthode d'ingénierie d'un système d'apprentissage (MISA) présentée dans cet article est en cours de développement depuis décembre 1992. Une première version [Aubin et al, 1995b] a été construite en parallèle à la réalisation de l'AGD, un atelier informatisé de génie didactique [Paquette et al, 1994a,b]. Cet atelier se distingue des autres

---

<sup>1</sup> Le caractère générique de la méthode nous a amené à nous limiter aux trois premiers niveaux, mais nous reconnaissons l'importance de l'apport des didactiques des disciplines dans la conception des systèmes d'apprentissage.

systèmes informatisés de support à la conception [Lecavalier, 1991; Gustafson et al., 1993; Merrill 1994; Spector et al, 1993] notamment par l'intégration de principes opérationnels de design pédagogique sous forme d'un système conseiller intelligent [Paquette et Girard, 1996]. 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 al, 1995a]. La présente version a été complétée en avril 1997, en parallèle avec une mise à l'essai auprès de six équipes de la Télé-université.

## 2. Représentation des connaissances dans MISA

MISA a été construite et décrite en utilisant la même technique de représentation des connaissances qu'elle utilise pour créer un modèle des connaissances pour un domaine particulier faisant l'objet d'apprentissage. La méthode de représentation par objets typés MOT [Paquette, 1993,1996] permet de représenter diverses catégories de modèles : des systèmes conceptuels, procéduraux ou prescriptifs, et notamment, des méthodes comme MISA.

Il existe différents formalismes de représentation des connaissances tels les réseaux sémantiques, les schémas, les modèles entités-relations, les modèles de flux d'information, les modèles orientés objets. La plupart ont leur origine en intelligence artificielle et sont de plus en plus utilisés en génie logiciel. Citons à titre d'exemple les méthodes "Entités-relations" [Chen, 1976]; "Modern structured analysis" [Yourdon, 1989], "Object modelling technique (OMT)" [Rumbaugh et al, 1991], KADS [Scheiber et al, 1993]; "Graphes conceptuels" [Sowa, 1984] pour n'en nommer quelques-unes.

Plusieurs propositions visant à intégrer explicitement des méthodes de représentations des connaissances au processus de design pédagogique ont été faites depuis quelque temps [Duchastel, 1990; Jones M,K et al, 1990; Jones M, 1990; Tardif, 1992; Winn, 1990; West, 1991]. Cependant la plupart proposent d'automatiser le processus de micro-design au moyen de systèmes expert en conception, en vue d'un prototypage rapide de didacticiels [Merrill et al, 1992; Spector et al, 1993; Gustafson et al., 1993; Winn, 1990], ce qui est très différent de notre propos puisque nous nous intéressons au processus de macro-design dans une perspective de collaboration en tandem entre la méthode ou l'outil informatique et le concepteur. D'autre part, aucun système de représentation des connaissances n'a été utilisé pour représenter les stratégies et les tactiques au cœur du modèle pédagogique et du modèle médiatique, encore moins pour opérer la nécessaire distinction entre ces deux dimensions, généralement indissociablement liée dans la plupart des ouvrages [Joyce et al. 1986; Jonassen et al, 1991]. Enfin, à notre connaissance, aucun système de représentation n'intègre une représentation des métaconnaissances à l'œuvre dans l'important processus de métacognition [Noël, 1991].

L'originalité du système de représentation présenté ici est le traitement intégré de trois niveaux d'abstraction : les faits, les connaissances abstraites

(concepts, procédures et principes) et les métaconnaissances, dont les métaprocédures généralisent la notion d'habileté en usage en sciences de l'éducation [Bloom et al., 1975; Krathwohl, 1970; Legendre, 1993].

Dans le système MOT, les différents types de connaissance sont représentés de façon intégrée par des schémas de divers types, liés entre eux par sept types de liens, entre autres : la spécialisation, l'instanciation, la composition et la précedence.

Rappelons le rôle du schéma [Bartlett, 1932; Inhelder et Piaget, 1958] dans le passage du behaviourisme au cognitivisme, comme approche théorique dominante en psychologie et dans les autres sciences cognitives. À la fin des années soixante, principalement aux Etats-Unis, divers travaux fondateurs en psychologie cognitive [Bruner, 1973; Anderson, 1985] et en intelligence artificielle [Newell et Simon, 1972; Minski, 1975; Winograd, 1985] ont contribué à définir le rôle central des schémas dans la construction des connaissances

La distinction entre deux grandes catégories de schémas, les schémas déclaratifs ou conceptuels et les schémas procéduraux est maintenant traditionnelle en science cognitive. Les premiers structurent les données et les seconds représentent les procédures de traitement de l'information. Plus récemment, une troisième catégorie de schéma appellés "conditionnels" [Paris et al., 1983] ou "stratégiques" a été proposée. Ceux-ci sont dotés d'une composante servant à déterminer le contexte et les conditions nécessaires au choix d'une séquence d'actions ou à la définition (en compréhension) d'un concept.

De plus en plus, le domaine des sciences de l'éducation tend à intégrer le concept de schéma tout en distinguant divers types de connaissances. L'intention derrière cette classification est de leur associer des stratégies pédagogiques adaptées aux connaissances visées par l'apprentissage. C'est le cas du "Component Display Theory (CDT)", développé par Merrill [1994] sur la base des travaux de Robert Gagné, fondé sur l'hypothèse que les résultats de l'apprentissage peuvent être classifiés en un nombre limité de catégories mettant en jeu deux dimensions principales: la performance<sup>2</sup> et le type de contenu : faits, concepts, procédures, principes. Romiszowski [1981] présente également une taxonomie des connaissances et surtout des habiletés. Un autre chercheur de pointe en éducation [Tennyson,

---

2 Le concept de "performance" chez Merrill correspond à ce que Romiszowski appelle "habileté cognitive" et Pitrat, [1990], métaconnaissance. Le système MOT étendu récemment aux métaconnaissances, prévoit un nouveau lien "s'applique-à" entre celles-ci et les autres types de connaissances. Un modèle MOT intègre donc implicitement un concept opérationnel d'objectif d'apprentissage. Par exemple, une habileté de mémorisation qui "s'applique-à" une procédure de calcul donne lieu à un objectif d'apprentissage comme celui-ci: "l'apprenant devra montrer qu'il peut mémoriser la procédure de calcul de la surface d'un triangle rectangle".

1988; Tennyson et al., 1990] proposent un modèle de design pédagogique qui met l'accent sur les connaissances contextuelles (ou stratégiques) dans les activités d'apprentissage plutôt que sur les connaissances déclaratives ou procédurales. Ces travaux ont été synthétisés dans le système de représentation des connaissances MOT utilisé ici.

Dans la représentation orientée objet de MISA, nous utilisons les types de connaissances comme suit :

- les connaissances conceptuelles ou concepts permettent de décrire ce que sont les objets que le concepteur doit utiliser ou produire: des analyses, un modèle des connaissances, un devis de cours, des instruments didactiques, etc.
- les connaissances procédurales ou procédures visent à définir les "actions" sur ces objets ou comment le concepteur accomplit chacune des tâches nécessaires à la production du système de formation: produire des analyses des besoins de formation, définir les objectifs d'apprentissage, construire une activité d'apprentissage, faire le plan d'un instrument didactique, etc.
- les connaissances stratégiques ou principes (stratégies, règles, heuristiques) sont des énoncés permettant de décider quand ou pourquoi on doit faire tel ou tel choix lors de l'application de telle ou telle procédure: principes de regroupement des connaissances en unités d'apprentissage, principes d'adéquation des objectifs aux besoins de formation, principes menant au choix d'une stratégie pédagogique ou de certains médias, etc.

L'intégration de ces divers types de connaissances dans un même modèle est apparue nécessaire également pour décrire les connaissances du domaine auquel on désire appliquer MISA, puisque, selon le type de connaissance, le traitement pédagogique sera différent. Par exemple, si la connaissance est un concept, on pourra la construire par un processus d'induction et de généralisation à l'aide d'exemples et de contre-exemples. Si la connaissance est une procédure ou un principe, on pourra la construire dans l'exercice de la résolution de problèmes de plus en plus complexe. On peut d'ailleurs en dire autant de la conception des systèmes de support à la performance pour lesquels on devra prévoir des traitements différents selon que l'on a affaire à des faits (bases de données), à des concepts (bases de connaissances, aide contextuelle), à des procédures (outils de production) ou à des principes (système experts et systèmes conseillers).

### 3. Description générale de la méthode

MISA se compose de processus (phases et axes), d'éléments de documentation qui résultent de ces processus, et de principes qui permettent de gérer les processus, tel qu'indiqué à la Figure 2.

La tâche principale "Faire l'ingénierie d'un système d'apprentissage" se décompose (liens C, Figure 2) de deux façons complémentaires : selon que l'on examine les phases de progression des travaux ou selon que l'on considère les axes représentant des dimensions du systèmes d'apprentissage.

- Progresser vers le système d'apprentissage permet de construire un système d'apprentissage à travers cinq processus de premier niveau appelés phases : faire l'analyse et la conception préliminaire du SA, élaborer l'architecture du SA, concevoir les matériels pédagogiques, réaliser et valider les matériels, et préparer la mise en place d'un SA.

Développer les axes du SA fournit un mode de progression orthogonal au premier selon quatre dimensions : la modélisation des connaissances, la conception pédagogique, la conception médiatique et la planification. Les trois premières dimensions donnent lieu à des techniques servant à produire les trois grandes composantes d'un système d'apprentissage, alors que le quatrième axe joue un rôle auxiliaire dans la gestion du processus d'ingénierie didactique.

Globalement, ces processus peuvent être découpés en activités qui produisent (lien I/P, Figure 2) trente-trois éléments de documentation répartis sur les cinq phases. Leur répartition montre que la méthode est davantage axée sur la conception d'un système d'apprentissage que sur la réalisation de ses composantes. Selon le type de matériel pédagogique (imprimé, audio-visuel, didacticiels, multimédia,...) d'autres techniques de micro-design et de réalisation devront être utilisées. Par ailleurs, tel qu'indiqué sur la Figure 2, les éléments de documentation se répartissent presque également entre les quatre axes.

Trois groupes de principes régissent (liens R, Figure 2) l'utilisation de la méthode :

- Les principes d'adaptation permettent de choisir un cheminement dans la méthode en fonction du problème de formation et des solutions envisagées.
- Les principes de progression dans les phases permettent d'encadrer le passage d'une phase à l'autre.
- Les principes de coordination des axes et des techniques consistent à définir les interactions entre les trois principales composantes d'un SA, le modèle des connaissances, le modèle pédagogique et le modèle médiatique, ainsi que la coordination de ces activités avec les tâches de planification.

Ces principes seront discutés à la section 6, les sections 4 et 5 étant consacrées respectivement à la description des phases et des éléments de documentation de la méthode, ainsi qu'à une présentation sommaire des axes et des techniques.

## 4. Description du processus d'ingénierie

Pour décrire le processus d'ingénierie, nous avons choisi de représenter d'abord les procédures de haut niveau puis de les décomposer de façon hiérarchique. Sur cette expression procédurale, nous avons ensuite

greffé les éléments de documentation (données, schémas, descriptions, etc.) qui se transforment à mesure que le processus se déroule jusqu'à leur forme finale. Cette section décrit d'abord la dimension procédurale et, ensuite, les objets impliqués dans le processus.

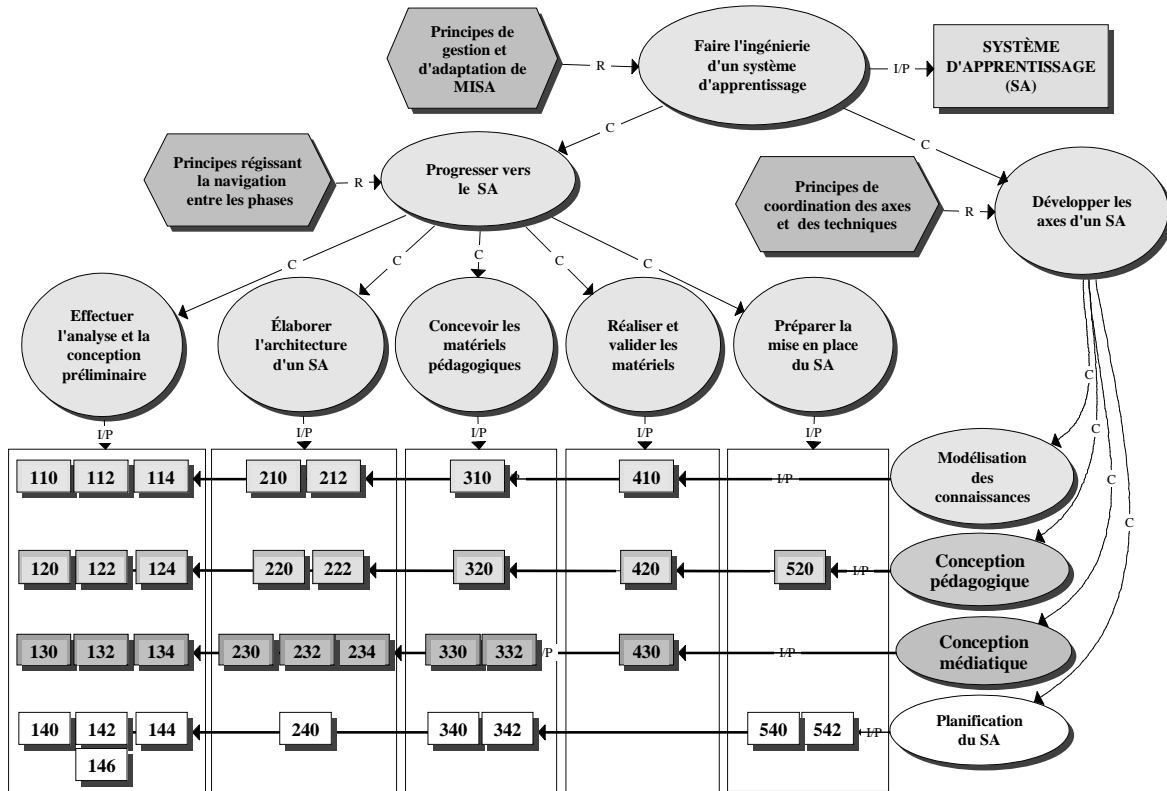


Figure 2 - MISA : représentation de haut niveau

### 4.1 Les phases, les étapes et les activités

L'ensemble de la méthode comprend cinq phases qui se décomposent en vingt étapes. Ces étapes se décomposent ensuite en trente-trois activités, chacune d'elles donnant naissance à un élément de documentation. On obtient donc une structure hiérarchique à trois niveaux.

La Figure 3 montre un extrait du processus de la phase 2. L'étape 2.3 contient 3 activités, chacune produisant un élément de documentation : 230, 232 ou 234.

Pour que le processus soit complet et opérationnel, nous y avons greffé des principes de navigation (non illustrés) qui explicitent l'enchaînement et les aller-retour entre les diverses activités du processus.

### 4.2 Les liens d'influence entre éléments de documentation

Les éléments de documentation sont les résultantes de chaque activité du processus. Ils sont composés d'attributs et de sous-attributs que les concepteurs doivent décrire sous forme de

graphiques, de tableaux, de schémas ou de textes. Chaque élément de documentation est l'extrait d'une activité et sert d'intrant à plusieurs autres activités. Cette circulation d'intrants et d'extrants capte la dynamique du processus et lui confère, à la fois, souplesse et rigueur.

Les trente-trois éléments de documentation de la méthode se composent globalement de 310 attributs et sous-attributs qui s'influencent mutuellement. Ces liens d'influence ont été analysés et décrits de façon explicite afin que le concepteur sache de quels attributs il doit tenir compte et pour quelle raison.

La Figure 4 montre un schéma résumant les liens d'influence (en amont et en aval) pour un l'élément de documentation représenté au centre.

### 4.3 Les attributs d'un éléments de documentation

La forme et la nature des éléments de documentation dépendent de leur fonction. Voici deux exemples d'éléments de documentation (ÉD) fort différents l'un de l'autre. Le premier est un gabarit qui permet de décrire la Situation désirée (ÉD 142); il se situe à la phase 1 (Analyse et conception préliminaire)

et dans l'axe de Planification (voir Figure 2). Il comporte trois attributs principaux, le second se subdivisant en 6 sous-attributs.

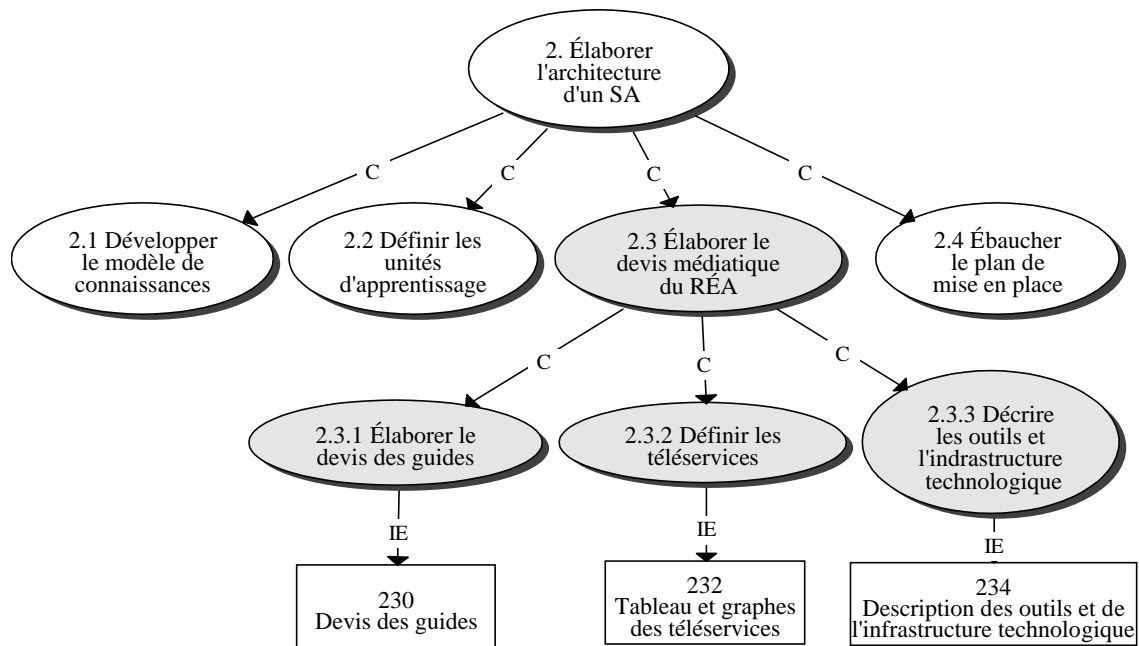
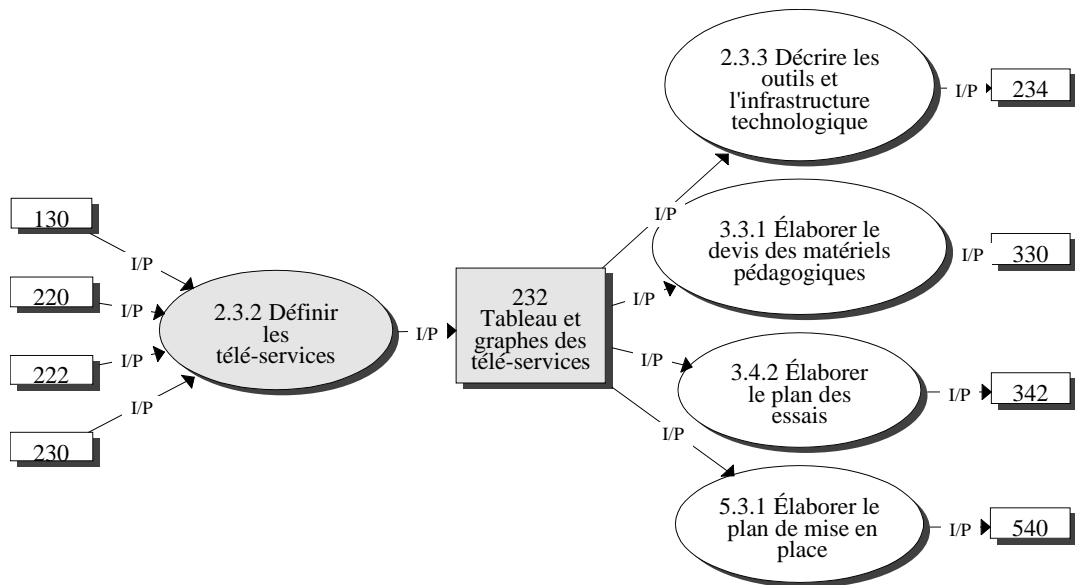


Figure 3 — Vue partielle du second processus de premier niveau dans MISA



**232**

SOURCE	
1 30	Solution médiatique retenue
2 20	Règles pédagogiques de fonctionnement du SA
2 22	Scénarios pédagogiques des unités d'apprentissage ( UA )
2 30	Devis des guides ( apprentissage et formation )

↔↔↔↔

DESTINATION	
2 34	Description des outils et de l'infrastructure technologique du SA
3 30	Devis des matériels pédagogiques
3 42	Plan des essais et des tests ( pédagogiques, de contenu, fonctionnels )
5 40	Plan de mise en place du SA

Figure 4 — Un élément de documentation et ses influences, en amont et en aval

## 142 Situation désirée

**Plan stratégique de formation :** Recueillir les objectifs généraux pour l'ensemble des activités de formation dans l'entreprise ou préciser la finalité que revêt la formation en général dans le contexte de cette entreprise ou société.

### B. Objectifs du SA

**B1** Liste des compétences à générer en prenant en compte les divers publics cibles, le cas échéant.

**B2** Priorité de formation ( court, moyen, long terme ) à accorder aux compétences à générer.

**B3** Durée globale anticipée de l'apprentissage ( semaines, jours, heures ).

**B4** Ampleur anticipée du système d'apprentissage ( taille et complexité ).

**B5** Durée anticipée du cycle de vie du système d'apprentissage ( années, mois ).

**B6** Date limite de livraison du système d'apprentissage, en partie et/ou dans l'ensemble.

### C. Attentes face au SA

**C1** Préciser les améliorations à apporter à la formation courante sur les plans techniques et technologiques.

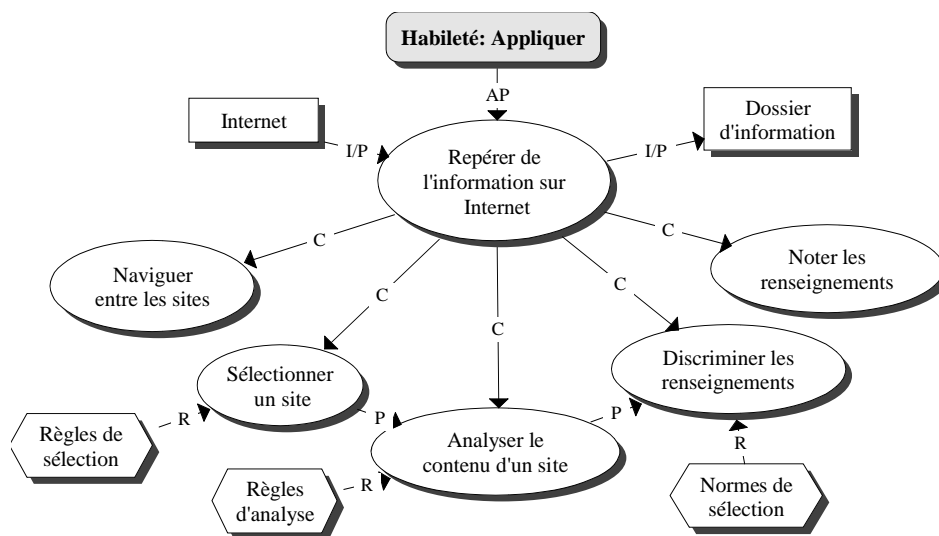
**C2** Préciser les améliorations à apporter à la formation courante sur les plans pédagogiques et organisationnels.

Figure 5 : Attributs de l'élément de documentation 142

## 112 Graphe des connaissances

A. Connaissances et liens

B. Habiletés et liens



Exemple 1 — Exemple d'un graphe de connaissances se rapportant à la Navigation sur Internet

Les concepteurs décrivent les attributs de la situation désirée. Le guide méthodologique supporte la tâche des concepteurs en donnant des indications, des pistes et des exemples. Il précise également de quels autres éléments de documentation on doit tenir compte et dans quelle mesure.

Le deuxième exemple est d'un tout autre ordre. Il se rapporte à l'élément de documentation 112 (phase 1, axe Modélisation des connaissances) qui a pour fonction d'encadrer une première analyse de contenu

et de définir les connaissances à l'aide d'un éditeur graphique<sup>3</sup>. Dans ce cas, l'élément de documentation (Exemple 1) comporte deux attributs : les connaissances et leurs liens, ainsi que les habiletés et

3 Le logiciel MOT (Modélisation par objets typés) a été conçu et développé au Centre de recherche LICEF de la télé-université afin de supporter la tâche de modélisation des connaissances.

leurs liens. Il prend la forme d'un graphe qui décrit de façon structurelle le contenu, objet de formation. En phase 2, cet élément de documentation sera revu et les connaissances seront définies plus précisément en fonction des besoins de formation.

## 5. Les axes et les techniques dans MISA

Chacun des axes de la méthode met l'emphase sur une dimension particulière de l'ingénierie didactique. La modélisation des connaissances permet de définir et d'organiser le contenu ou objets d'apprentissage; la conception pédagogique s'intéresse au contexte requis (activités et outils) pour que l'apprentissage s'effectue efficacement; la conception médiatique actualise le système d'apprentissage pour le rendre disponible à l'apprenant sous la forme de matériels pédagogiques et d'outils, tandis que la planification sert à décrire et à suivre les activités propres à l'exécution et à l'harmonisation des travaux.

### 5.1 La modélisation des connaissances

La méthode de représentation par objets typés MOT présentée à la section 2, permet de représenter un domaine de connaissances de façon graphique en identifiant le type de chaque connaissance (fait, concept, procédure, principe, méta-connaissance) et en reliant les connaissances par des liens orientés : précedence (P), composition (C), spécialisation (S), intrant/produit (I/P), instanciation (I), régulation (R), application (A).

La modélisation des connaissances débute par l'identification des connaissances principales et de leurs liens (voir Exemple 1). La méthode offre une librairie de 13 types de modèles que le concepteur peut choisir comme point de départ : quatre types de systèmes conceptuels et factuels, trois types de systèmes procéduraux, trois types de systèmes prescriptifs (à base de principes) et trois types de processus et de méthodes.

Une fois choisi le type de modèle, on sélectionne les premières connaissances et leurs liens, puis on greffe les méta-connaissances qui représentent les habiletés à être développées par rapport à ces connaissances : habiletés du domaine cognitif ou du domaine affectif.

Relativement aux principales connaissances, et pour chaque public cible, on peut associer deux valeurs représentant la compétence actuelle et la compétence visée, choisies sur une échelle des compétences intégrée à la méthode.

L'écart entre ces deux valeurs représente l'ampleur du besoin d'apprentissage d'un public cible donné, pour une connaissance donnée. Les besoins d'apprentissage servent à guider le développement ultérieur du modèle des connaissances. Une connaissance pour laquelle l'écart de compétence est grand (pour au moins un public cible) méritera d'être développée en indiquant avec plus de précision ses composantes, ses intrants, ses principes régulateurs,

etc. À l'opposé, si l'écart de compétence à combler est très faible pour une connaissance (pour tous les publics cibles), celle-ci devrait normalement être retirée du modèle, à moins qu'elle ne serve à préciser les connaissances qui l'entourent.

À mesure que l'on progresse dans la méthode, on déploie de plus en plus le modèle en créant des sous-modèles augmentant ainsi le niveau de détail du domaine de connaissances, en tenant compte de l'ampleur du système d'apprentissage désiré et des types de connaissances requises en regard des objectifs de formation retenus à l'analyse préliminaire. Les connaissances des sous-modèles sont ensuite associées par grappes, en préservant la structure des liens, aux différentes unités d'apprentissage qui composent le modèle pédagogique, ainsi qu'aux instruments d'apprentissage qui seront par la suite définis dans le modèle médiatique.

### 5.2 La conception du devis pédagogique

La conception du devis pédagogique consiste à construire un modèle des activités d'apprentissage qui seront proposés aux usagers cible. Une stratégie pédagogique est d'abord définie à partir des besoins de formation. Des composantes de base appelées "unités d'apprentissage (UA)" peuvent être regroupées au sein d'événements d'apprentissage de plus haut niveau (module, cours, etc.). On obtient alors une structure hiérarchique ayant à sa base les UA et appelée "Réseau des événements d'apprentissage".

Les UA regroupent les activités à réaliser et les matériels pédagogiques nécessaires, autant pour les apprenants que pour les formateurs. Elles sont définies à la phase d'architecture. C'est au sein des UA qu'est décrit le processus d'apprentissage et de formation.

Chaque unité d'apprentissage se compose principalement d'un ou plusieurs scénarios pédagogiques: scénarios d'apprentissage et scénarios de formation. Les premiers décrivent toutes les activités d'apprentissage répertoriées en quatre types (activités de production, de consultation, d'organisation, d'objectivation) et reliées de façon à exprimer l'articulation entre les activités. À ce scénario, s'ajoutent, sous forme d'intrants, les instruments requis pour effectuer les activités; on inscrit également, sous forme d'extrants, les diverses productions attendues de l'apprenant. La première partie de l'Exemple 2 illustre un scénario d'apprentissage.

La seconde partie de l'Exemple 2 présente les activités correspondantes du formateur. Cet exemple illustre l'interaction entre certaines activités du scénario de formation et les activités de l'apprenant. Par exemple, si on demande à l'apprenant d'échanger son texte avec ceux des pairs, on recommande au formateur de Mettre en place un mécanisme d'échange. On trace alors un lien C pour indiquer que la tâche du formateur contient certains attributs dont il doit tenir compte.

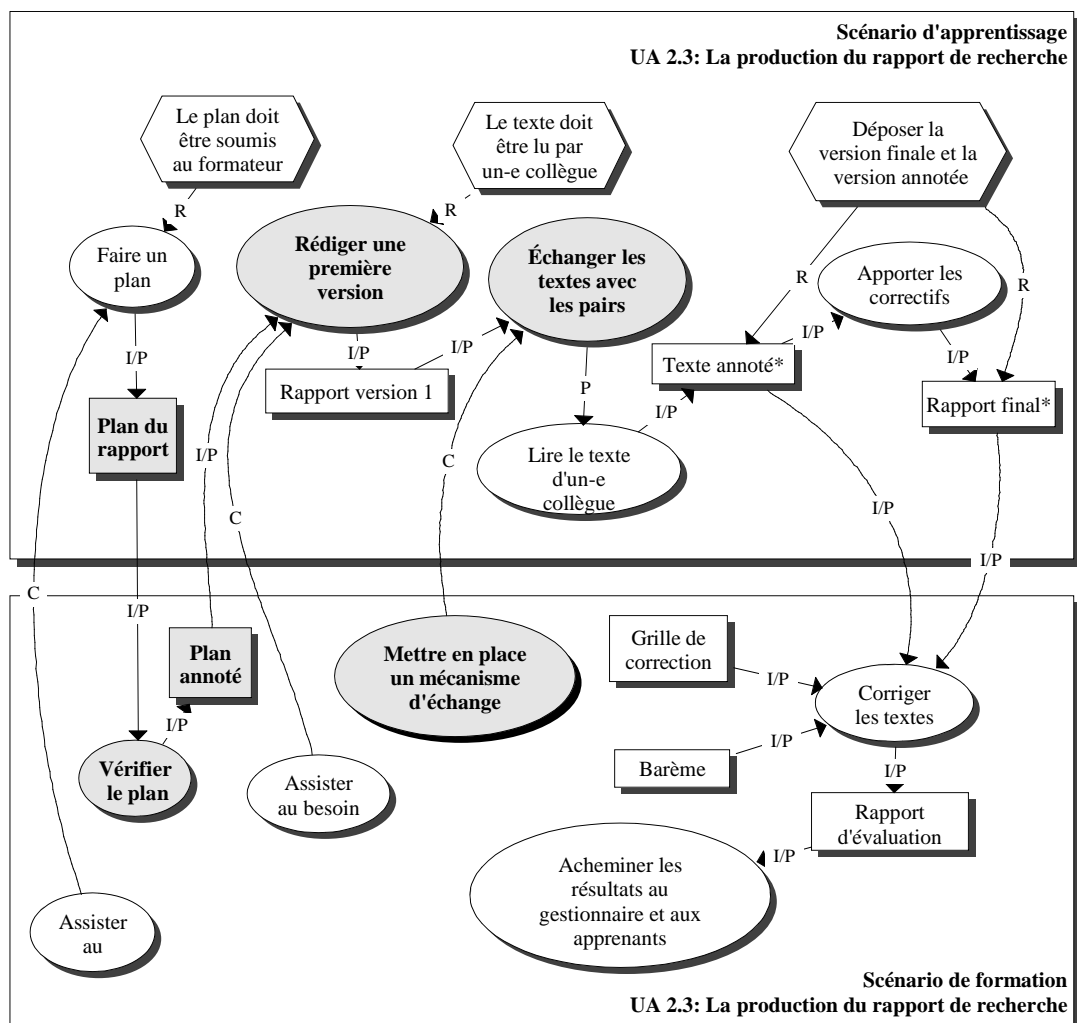
Par ailleurs, l'interaction entre les deux scénarios peut s'établir indirectement, par le biais des objets

produits. Ce sont les liens I/P qui permettent d'exprimer la circulation des documents entre les deux scénarios. À titre d'exemple, on voit que le "Plan du rapport" est acheminé de l'apprenant au formateur, que celui-ci en fait une vérification pour produire un "Plan annoté", et que celui-ci est ensuite retourné à l'apprenant pour lui permettre de poursuivre sa tâche.

Les scénarios contiennent une description détaillée des activités de l'apprenant et du formateur ainsi que les plans de tous les instruments requis. On fera la conception de ces instruments en phase 3. La méthode prévoit que les scénarios puissent être adaptés par les formateurs et les apprenants.

ÉCHELLE DES COMPÉTENCES												
État	Sensibilisation			Familiarisation			Maîtrise			Expertise		
Valeur	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Symbole	S-	S	S+	F-	F	F+	M-	M	M+	E-	E	E+

Figure 6 – Échelle des compétences



Exemple 2 — Un scénario d'apprentissage et un scénario de formation

### 5.3 Conception du devis médiatique

Les plans d'instruments et les scénarios produits en suivant l'axe de conception pédagogique doivent être matérialisés, mais avant d'entreprendre leur réalisation, il est nécessaire de produire des devis médiatiques détaillés. La technique de conception

médiatique encadre la production de ces devis. Le modèle médiatique qui en résulte est composé principalement des éléments suivants :

- les matériels pédagogiques, incluant les guides d'apprentissage et de formation et les guides ou

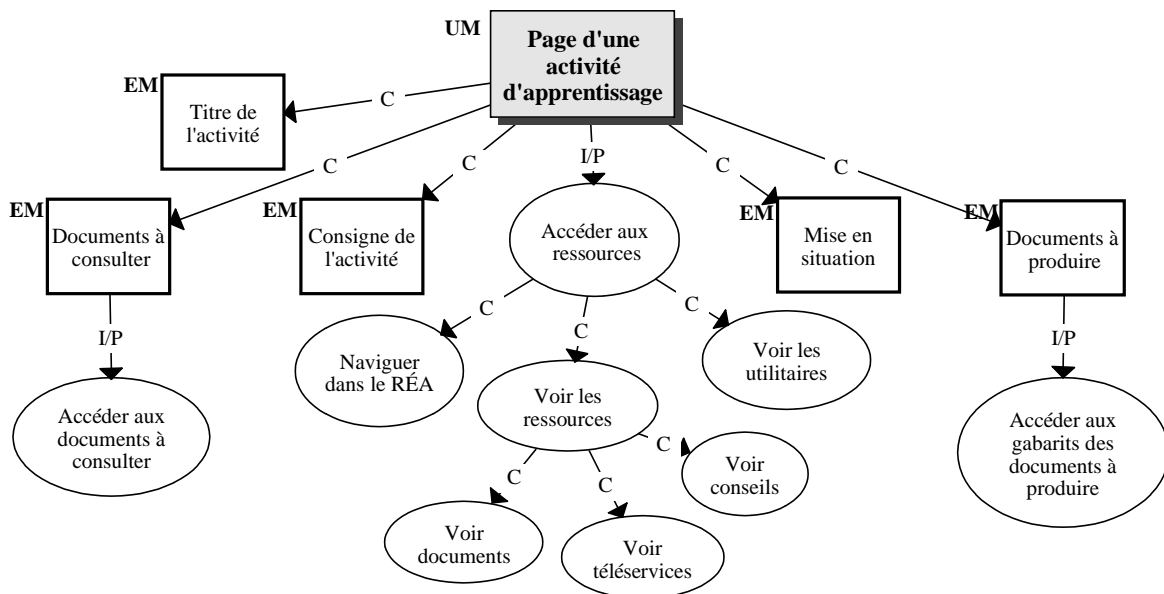
matériels promotionnels s'il y a lieu, ainsi que les instruments d'apprentissage regroupés en fonction de leurs affinités.

- les téléservices qui supportent diverses formes de communication entre les utilisateurs; les téléservices sont nécessaires à la réalisation de plusieurs activités d'apprentissage à distance;
- les outils matériels et logiciels qui permettent aux utilisateurs du système d'apprentissage d'utiliser les matériels pédagogiques et d'utiliser les téléservices;
- l'infrastructure technologique qui permet de créer les liens physiques et d'offrir l'accès aux matériels pédagogiques et aux téléservices; et finalement,
- les liens et les règles de regroupement entre les matériels, les téléservices, les outils et l'infrastructure technologique.

Le modèle médiatique permet d'identifier, pour chaque matériel pédagogique du système d'apprentissage, les différentes composantes et unités médiatiques qui le composent, d'identifier les éléments médiatiques composant chaque unité médiatique, d'associer une métaphore et des règles d'organisation à un matériel

pédagogique, ainsi que les analogies et les règles d'organisation plus précises qui en découlent pour les composantes et les unités médiatiques et, finalement, de spécifier les pages-écrans et les gabarits associés aux unités et aux éléments médiatiques qui les composent. De plus, il permet de déterminer quel support est attaché à chacun des matériels pédagogiques, puis quels outils et quelles composantes de l'infrastructure technologique sont nécessaires à leur utilisation et à celle des téléservices. Toute ces données servent principalement aux équipes responsables de la réalisation des divers matériels pédagogiques et de la mise en place du système d'apprentissage.

L'Exemple 3 illustre la structure d'une unité médiatique, partie d'un matériel pédagogique, qui présente les activités d'apprentissage sous la forme d'un hypermédia permettant de naviguer entre les activités, de consulter les documents intrants et d'obtenir un accès aux gabarits des documents à produire. L'unité médiatique se compose de cinq éléments médiatiques présentant le titre de l'activité, la liste des documents à consulter, la consigne de l'activité, un message sonore de mise en situation et une liste de documents à produire. Les actions possibles sont représentées par des procédures, notamment les actions donnant accès aux téléservices, aux conseils ou à des logiciels utilitaires.



Exemple 3 — Une unité médiatique d'un logiciel hypermédia

#### 5.4 Planification des travaux de développement

La planification intervient tout au long des cinq phases du processus; en phase 1, l'axe planification permet de recueillir toutes les données pertinentes (contexte, situation désirée, contraintes) et de produire une analyse globale. Dans la suite du processus, les données recueillies visent à préparer la mise en place

du système d'apprentissage en planifiant l'exécution des travaux, la livraison, les essais et les tests.

#### 6. Principes régissant la méthode

Dans cette section, nous traitons des principes d'orientation sur lesquels est fondée la méthode, ainsi que des principes d'utilisation qui régissent son

adaptation, la progression dans les phases et la coordination entre les axes et les techniques.

### 6.1 Principes d'orientation générale

Les principes d'orientation générale décrivent les fondements de l'organisation de la méthode. Celle-ci vise à favoriser la diversité des approches pédagogiques, des modes de livraison du système d'apprentissage, et des support médiatiques retenus.

- La méthode est fondée sur le principe qui veut que l'apprentissage implique nécessairement un traitement de l'information et une construction des connaissances par l'apprenant. Les principes cognitivistes et constructivistes peuvent toutefois se concrétiser dans un système d'apprentissage par une variété d'approches et de stratégies pédagogiques. La démarche d'ingénierie de MISA laisse une grande liberté à l'expert pédagogique à cet égard. Bien qu'elle puisse être employée pour concevoir des systèmes d'apprentissage d'approche déductive traditionnelle, ce type de stratégie ne mobilisera qu'une faible partie de l'appareillage fourni par la méthode. C'est donc dans les systèmes d'apprentissage faisant appel à des activités de résolution de problème, de réalisation de projets ou de tâches complexes par l'apprenant, que l'on pourra tirer pleinement profit des nouvelles possibilités de modélisation de MISA.
- La démarche proposée dans MISA prend en compte le fait qu'un système d'apprentissage puisse être offert en utilisant divers modes de livraison : en présence ou à distance, à l'aide ou sans l'aide des technologies de communication et d'information, en situation d'autoformation ou de formation de groupe à l'aide d'activités faites en mode de collaboration ou non. Le mode de livraison suggère la prise en compte de certains facteurs tout au long de la conception, dès lors, il importe de bien cerner la configuration des éléments de documentation à produire et d'indiquer les principes et les règles de fonctionnement du SA lors de la conception préliminaire et de l'élaboration de l'architecture du SA.
- Un système d'apprentissage peut consister en un ensemble de matériels regroupés et offerts sur différents supports médiatiques, ou encore intégrés sous forme de multimédia interactif sur un disque optique compact (DOC), sur un site WEB ou sous une forme hybride (DOC/WEB). On parle alors d'un SA autonome. À l'opposé, le SA peut être intégré à un système informatique de support à la production, auquel cas, il prend la forme d'un système informatisée d'aide à la performance. Il peut être également intégré à une infrastructure technologique complexe pour

des fins d'apprentissage à distance et en situation de collaboration. MISA vise à faciliter la tâche d'ingénierie dans ces différentes situations.

### 6.2 Principes d'adaptation de la démarche d'ingénierie

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 du projet:

- la méthode vise principalement à fournir une base opérationnelle aux approches cognitive et constructiviste à l'apprentissage, notamment par le caractère non linéaire et adaptable des scénarios pédagogiques; si le concepteur utilise plutôt une approche déductive traditionnelle de présentation en classe, il pourra se concentrer sur la modélisation des connaissances, mais se dispenser de la majeure partie des travaux de l'axe pédagogique et de l'axe médiatique;
- le choix d'un mode de livraison 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 ou la définition des infrastructures technologiques et organisationnelles, alors qu'un apprentissage à distance ou en autoformation à l'aide d'outils informatisés nécessitera au contraire une grande attention à ces questions; également, le choix d'une formation individuelle plutôt qu'en mode de collaboration réduira considérablement le travail de définition des télé-services et des scénarios d'apprentissage;
- l'envergure ou la complexité d'un projet d'ingénierie nécessiteront également des adaptations à la méthode; ainsi le développement d'un curriculum comportant plusieurs cours exigera un modèle des connaissances assez vaste et un devis limité aux deux premières phases d'analyse et d'architecture, puis la démarche en cinq phases sera reprise pour chacun des cours. À l'opposé, une unité d'apprentissage de quelques heures permettra de procéder rapidement à travers les deux premières phases pour définir les connaissances et le scénario d'apprentissage, puis les quelques matériels pédagogiques requis.

### 6.3 Principes de progression dans la démarche

Nous examinons maintenant certains principes qui permettent de gérer le cheminement retenu par le gestionnaire de projet ( en collaboration avec l'équipe d'architecture ) en fonction des caractéristiques de son projet, soit le développement itératif en spirale, le développement par livraisons multiples et la définition progressive du fonctionnement du SA.

- La démarche d'ingénierie présentée ici, bien que structurée en phases, en étapes et en 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 description des techniques de modélisation des connaissances, de conception du devis pédagogique et de conception du devis médiatique mettent également ce principe en pratique. Le caractère non-linéaire de la méthode se concrétise par le statut " évolutif " de certains éléments de documentation. Ceux-ci se complètent sur plusieurs phases, au fur et à mesure de la définition des modèles de connaissances, des modèles pédagogiques et médiatiques, et de l'identification des ressources techniques et humaines soutenant le système d'apprentissage. Plus généralement, la démarche procède à partir d'une définition abstraite des requis du futur système, établie en phase préliminaire, puis par approximations successives de plus en plus en plus concrètes, jusqu'à produire le système d'apprentissage qui sera mis en place.
- Pour faciliter l'ingénierie d'un système d'apprentissage, MISA adopte la notion de livraison de l'informatique [Budgen, 1994]. Cette approche permet de développer le système d'apprentissage et de le réaliser graduellement plutôt qu'en un seul bloc. Une fois la phase d'architecture complétée, on regroupe certaines composantes du SA pour constituer une ou plusieurs livraisons, par exemple en regroupant des " modules " d'un environnement informatisé d'apprentissage, ou encore des cours d'un programme. Ce regroupement en plusieurs livraisons permet de poursuivre graduellement la réalisation et la préparation de la mise en place du système d'apprentissage. L'application de ce principe de livraisons multiples est utile pour la gestion des demandes de changements au cours des essais. En effet les demandes de changement peuvent être intégrées aux livraisons en cours ou à venir. Ainsi, seules les demandes de changement qui ne peuvent attendre le développement d'une prochaine livraison seront réalisées, ce qui simplifie grandement la gestion des demandes de changement et leur suivi. La notion de livraison

encourage l'application du principe de développement par itération et facilite le développement et la synchronisation requise pour le travail en équipe et la mise en place du SA

- Surtout dans les projets complexes d'ingénierie pédagogique, il est préférable de définir successivement les principes, les règles et les normes qui devraient guider les membres des équipes de développement et de réalisation dans les multiples décisions qu'ils ou elles auront à prendre au cours du développement. Les principes de fonctionnement du SA sont généralement définis durant les phase d'analyse et de conception préliminaires, tandis que les règles de fonctionnement spécifiques sont principalement définies durant la phase d'architecture en tenant compte des principes de fonctionnement déjà définis. Les normes de médiatisation, quant à elles, portent généralement sur la forme et les moyens de réalisation des matériels pédagogiques; elles sont donc déterminées durant la phase de conception de ces matériels. La définition des principes et des règles de fonctionnement ainsi que la description des normes de médiatisation assurent la cohérence du système d'apprentissage. Elles sont particulièrement utiles lorsque le développement de celui-ci s'étale sur plusieurs livraisons ou implique la participation de plusieurs types de spécialistes et d'équipes multidisciplinaires. Les principes et les règles sont en général définis en fonction des orientations ( cognitives, pédagogiques, technologiques ) et des contraintes de l'organisme établies en début de projet. En général ils réduisent le temps de transmission des informations d'une équipe à une autre en plus de faciliter les communications entre les équipes.

#### **6.4 Principes de coordination entre les axes de développement**

Les décisions relatives à l'orientation du modèle de connaissances, aux orientations pédagogiques, à la stratégie médiatique, influencent de nombreux choix de conception, de réalisation et de mise en place d'un système d'apprentissage. Le modèle de connaissances, le modèle pédagogique et le modèle médiatique permettent de représenter un système d'apprentissage sous la forme de trois modèles qui offrent chacun une perspective bien distincte, mais complémentaire. Ces trois modèles sont indépendants, mais interliés et développés de façon coordonnée.

- Le modèle des connaissances définit et structure les connaissances sur lesquelles porte l'apprentissage, soit les faits, les concepts, les

procédures, les principes et les habiletés qui constituent les objets d'apprentissage. Ce modèle varie en fonction des compétences que l'apprenant désire acquérir face à ces connaissances, y compris le développement de ses habiletés. Par contre, ce modèle ne varie pas en fonction des scénarios pédagogiques ni en fonction des matériels pédagogiques qui soutiendront l'apprentissage. Il importe de conserver le caractère distinctif du modèle des connaissances en évitant d'y faire intervenir des éléments de démarche pédagogique qui doivent être réservés au modèle pédagogique ou l'utilisation de matériels pédagogiques qui doivent être définis dans le modèle médiatique du SA.

- Le modèle pédagogique décrit les événements d'apprentissage (activités d'apprentissage et instruments), comment ils interagissent et par quel cheminement l'apprenant acquiert les connaissances. Ce modèle est indépendant du choix des média et des supports des matériels pédagogiques à l'aide desquels l'apprenant effectuera ses apprentissages. Par exemple, un scénario d'apprentissage peut prévoir la simulation d'un phénomène par l'apprenant, mais c'est au niveau du modèle médiatique qu'on décidera si cette simulation se fera par un jeu de rôle, en laboratoire, ou par simulation informatisée.
- Le modèle médiatique, lui, décrit l'organisation interne des matériels pédagogiques : les unités, les éléments médiatiques et les relations entre eux, les supports sur lesquels ces matériels deviendront disponibles à l'apprenant, ainsi que les outils et les infrastructures technologiques nécessaires à leur utilisation. Le modèle médiatique doit tenir compte des connaissances et des démarches pédagogiques retenues qui lui fournissent le contenu à médiatiser et des contraintes de réalisation. Mais c'est ici qu'en définitive le SA prendra sa forme concrète en faisant appel éventuellement à une variété de ressources médiatiques.
- Bien qu'indépendants et jouant des rôles différents dans un système d'apprentissage, les trois modèles, connaissances, pédagogie et média, doivent être solidement coordonnés en vue d'obtenir un système d'apprentissage qui fonctionne efficacement. Le modèle des connaissances joue un rôle important à cet égard. Un sous-modèle est associé à chaque unité d'apprentissage, et par regroupement, à chaque événement d'apprentissage du modèle pédagogique, définissant ainsi le contenu sur lequel vont porter les scénarios d'apprentissage.

De même, un sous-modèle est associé à chaque instrument d'apprentissage utilisé dans les divers scénarios d'apprentissage. Les matériels pédagogiques regroupant ces instruments obtiennent ainsi une définition précise du contenu à médiatiser. Le modèle pédagogique est également coordonné avec le modèle médiatique par l'intermédiaire des scénarios d'apprentissage où les instruments à médiatiser sont associés aux activités d'apprentissage. Le modèle pédagogique fournit au modèle médiatique un plan de chaque instrument, ainsi que son contexte d'utilisation.

La synchronisation dans le développement des trois modèles est très importante. Le développement par phase permet de distinguer la perspective de chaque modèle tout en maintenant une vision intégrée de l'ensemble du système d'apprentissage. Il permet également d'effectuer la livraison du SA de façon progressive et en coordination avec les trois axes de développement.

- Ainsi, en phase d'analyse et de conception préliminaire, on coordonnera principalement le graphe initial des connaissances (112) avec la définition préliminaire du réseau des événements d'apprentissage (122) et la stratégie pédagogique (124), et celles-ci avec la solution médiatique retenue (130).
- En phase d'architecture, on coordonnera principalement le modèle des connaissances par niveaux (210) et les sous-modèles associés aux unités d'apprentissage (212) avec la définition des scénarios pédagogiques (222), et ceux-ci avec le devis des guides d'apprentissage et de formation (230).
- En phase de conception des matériels pédagogiques, on coordonnera principalement les sous-modèles des connaissances associés aux instruments (310), avec le plan d'un instrument (320) et ceux-ci avec le devis des matériels pédagogiques (330).
- En phase de réalisation des matériels pédagogiques, on coordonnera les comptes rendus des vérifications du contenu (410), des essais pédagogiques (420) et des essais fonctionnels (430).

## 7. Conclusion

Nous avons présenté brièvement une méthode d'ingénierie pédagogique qui rend opérationnels divers travaux de recherche en sciences cognitives, notamment par l'utilisation d'une méthode de représentation des connaissances. Les validations menées dans neuf organisations ont permis de constater que la méthode s'applique à des domaines de connaissances variés, qu'elle

- facilite la communication entre les membres des équipes de conception,
- encourage la rigueur dans l'exécution des tâches et la cohérence entre les différentes productions
- favorise la diversité dans la définition des objets de connaissances,
- incite à la diversité dans le choix des stratégies pédagogiques et des médias utilisés, faisant appel à la créativité des concepteurs, élément indispensable pour la qualité d'un système d'apprentissage.

D'autre part, la distinction claire et la coordination entre les trois modèles sont des éléments importants de la méthode. Ces éléments favorisent une meilleure compréhension des rôles des divers spécialistes, ce qui se traduit par une réduction des délais de conception et favorise la réutilisabilité des composantes d'un système d'apprentissage. Par exemple, un même modèle des connaissances pourra servir de base à de nouveaux scénarios d'apprentissage parfois très différents du scénario original et ceux-ci pourront plus facilement être ré-médiatisés lorsque de nouveaux outils technologiques ou de nouveaux médias deviennent accessibles.

L'évolution sans cesse croissante des technologies de l'information et la difficulté de prévoir les tendances futures imposent forcément des limites à la méthode, principalement en ce qui a trait à la technique fine de médiatisation (micro-design). La nature de tous les outils de télécommunication, autant logiciels que matériels, est en évolution constante et l'impossibilité de prévoir ce qu'ils seront, même à court terme, nous empêche d'insérer dans la méthode des prescriptions trop spécifiques.

D'autre part, divers travaux sont entrepris pour le développement ultérieur de la méthode, notamment au niveau d'une librairie de processus génériques pouvant servir de base à la scénarisation pédagogique. Également, l'identification des principes spécifiques d'ingénierie pédagogique se poursuit, de façon à donner une base au système conseiller qui sera intégré à la prochaine version d'un atelier d'ingénierie de systèmes d'apprentissage basé sur la présente méthode. Sur ce plan, il existe des possibilités intéressantes de tenir compte des didactiques des disciplines. Enfin, une méthode de gestion des projets de systèmes d'apprentissage serait une extension fort utile de l'axe de planification de la méthode.

## 8. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les autres membres de l'équipe MISA du Centre de recherche LICEF, Michel Léonard, Johanne Rocheleau et Chantal Paquin, pour leur participation aux travaux d'élaboration de la méthode, Gisèle Gagné qui en a réalisé l'édition, les équipes de conception pédagogique de la Télé-université et des autres organisations qui l'ont expérimenté et, finalement, le Fonds de l'autoroute de l'information et le Réseau

canadien de centre d'excellence en Télé-apprentissage qui ont financé en partie les recherches.

## Références bibliographiques

- [Anderson 1985] J. R. Anderson. (1985), *Cognitive psychology and its implications*. New York, Freeman
- [Aubin et al, 1995a] Aubin, C. et Crevier, F. (1995), *Rapport d'expérimentation et recommandations*. Document interne. Centre de recherche LICEF. Montréal: Télé-université. 95 p.
- [Aubin et al, 1995b] Aubin, C., Crevier, F. et Paquette, G. (1995), *Méthode d'ingénierie didactique - Document de référence*. Document interne. Centre de recherche LICEF. Montréal: Télé-université. 133 p.
- [Bartlett 1932] F.C. Bartlett. (1932), *Remembering*. Cambridge University Press, England.
- [Bloom, 1975] Bloom, Benjamin S. (1975), *Taxonomy of Educational Objectives: the Classification of Educational Goals*. New York: D. McKay.
- [Bruner 1973] J. Bruner. (1973), *Beyond the information given*. New York, Norton.
- [Budgen, 1994] Budgen, D. (1994), *Software Design*. New York: Addison-Wesley. 382 p.
- [Chapman 1995] Chapman, Brian L. (1995), *Accelerating the Design Process: A Tool for Instructional Designers*. In CBT Solutions. Septembre 1995.
- [Chen, 1976] P.P.S Chen. (1976), *The Entity-Relationship model - toward a unified view of data*. ACM Transactions on Database Systems 1,1 (march 1976)
- [Duchastel, 1990] Duchastel, P.C. (1990), *Cognitive Design for Instructional Design*. In *Instructional Science* 19: 437-444.
- [Goël et Pirolli, 1989] Goël V., Pirolli P. (1989), "Design within Information-Processing Theory: The Design Problem Space", *AI Magazine*, Spring 1989: 19-36.
- [Gustafson, 1993] Gustafson, Kent L. (1993), *Instructional Design Fundamentals: Clouds on the Horizon*. In *Educational Technology*. Février 93.
- [Gustafson et al., 1993] Gustafson, Kent L. et Reeves, Thomas, (1993), *CIDioM: A Platform for a Course Development Expert System*. In *Educational Technology*. Mars 90: 19-25
- [Inhelder et Piaget 1958] B. Inhelder & J. Piaget. (1958), *The growth of logical thinking from childhood to adolescence*. New York: Basic Books
- [Jonassen et al., 1991] Jonassen, D.H., Grabinger R.S. et Harris N.D.C. (1991), *Analyzing and Selecting Instructional Strategies and Tactics*. In *Performance Improvement Quarterly*, Vol. 4 No. 2: 77-97

- [Jones M.K., 1990] Jones, Mark K., Li Z. et Merrill D. (1990), *Domain Knowledge Representation for Instructional Analysis*. On Educational Technology. Octobre 1990: 7-32.
- [Jones M, 1990] Jones, Marlene et Wipond, Kevin. (1990), *Curriculum and Knowledge Representation in a Knowledge-Based System for Curriculum Development*. In Educational Technology. Mars 1990: 7-14.
- [Joyce et al., 1986] Joyce, Bruce et Weil, Marsha. (1986), *Models of Teaching*. 3e édition. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall Inc. 496 p.
- [Krathwohl, 1970] Krathwohl, David R. (1970), *Taxonomie des objectifs pédagogiques – Tome 2: Domaine affectif*. Montréal: Éducation Nouvelle. 231 p.
- [Lecavalier, 1991] Lecavalier, J. (1991), *Les outils de design pédagogique assisté par ordinateur: contexte et bilan*. Laval, Québec: CCRIT, octobre 1991, 130p.
- [Legendre, 1993] Legendre, Renald. (1993), *Dictionnaire actuel de l'éducation - 2e édition*. Montréal: Guérin Éditeur. 1500 p.
- [Merrill 1994] D. Merrill. (1994), *Principles of Instructional Design*. Educationnal Technology Publications, Englewood Cliffs, New Jersey, 465 pages.
- [Merrill et al, 1992] Merrill M.D., Li Z., Jones M.K., (1992), *Instructional Transaction Shells: Responsibilities, Methods, and Parameters*, Educational Technology, February 1992, pp 5-26
- [Merrill, 1996] Merrill, D. (1996), *Instructional Transaction Theory: Instructional Design Based on Knowledge Objects*. In Educational Technology, Mai-Juin 1996: 30-37.
- [Minski 1975] M. Minski (1975), *A framework for representing knowledge*. In P. H. Winston (ED.), *The psychology of computer vision*. New York: McGraw-Hill.
- [Newell et Simon 1972] S. Newell & H. Simon. (1972), *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NF: Prentice-Hall.
- [Noël, 1991] Noël, Bernadette. (1991), *La métacognition*. Bruxelles: De Boeck-Wesmael. 229 p.
- [Paquette et al, 1994a] G. Paquette, F.Crevier, C. Aubin. (1994), *ID Knowledge in a Course Design Workbench*. Educationnal Technology, USA, volume 34, n. 9, pp. 50-57, November 1994
- [Paquette et al, 1996] G. Paquette and J. Girard. (1996), *AGD: a course engineering support system*, ITS-96, Montréal, June 1996.
- [Paquette, 1993] G. Paquette. *Un système de modélisation cognitive et métacognitive pour l'ingénierie didactique* Notes de recherches du LICEF, Novembre 1993.
- [Paquette, 1996] G. Paquette. *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, avril 1996
- [Paquette et al, 1994b] Paquette, G., Crevier, F., Girard, J. et Aubin, C. (1994a). *Système conseiller – Contenu, méthode et outils de développement*. Notes de recherche. Centre LICEF-Télé-université. 126 p.
- [Paris et al, 1983] S. Paris, M.Y. Lipson, & K.K. Wixson. (1983), *Becoming a strategic reader*. Contemporary Educational Psychology, 8, 293-316
- [Pirolli et al, 1988] Pirolli, Peter et Greeno, James G. (1988). *The Problem Space of Instructional Design*. In Psotka J., Massey L.D., Mutter S.A. (Eds) *Intelligent Tutoring Systems - Lessons Learned* (pp. 181-201). Hillsdale, N.J.: Laurence Erlbaum Associates Publishers.
- [Pirolli et al, 1990] Pirolli, Peter et Russell, Daniel M. (1990), *The Instructional Design Environment: technology to support design problem solving*. In *Instructional Science* 19: 121-144.
- [Pitrat, 1991] Jacques Pitrat. (1991), *Métaconnaissance, avenir de l'Intelligence Artificielle*. Hermès, Paris, 1991.
- [Polya, 1957] Georges Polya. (1957), *How to Solve It?*, Princeton University Press, 1957.
- [Polya, 1967] Georges Polya. (1967) *La découverte des mathématiques*, volumes I et II, Wiley, Dunod Paris, 1967.
- [Reigeluth, 1987] Reigeluth, C. (1987), *Instructional Theories in Action: Lessons Illustrating Selected Theories and Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum.
- [Romiszowski 1981] A. J. Romiszowski. (1981), *Designing Instructional Systems*. Kogan Page London/Nichols Publishing, New York, 415 pages.
- [Rumbaugh et al, 1991] J. Rumbaugh, M. Blaha, W. Premerlani, F. Eddy, W Lorensen. (1991), *Object-Oriented Modelling and Design*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [Schreiber, 1993] Schreiber G., Wielinga B., Breuker J. (1993), *KADS – A Principled Approach to Knowledge-based System Development*. San Diego : Academic Press. 457 p.
- [Sowa, 1984] J.F. Sowa. (1984), *Conceptual Structures, Information Processing in Mind and Machine*, Addison-Wesley Publishing Co, Reading, Mass, 481 pages.
- [Spector et al, 1993] J.M. Spector, M.C. Polson, D.J. Muraida (Eds), (1993), *Automating Instructional Design, Concepts and Issues*, Educational Technology Publications, Englewood Cliffs, New Jersey, 364 pages.
- [Tardif, 1992] J. Tardif. (1992), *Pour un enseignement Stratégique, l'apport de la psychologie cognitive*. Les éditions LOGIQUES, Montréal.
- [Tennyson, 1990] Tennyson, Robert D. (1990) *Cognitive Learning theory Linked to Instructional Theory*. In *Journal of Structured Learning*, Vol. 10(3): 249-258
- [Tennyson et al., 1988] Tennyson, Robert D. et Rasch M. (1988), *Linking Cognitive Learning Theory to Instructional Prescriptions*. In *Instructional Science* 17: 369-385.

**[West, 1991]** C. K. West, J. A. Farmer, P. M. Wolff. (1991), *Instructional Design, Implications from Cognitive Science*. Allyn and Bacon, Boston, 271 pages.

**[Winn, 1990]** Winn W. (1990), *Some implications of cognitive theory for instructional design*. *Instructional Science* 19: 53-69

**[Winograd 1985]** T. Winograd. (1985), *Beyond the declarative/procedural controversy*, in R. J. Brachman & H. J. Lévesque (Eds), *Readings in Knowledge Representation*. Morgan Kaufmann Publishers.

**[Yourdon, 1989]** E. Yourdon. (1989), *Modern Structured Analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.