

# **MODELISATION des CONNAISSANCES Et des COMPETENCES**

Un langage graphique pour concevoir et apprendre

Par Gilbert PAQUETTE

**RESUME DE L'OUVRAGE**

**Réalisé par F. BEGHIN**

## INTRODUCTION

### POURQUOI CET OUVRAGE ?

Le développement des **compétences**, c'est-à-dire des habiletés génériques que peuvent exercer des personnes sur les **connaissances**, constitue le principal défi de notre siècle. Les compétences que possède une personne pour acquérir, traiter et communiquer les connaissances constituent la principale richesse des individus comme celle des sociétés et des organisations.

*Nous sommes convaincus que le téléapprentissage, l'apprentissage en réseau et son ingénierie sont l'avenir de la formation. Nous croyons aussi que la **modélisation des connaissances** est l'avenir de l'ingénierie des systèmes éducatifs.*

Pour traiter les connaissances et les compétences, pour les acquérir, pour concevoir des environnements d'apprentissage, pour construire les processus par lesquels une organisation devient apprenante, axée sur le **savoir**<sup>1</sup>, il faut représenter les connaissances. C'est justement là l'objet des méthodes de modélisation des connaissances : identifier et structurer les connaissances en une représentation schématique pour les rendre visibles, manipulables, compréhensibles, communicables.

Notre but ici est de proposer une technique générale de modélisation des connaissances adaptée aux besoins des apprenants et des concepteurs d'un système d'apprentissage (SA) ou d'un système de soutien au travail. Ces personnes ont besoin d'une **vue d'ensemble cohérente**, souvent fort nuancée et détaillée, **des principales connaissances** et **de leurs liens** qui, ensemble, constituent un domaine des connaissances.

---

<sup>1</sup> Les termes « savoir » et « connaissance » sont souvent utilisés comme synonymes. Comme les informations, mais contrairement aux connaissances, nous définissons le savoir ou les savoirs comme étant extérieurs aux individus. Cependant, à l'opposé des informations, le savoir ou les savoirs spécialisés se composent d'ensembles complexes d'informations triées, mises en forme, structurées et interprétées, de façon qu'on en obtienne une représentation cohérente et transmissible d'un domaine.

### INFORMATION ET CONNAISSANCE

Il importe, d'entrée de jeu, d'établir la distinction entre les concepts d'**information** et de **connaissance**.

*Par « information », nous entendons toutes les données **extérieures** aux personnes, communiquées oralement par d'autres ou médiatisées dans des matériels sur divers soutiens numériques, imprimés ou analogiques.*

*Par « connaissance », nous entendons le résultat de toute **construction mentale** effectuée par un individu à partir d'informations ou d'autres stimuli. L'apprentissage par un individu consiste à transformer des informations en connaissances.*

Notre proposition principale, développée tout le long de ce livre, est que cette représentation des connaissances doit être fondée sur l'usage de modèles graphiques, en distinguant **les types de connaissances** et de **relations entre elles**, pour soutenir adéquatement l'apprentissage et la conception des SA et de soutien de travail. D'où le titre de ce livre : la modélisation des connaissances et des compétences – Un langage graphique pour concevoir et apprendre.

### CONTENU DE L'OUVRAGE

Cet ouvrage est subdivisé en 10 chapitres.

**Le chapitre 1** est une introduction au phénomène de la représentation de la réalité au moyen de langages naturels ou formels, particulièrement des langages graphiques utiles en éducation.

**Le chapitre 2** présente une méthode de représentation. La modélisation par objets typés (MOT) repose sur une représentation graphique des divers types de connaissances et des liens dans un domaine du savoir.

**Le chapitre 3** souligne la généralité de la représentation par objets typés en montrant la possibilité d'y intégrer une grande diversité d'objets définissant un domaine de la connaissance. Nous décrivons plusieurs types de modèles qui peuvent être représentés dans le système MOT : système de faits, taxonomies, objets composés complexes, systèmes procéduraux, définitions et théories, arbres de décision, structures de contrôle, processus et méthodes, systèmes multi-agents.

**Le chapitre 4** est consacré à « **comment représenter** », c'est-à-dire à la façon de construire un modèle des connaissances.

**Au chapitre 5**, nous abordons l'étude des compétences et de leur relation avec les connaissances et les habiletés.

**Le chapitre 6** propose une définition de ce que l'on appelle les « **habiletés** », c'est-à-dire les ensembles structurés d'actions intellectuelles, d'attitudes, de valeurs et de principes qui sont au cœur de la définition des compétences.

**Le chapitre 7** définit une taxonomie des habiletés. En tant que processus génériques, les habiletés cognitives, affectives, sociales ou psychomotrices peuvent être vues soit comme des méthodes de solution pour des types de problèmes, soit comme des connaissances actives agissant sur d'autres connaissances, ou encore comme un objectif d'apprentissage ou comme une base de stratégie pédagogique.

**Dans le chapitre 8**, nous reprenons la taxonomie des habiletés construite au chapitre précédent. Nous l'utilisons comme base d'une méthode permettant d'analyser ou de construire un profil de compétences au moyen d'énoncés standardisés qui servent d'appui aux principaux travaux d'ingénierie pédagogique, par exemple la modélisation des connaissances, l'évaluation des compétences, la scénarisation pédagogique ou la sélection des ressources nécessaires aux différents acteurs dans un SA.

**Le chapitre 9** présente des applications plus poussées de la modélisation des connaissances et des compétences.

Nous concluons cet ouvrage au **chapitre 10** par une discussion sur **le Web sémantique**. Dans le Web de demain, pour traiter une masse de données sans cesse croissante, on devra avoir recours à la représentation des connaissances pour attribuer un sens aux informations. Cette représentation du sens, manipulable par des programmes informatiques, nous aidera à sélectionner, à trier et à traduire les informations qui nous sont utiles. La notion d'ontologie, instrument du Web sémantique, y est vue comme un type de modèle particulier, **une théorie d'un domaine des connaissances**.

## AVERTISSEMENT

**ATTENTION NOUS N'AVONS RESUME QUE LES QUATRE PREMIERS CHAPITRES DE L'OUVRAGE.**

Pour réaliser ce résumé nous avons utilisé des extraits *des textes originaux* de l'auteur et nous avons très souvent suivi le plan de l'ouvrage. Nous avons ajouté à la fin de chaque chapitre *une synthèse* du chapitre.

Ainsi donc, compte tenu de la complexité et de la richesse de cet ouvrage, nous avons réalisé une compilation des textes *les plus significatifs* (de notre point de vue) afin de permettre au lecteur de s'approprier la méthode de représentation des connaissances le plus facilement possible.

Enfin, afin d'alléger au maximum ce résumé, nous avons développé davantage certains chapitres et certains paragraphes plutôt que d'autres.

Pour lire ce résumé vous pouvez vous limiter à **l'introduction** qui donne une vision globale de l'ouvrage.

Par contre si vous voulez vous approprier la méthode d'élaboration des modèles de connaissances nous vous conseillons de lire **dans l'ordre** les **chapitres 1** (le pourquoi), **chapitre 2** (le langage graphique : lexicque et grammaire, le quoi), **chapitre 3** (présentation et distinction des différents types de modèles, le quand) et enfin le **chapitre 4** (réalisation d'un modèle des connaissances, le comment).

*Nous ne vous conseillons pas de lire ce document d'un trait, il suppose une assimilation progressive.*

## SOMMAIRE

|   |          |
|---|----------|
| <b>CHAPITRE 1 : Représenter les connaissances</b>                         | <b>8</b> |
| 1.1 Langage et représentation des connaissances.....                      | 8        |
| 1.2 Exemples de représentations graphiques.....                           | 8        |
| 1.3 Représentation des connaissances et apprentissage.....                | 9        |
| 1.4 Représentation des connaissances et ingénierie pédagogique.....       | 11       |
| Chapitre 2 : la modélisation par objets typés (MOT).....                  | 15       |
| 2.1 Principes de base de la modélisation par objets typés.....            | 16       |
| 2.2 La sémantique du langage de représentation MOT.....                   | 19       |
| 2.3 Définition du système de représentation graphique MOT.....            | 29       |
| 2.4 Exemples de représentation.....                                       | 32       |
| Chapitre 3 : taxonomie des modèles.....                                   | 34       |
| 3.1 Bases d'une classification des modèles.....                           | 34       |
| 3.2 Systèmes factuels.....  | 38       |
| 3.3 Systèmes conceptuels.....   | 39       |
| 3.4 Systèmes procéduraux.....   | 40       |
| 3.5 Systèmes prescriptifs.....  | 43       |
| 3.6 Processus et méthodes.....  | 44       |
| Chapitre 4 : outils et technique de modélisation.....                     | 47       |
| 4.1 Les éditeurs de modèles MOT et MOT+.....                              | 47       |
| 4.2 Vue générale du processus de modélisation.....                        | 49       |
| 4.3 Définir les objets d'apprentissage.....                               | 54       |
| 4.4 Prioriser les connaissances à développer.....                         | 61       |
| 4.5 Développer le modèle des connaissances par niveaux.....               | 64       |
| 4.6 Définir ou Coréférencer les connaissances dans d'autres domaines..... | 66       |
| 4.7 Valider et documenter un modèle.....                                  | 68       |

## CHAPITRE 1 : Représenter les connaissances

Le but de ce chapitre est d'approfondir ce qu'est la représentation des connaissances à l'aide de *systèmes organisés de symboles*, de définir ces systèmes et d'en écrire les usages pour comprendre, communiquer et résoudre.

### 1.1 Langage et représentation des connaissances

- **Modèle mental et représentations.**
- **La représentation des connaissances.** Les connaissances en neurologie, en psychologie cognitive, en linguistique et en intelligence artificielle convergent toutes vers le caractère associatif des représentations mentales. *Des représentations sous la forme de réseaux d'associations entre les idées* ont été proposées par de nombreux chercheurs. Représenter symboliquement un certain nombre de connaissances, c'est définir un ensemble d'expressions et faire correspondre à chaque connaissance une ou plusieurs expressions, ainsi qu'à chaque expression une ou plusieurs connaissances.
- **Grammaire et sémantique.** L'élaboration d'un système de représentation comporte notamment les étapes suivantes : 1 la définition d'un lexique, 2 la définition d'une grammaire, 3 la définition d'une sémantique.
- **Un langage formel** : les propositions.

### 1.2 Exemples de représentations graphiques

- Arbres sémantiques et cartes conceptuelles.
- Réseaux sémantiques et graphes entités-relations.
- Algorithmes et ordinogrammes.
- Diagramme causal et arbres de décision.
- Arbres de déduction.
- Modèles orientés objets.

### 1.3 Représentation des connaissances et apprentissage

- **La représentation par schémas ou schèmes.** Représentation structurée des connaissances et apprentissage sont intimement liés. Il nous est impossible de comprendre sans identifier et classier les objets et les idées, et sans les relier par des associations dans une organisation, dans une structure. Sans ces structures, nous ne pourrions pas construire des représentations mentales nous rendant le monde intelligible. Les objets pourraient avoir une identité, mais nous ne pourrions les relier entre eux. *La notion de schéma ou schème comme composante de base des structures mentales* que nous construisons est maintenant bien établie en psychologie cognitive. Les schémas jouent un rôle primordial dans la construction des connaissances, élément central du processus d'apprentissage, les schémas guident **la perception** définie comme un processus actif, constructif et sélectif, servent de matériaux aux processus de **mémorisation** et du souvenir, rendent la **compréhension** possible par la confrontation des schémas existants avec des évènements nouveaux, servent de soutien à la **résolution de problèmes** et à l'accomplissement de tâches complexes. Du point de vue de la psychologie cognitive, l'apprentissage est le résultat d'un processus de construction et de reconstruction des schémas, une interaction avec le monde physique et social plutôt qu'une simple recherche et un transfert des informations que celui-ci contient. *Le lien entre représentation des connaissances et apprentissage peut être décrit ainsi* : l'apprentissage est un processus par lequel on passe d'une forme de représentation des connaissances à une autre forme plus évoluée. L'apprentissage est le processus, alors que la représentation des connaissances est le point de départ et le résultat.

- **Diagnostiquer et évaluer les connaissances.** La représentation des connaissances joue un rôle central dans l'apprentissage. Elle peut servir à diagnostiquer ou à évaluer des connaissances d'un apprenant, à communiquer à l'apprenant des informations structurées utiles pour son apprentissage ou servir de base à des stratégies d'apprentissage appliquées par l'apprenant. Diagnostiquer ou évaluer les connaissances d'une personne est un processus en trois étapes : extraire les connaissances du sujet au moyen de diverses techniques, les représenter structurellement, puis comparer cette représentation avec un modèle idéal, qui peut être fourni par un expert du domaine (Jonassen et al, 1993).
- **Structurer les informations à communiquer.** *Il s'agit ici de structurer le contenu de l'apprentissage dans le but de le présenter à l'élève ou de rassembler les matériels pédagogiques en fonction de cette structure. On pourra utiliser diverses méthodes de représentation sous forme de listes et de tableaux ou de représentations graphiques comme les cartes conceptuelles, les réseaux sémantiques, les cartes causes – effets, etc., dans le but d'offrir une vue synthétique de la matière.*
- **Apprendre en représentant les connaissances.** Une stratégie d'apprentissage est un ensemble d'opérations mentales qu'un apprenant utilise pour acquérir des connaissances. Les stratégies d'apprentissage sont des habiletés généralisables qui peuvent être appliquées dans différents domaines. *Elles visent à accroître le nombre d'associations entre de nouvelles informations et les connaissances déjà acquises.* Au nombre de ces stratégies, on trouve différentes formes de construction graphique ou de tableau. Cette fois c'est l'apprenant et non le formateur ou le concepteur qui construit les représentations. La construction de réseaux sémantiques par l'apprenant permet à celui-ci de bâtir ses stratégies d'apprentissage.

- Dansereau (1978) a conçu une technique de représentation des connaissances dans ce but. Les étudiants structurent un domaine d'apprentissage en construisant un réseau qui prend la forme d'un ensemble de nœuds réunis par certains liens prédéfinis. *Des recherches ont démontré que le système à 6 liens semble efficace et constitue un bon compromis entre la généralité et la spécificité* (Dansereau et Holley, 1982). Les étudiants qui s'en sont servis se rappellent mieux les concepts que ceux qui n'ont pas utilisé la technique de représentation. De plus, les étudiants considèrent qu'il s'agit d'une technique utile pour la résolution de problèmes.

### 1.4 Représentation des connaissances et ingénierie pédagogique

La méthode MISA permet de produire 4 *devis*<sup>2</sup> (dossiers) : *le devis des connaissances, le devis pédagogique, le devis des matériels et le devis de diffusion*. Au cœur de chacun de ces devis, on construit **un modèle graphique des connaissances** de la stratégie pédagogique, des matériels et des processus de diffusion. Cela suppose que nous aurons besoin d'une méthode générale de représentation des connaissances dont nous allons jeter ici les bases.

- **Les types de connaissances en éducation.** De plus en plus, les travaux en sciences de l'éducation utilisent le concept de schéma tout en distinguant *des types de connaissances*. L'intention derrière cette classification est d'associer des stratégies pédagogiques aux connaissances visées par l'apprentissage. La Component Display Theory (CDT), théorie de l'instruction élaborée par Merrill (1994) suppose que les produits de l'apprentissage peuvent être classés en un nombre limité de catégories auxquelles on peut associer diverses stratégies pédagogiques. *Cette classification met en jeu une matrice à deux dimensions principales : la performance et le type de contenus.*

---

<sup>2</sup> Devis : terme canadien utilisé pour désigner ce qui sera le dossier des connaissances par exemple et non pas le coût (le devis).

La performance comporte 3 niveaux d'habiletés : se souvenir, utiliser et trouver (ou construire). Ces habiletés s'appliquent à différents « types de contenus » : **les faits** sont, par exemple, une association entre une date et un évènement, le nombre associé à un objet ou la valeur d'un attribut d'un objet ; **les concepts** sont des classes d'objets, d'évènements ou de symboles qui partagent un certain nombre de caractéristiques ; **les procédures** sont des ensembles d'étapes permettant de poser des actions ; **les principes** sont des relations de cause à effet dans un processus.

Romiszowski distingue, lui aussi, 4 types de connaissances de base : les faits, les procédures, les concepts et les principes.

Autre chercheur de pointe en éducation, Tennyson (1990) propose un modèle de design pédagogique qui privilégie les connaissances contextuelles (ou stratégiques) dans les activités d'apprentissage. Décrivant les types de connaissances, il distingue les connaissances déclaratives, procédurales et contextuelles.

D'autres auteurs, comme West et ses collaborateurs, reprennent également ces 3 catégories : les connaissances déclaratives, les connaissances procédurales et les connaissances conditionnelles.

Par rapport aux taxonomies de Merrill et de Romiszowski, celles de Tennyson et de West regroupent les faits et les concepts sous l'expression « connaissances déclaratives » et les principes sous les termes « connaissances contextuelles » ou « connaissances conditionnelles ».

*On peut donc soutenir que, de façon générale, les ouvrages en sciences de l'éducation font état de 4 catégories de connaissances : faits, concepts, procédures et principes. Ce sont également ces catégories que nous retiendrons comme base du système de représentation présenté au chapitre suivant.*

- **La représentation des interactions et de la collaboration.** Les dimensions de collaboration ou de coopération entre les agents dans un processus ont été longuement négligées, bien qu'elles soient de toute première importance en ingénierie pédagogique. Lorsqu'on modélise le contenu d'un système d'apprentissage, il faut pouvoir représenter cette coopération entre agents. Cette question doit-être prise en compte dans *la modélisation des scénarios pédagogiques*, tout comme dans la *représentation des processus de diffusion du téléapprentissage*. Il en est de même, en particulier, dans les systèmes de soutien à la performance puisque, les tâches se complexifiant, leur réalisation nécessite la collaboration et la coopération de plusieurs acteurs ou agents.
- **La modélisation des systèmes d'information.** Les auteurs de la méthode UML la représentent en soulignant l'importance de la modélisation pour l'élaboration des systèmes d'information complexes.

Dans la plupart des cas, nous avons besoin de modèles pour comprendre dans sa totalité le système que nous voulons bâtir. La modélisation nous permet d'atteindre 4 buts : visualiser un système tel qu'il est ou tel que nous voudrions qu'il soit ; spécifier la structure et le comportement du système ; obtenir des plans et devis qui guideront la construction du système ; documenter par la suite les décisions que nous avons prises.

Un système de téléapprentissage étant un système d'information relativement complexe, nous aurons besoin d'une méthode de représentation qui tienne notamment compte des principes suivants : **1 le choix du type de modèles à construire influe nettement sur la façon dont les problèmes sont abordés et les solutions élaborées** (*une des clés de l'ingénierie pédagogique consiste justement à choisir un modèle de départ qui corresponde aux objectifs de la formation*) ; **2 chaque modèle peut-être construit avec différents niveaux de précision** ; **3 les meilleurs modèles sont rattachés à la réalité** ; **4 aucun modèle unique ne suffit en général. Chaque système non trivial doit être conçu en utilisant un petit nombre de modèles presque indépendants.**

### SYNTHESE

Après une justification de l'intérêt des langages graphiques et des schémas (ou schèmes) pour modéliser les connaissances, l'auteur présente les bases de ce qui sera par la suite la représentation des connaissances par objets typés (MOT) à savoir : **4 grands principes** de construction, les **4 types de connaissances** à distinguer ainsi que les **6 types de liens** à utiliser.

Parmi ces 4 principes on retiendra tout particulièrement le premier :

« **Le choix *du type de modèles à construire* influe nettement sur la façon dont les problèmes sont abordés et les solutions élaborées** ».

Ce principe est d'ailleurs applicable pour la structuration des contenus que ce soit avec ou sans modèles graphiques.

### Chapitre 2 : la modélisation par objets typés (MOT)

La modélisation par objets typés (MOT) est une méthode de représentation graphique des connaissances conçue à l'intention **des concepteurs pédagogiques** qui désirent construire un système d'apprentissage ou un système d'aide à la tâche.

Elle peut être également utilisée dans d'autres contextes, notamment **par les apprenants**, comme outil de soutien de leurs travaux et de leurs stratégies d'apprentissage.

Nous avons souligné, au chapitre précédent, la diversité des formes de représentation des connaissances utilisées en éducation et dans le domaine du génie logiciel. Les différents modèles utilisés dans un projet font appel à des techniques de modélisation à la fois complémentaires et différentes. *Le concepteur pédagogique a besoin d'une forme intégrée, facile d'accès et capable de l'aider à construire une vue d'ensemble cohérente des principaux processus, concepts et stratégies qui décrivent un système d'apprentissage.*

Plutôt que de distinguer modèles conceptuels, modèles procéduraux et modèles théoriques et de multiplier les types de représentations, le système décrit ici insiste sur **le traitement intégré des divers types de connaissances**, soit les concepts, les procédures et les principes, et sur leur instanciation sous forme de faits. Cette intégration apparaît nécessaire pour faciliter l'apprentissage de la technique aux concepteurs et aux utilisateurs d'un système d'apprentissage. Cet effort de simplification est compensé par le caractère général de la modélisation par objets typés. Ce système de représentation peut servir aux mêmes fonctions que la plupart des autres techniques mentionnées au chapitre précédent. Ces dernières prendront la forme de divers types de modèles MOT dont nous présenterons une classification au chapitre suivant.

**Le typage des connaissances et des liens** dans un modèle MOT est apparu essentiel, puisque le traitement pédagogique variera selon le type de connaissances. Par exemple, si la connaissance est **un concept**, on pourra la construire par un processus d'induction qui fait alterner la spécification et la généralisation à l'aide d'exemples et de contre – exemples.

Si la connaissance est **une procédure**, on pourra la simuler et la construire par la résolution de problèmes de plus en plus complexes.

Si la connaissance est **un principe**, on pourra la mettre à l'épreuve dans des applications diverses, puis l'établir en la précisant dans des forums de discussion.

Nous présenterons d'abord *les principes de base du système* de représentation, puis *ses principales composantes* et *les règles de composition* des modèles. Nous terminerons ce chapitre par une analyse des possibilités et des limites du système de représentation eu égard à un certain nombre de critères.

### 2.1 Principes de base de la modélisation par objets typés

- **La représentation par schémas (schèmes) dans MOT.** Le système de représentation MOT est fondé sur *la théorie des schèmes* exposée au chapitre précédent. La distinction entre deux grandes catégories de schèmes, les schèmes déclaratifs ou conceptuels et les schèmes procéduraux, est établie depuis longtemps. Les premiers regroupent les données, alors que les seconds contiennent les procédures ou les méthodes de traitement des données permettant d'organiser l'information.

Plus récemment, une troisième catégorie de schèmes, appelés « conditionnels » ou « stratégiques », a été proposée. Ces schèmes se composent de principes dotés d'une ou de plusieurs conditions décrivant le contexte d'application et d'une séquence de procédures à appliquer ou de concepts entre lesquels établir une association.

On distingue donc deux types de principes : les principes d'opération, qui indiquent quand appliquer certaines procédures, et les principes relationnels, qui associent deux ou plusieurs concepts, notamment les relations de cause à effet.

*Les schèmes se prêtent bien à une représentation graphique des connaissances conceptuelles, procédurales ou stratégiques qui décrit leurs principales composantes appelées attributs, de même que le type de « valeurs » que ces attributs peuvent prendre. Ces valeurs sont dites concrètes si on peut leur associer un objet du monde réel, mais le plus souvent elles seront abstraites (un nombre, une couleur, une forme) et pourront être décrites par d'autres schèmes.*

*Dans le système MOT, nous utilisons **quatre types de connaissances : les faits, les concepts, les procédures et les principes**. Des schèmes seront utilisés pour décrire ces quatre types de connaissances. En ce qui concerne les faits, nous en distinguons trois types selon qu'on les obtient en spécifiant un concept, une procédure ou un principe. On parle alors respectivement **d'exemple** du concept, **de trace** d'une procédure ou **d'énoncé** d'un principe. On trouve essentiellement dans le système MOT les catégories de connaissances présentes dans des travaux comme ceux de Merrill, de Romiszowski ou de Tennyson dont nous avons parlé au chapitre précédent.*

*Dans MOT on représente les acteurs par des connaissances de type **principe**, l'acteur étant vu comme appliquant des principes qui visent à contrôler une procédure. En rattachant ces unités aux procédures qu'elles régissent par un lien spécial dit de régulation, on peut représenter la distribution des tâches entre les agents. En décomposant le principe, on peut décrire la stratégie de communication et de contrôle à la base de la coopération de façon aussi détaillée que nécessaire.*

*Ces schèmes peuvent être combinés au moyen de **six types de liens de base** : l'**instanciation**, la **spécialisation**, la **composition**, la **précédence**, la **relation intrant/produit** et la **régulation**. Un septième lien d'application servira à lier des modèles entre eux, notamment pour la représentation des compétences. Au besoin, le modélisateur pourra aussi utiliser des liens « non typés » pour illustrer d'autres types d'associations entre les schèmes représentant les connaissances. Soulignons que ces liens sont aussi des schèmes qui ont un nom, une représentation graphique, une origine et une destination. Contrairement à ce qu'on trouve dans d'autres systèmes de représentation, **ce sont donc des liens orientés**.*

- **Objectifs de la représentation.**

Pour construire ce système de représentation, nous nous sommes fixé cinq grands objectifs : **simplicité**, **généralité**, **complétude**, **facilité d'interprétation**, de même que **standardisation** et **communicabilité**.

- **Principes de construction du système de représentation.**

**1** Toutes les connaissances seront représentées par des schèmes dont la forme dépendra du type de connaissances : **faits**, **concepts**, **procédures** ou **principes**.

**2** Tous les attributs des schèmes pourront être représentés par des liens entre connaissances, tels que **l'instanciation**, la **spécialisation**, la **composition**, la **précédence**, la **relation intrant-extrant**, la **régulation** ou **l'application**.

**3** Toutes les connaissances abstraites (concepts, procédures, principes) pourront être instanciées pour produire différents ensembles de faits, respectivement appelés **exemples**, **traces** ou **énoncés**.

**4** Toutes les connaissances abstraites (concepts, procédures, principes) pourront être hiérarchisées.

**5** La notion de processus pourra être représentée par une connaissance de type procédure munie de ses intrants, de ses extrants et de ses principes d'opération.

**6** Les intrants ou données, de même que les extrants ou produits d'une procédure, pourront être représentés par des concepts instanciés et au besoin par des faits selon le niveau de généralité de la procédure.

**7** La structure de contrôle d'une procédure pourra être représentée par des principes régissant la procédure de l'extérieur ou intégrés dans la procédure sous la forme de règles de décision.

**8** Les agents ou les acteurs d'un système distribué ou coopératif pourront, si nécessaire, être représentés par des schèmes de type principe qui ne mettront en évidence que leur aspect de contrôle.

### 2.2 La sémantique du langage de représentation MOT

Un modèle MOT se compose de six types de connaissances et de sept types de relations, ou de liens, entre ces connaissances.

Les connaissances sont représentées par des figures géométriques qui en indiquent le type. Il peut s'agir de connaissances abstraites ou de faits et aussi, nous le verrons plus loin, d'habiletés.

Les **connaissances abstraites** sont des connaissances qui représentent des classes d'objets, permettant de classifier les faits et de les organiser en des ensembles cohérents plus ou moins complexes. On distingue trois types de connaissances abstraites : les concepts, les procédures et les principes.

Les **faits** sont les données, les observations, les exemples, les prototypes, les démarches de production ou les énoncés qui nous permettent de décrire les objets particuliers. On distingue également trois types de faits : les exemples, les traces et les énoncés.

Les relations entre les connaissances sont représentées par des liens orientés dotés d'une lettre désignant le type de relation. Les relations entre connaissances correspondent à sept types de base.

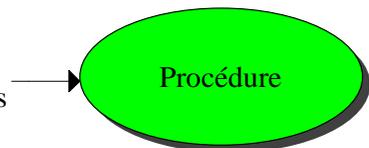
Un premier type de liens, l'instanciation, relie les connaissances abstraites et les faits. Cinq autres types de liens rattachent entre eux les divers types de connaissances abstraites. Un septième type de lien, qui associe notamment les habiletés aux connaissances, sera présenté plus en détail plus loin.

## Les types de connaissances abstraites et leur symbole graphique

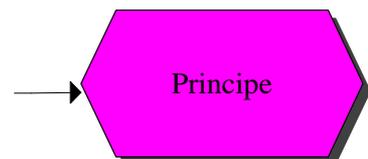
Les concepts ou connaissances conceptuelles décrivent la nature des objets d'un domaine (le quoi); ils représentent une classe d'objets par les propriétés communes à ces derniers, chaque objet de la classe se distinguant des autres par les "valeurs" que prennent ses propriétés.



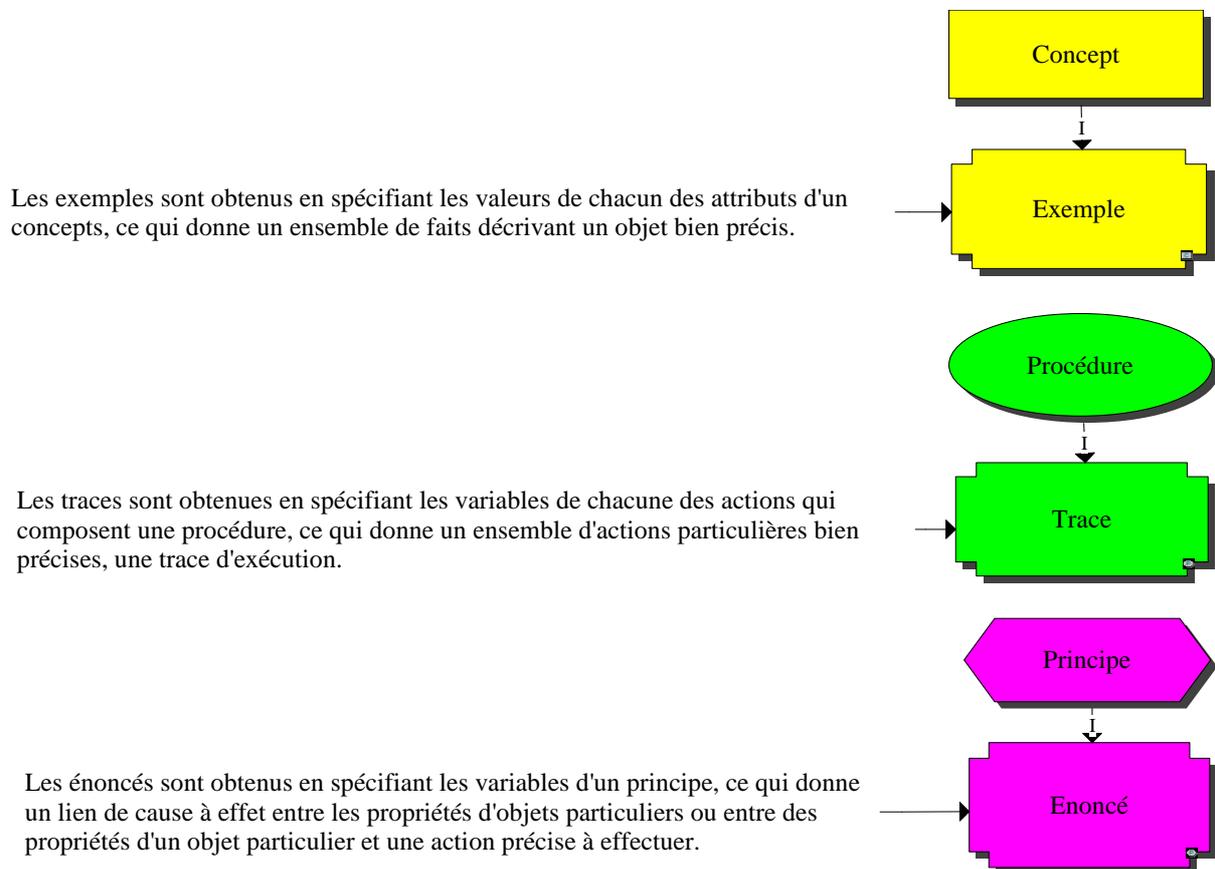
Les procédures ou connaissances procédurales décrivent des ensembles d'opérations permettant d'agir sur les objets (le comment); elles s'intéressent aux combinaisons d'actions qui s'appliquent dans plusieurs cas, chaque cas se distinguant des autres par les objets auxquels les actions peuvent s'appliquer et les transformations qu'on leur fait subir.



Les principes ou connaissances stratégiques sont des énoncés permettant de décrire les propriétés des objets, d'établir des liens de cause à effet entre les objets (le pourquoi) ou de déterminer dans quelles conditions appliquer une procédure (le quand); les principes prennent le plus souvent la forme "si telle condition. Alors telle condition ou telle action".



## Les types de faits et leur symbole graphique



**1 Le lien d'instanciation (I)** relie une connaissance abstraite à un fait obtenu en donnant des valeurs à tous les attributs (variables) qui définissent la connaissance abstraite. Chaque connaissance abstraite, concept, procédure ou principe, « s'instancie » ainsi à un ensemble de faits appelés respectivement exemple, trace ou énoncé.

Exemple : « les voitures Renault » a pour instance « la-voiture-de-Jean ».

**2 Le lien de composition (C)** relie une connaissance à une de ses composantes ou de ses parties constitutives. On peut ainsi définir les attributs d'un objet comme étant des composantes de la connaissance représentant l'objet en reliant celle-ci à chacun de ses attributs par un lien de composition « se compose de ».

Exemple : « L'automobile » se compose d'une « carrosserie ».

**3 Le lien de spécialisation (S)** met en relation deux connaissances abstraites de même type, dont l'une est « une sorte de », un cas particulier de l'autre. Autrement dit, la seconde est plus générale ou plus abstraite que la première.

Exemple : Une « décapotable » est une sorte « d'automobile ».

**4 Le lien de précédence (P)** relie deux procédures ou deux principes dont le premier doit être terminé ou évalué avant que le second commence.

Exemple : « Faire le plan » précède « rédiger le texte ».

**5 Le lien intrant/produit (I/P)** relie un concept et une procédure. Du concept vers la procédure, on dira que le concept est un intrant de la procédure. De la procédure vers le concept, on dira que la procédure a pour produit le concept, celui-ci représentant généralement la classe d'objets résultant de la procédure.

Exemple : « le plan » est intrant de « rédiger le texte ». « Rédiger le texte » a pour produit « le texte ».

**6 Le lien de régulation (R)** s'utilise d'un principe vers une autre connaissance abstraite qui peut-être un concept, une procédure ou un autre principe. Dans le premier cas, le principe définit le concept par des contraintes à satisfaire (parfois appelées contraintes d'intégrité) ou encore établit une loi ou une relation entre deux ou plusieurs concepts. D'un principe vers une procédure ou un autre principe, le lien de régulation signifie que le principe contrôle de l'extérieur (régit) l'exécution d'une procédure ou la sélection d'autres principes.

Exemples : « les règles de disposition sur la page » régissent « le plan ». « Les règles de contrôle du trafic » régissent « faire décoller un avion ». « Les règles de gestion de projet » régissent « les principes de design à appliquer ».

**7 Le lien d'application (A)** relie un fait à une autre connaissance ; ce fait est déterminé par une connaissance générique définie dans un autre domaine (qualité de domaines des « méta connaissances »), et il s'applique à des connaissances spécifiques d'un domaine d'application.

## RESUME

Exemple : L'habileté « simuler une procédure » s'applique à la procédure « faire une recherche dans l'Internet ». Le concept générique « la théorie est suffisamment démontrée » s'applique à « la théorie de l'évolution ».

- **Interprétation des connaissances**

Interprétation des divers types de connaissances

| Type             | Interprétations et exemple  |
|------------------|---|
| <b>Concept</b>   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Classes d'objets : pays, vêtements, véhicules à moteurs</li><li>• Types de documents : formulaires, fascicules, images</li><li>• Catégories d'outils : éditeurs de texte, téléviseurs</li><li>• Catégories de personnes : médecins, Européens</li><li>• Classes d'évènements : inondations, colloques</li></ul>   |
| <b>Procédure</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Opérations génériques : additionner, assembler un moteur</li><li>• Tâches générales : rédiger un rapport, superviser une production</li><li>• Activités générales : participer à un examen, donner un cours</li><li>• Instructions : suivre une recette, assembler un appareil</li><li>• Scénarios : décider du déroulement d'un film, d'une rencontre</li></ul>  |
| <b>Principe</b>  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Propriétés : le contribuable a des enfants, les voitures ont quatre roues</li><li>• Contraintes : la tâche doit être effectuée en 20 jours</li><li>• Relations cause à effet : s'il pleut moins de 5 jours, alors la récolte sera manquée</li><li>• Lois : tout métal chauffé suffisamment s'allonge</li><li>• Théories : l'ensemble des lois de l'économie de marché</li><li>• Règles de décision : les règles permettant de choisir un placement</li><li>• Prescriptions : les principes du design pédagogique</li><li>• Agent régulateur ou acteur : la personne qui rédige un texte</li></ul> |

- **Interprétation des liens I**

Le lien d'instanciation entre un concept et un exemple, entre une procédure et une trace, ou encore entre un principe et un énoncé s'interprète comme suit : tous les attributs variables doivent recevoir une valeur précise, produisant ainsi un individu unique, membre de la classe. La connaissance abstraite est un schème, un moule qui permet de former différentes instances.

L'effet de l'instanciation est différent selon qu'il s'agit d'un concept, d'une procédure ou d'un principe.

*Dans le cas d'un concept*, on obtient un individu membre de la classe d'objets que représente le concept (un exemple). Chaque instance se compose d'un ensemble de faits de type « attribut = valeur ».

*Dans le cas d'une procédure*, on obtient un ensemble d'actions exécutées dans un cas particulier (une trace). Chaque instance se compose d'une suite d'actions qui ont été exécutées dans ce cas particulier.

*Dans le cas d'un principe*, on obtient une affirmation particulière qui peut être vraie ou fausse (énoncé). Chaque instance se compose des énoncés particuliers obtenus par l'instanciation des conditions « si », et des énoncés particuliers obtenus par l'instanciation des conditions « alors » ou des traces des procédures apparaissant dans la partie « alors » du principe.

*Soulignons enfin que la notion de concept et d'exemple est relative. Ainsi, dans le domaine de la modélisation des connaissances, un « téléviseur » est un exemple du concept « concept » et « additionner » un exemple du concept « procédure », alors que dans leurs domaines respectifs (celui des appareils et du calcul) ils sont respectivement « concept » et « procédure ». Les mêmes distinctions existent entre procédures et traces et entre principes et énoncés.*

## RESUME

---

- **Interprétation des liens S**

| Type             | Connaissances spécialisées   | Sortes de   |
|------------------|--|---|
| <b>Concept</b>   | Automobile, avion..<br>Texte de loi, poème..<br>Editeur Word, éditeur français..<br>Contribuable marié, fortuné..<br>Métaux alcalins, métaux lourds..  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Véhicules à moteur</li> <li>• Documents</li> <li>• Editeurs de texte</li> <li>• Contribuables</li> <li>• Métaux</li> </ul>   |
| <b>Procédure</b> | Additionner des entiers, des fractions..<br>Rédiger un livre d'histoire..<br>Gérer un projet informatique..<br>Suivre une recette de confiture..   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Additionner des nombres</li> <li>• Rédiger un livre</li> <li>• Gérer un projet</li> <li>• Suivre une recette</li> </ul>  |
| <b>Principe</b>  | Définition d'un primate..<br><br>Géométrie descriptive..<br>Règles de placement obligatoire..<br>Tout objet en métal, chauffé à plus de 300°C, s'allonge..<br><br>Si sécurité recherchée ou placement inférieur à 5000€, ALORS offrir un dépôt à terme.<br><br>Si sécurité recherchée, ALORS offrir un dépôt à terme de moins d'un an. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Définition d'un mammifère</li> <li>• Théorie mathématique</li> <li>• Règles de placement.</li> <li>• Tout objet en métal, chauffé à plus de 200°C, s'allonge.</li> <li>• Si sécurité recherchée, ALORS offrir dépôt à terme.</li> <li>• Si sécurité recherchée, ALORS offrir un dépôt à terme de moins d'un an.</li> </ul> |

## RESUME

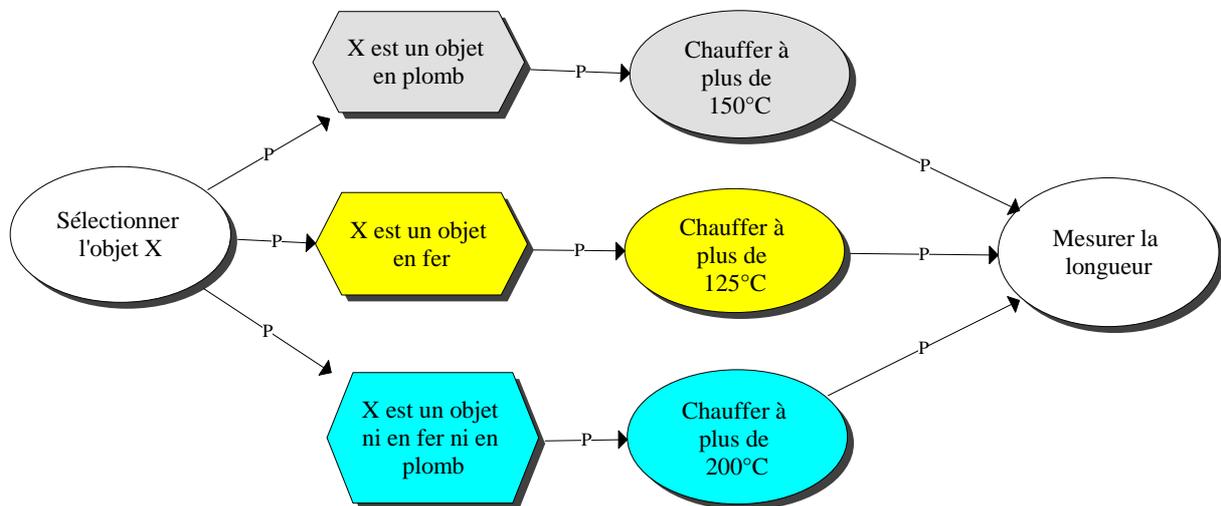
- **Interprétation des liens C**

| Type             | Exemples   | Composantes  |
|------------------|--|--|
| <b>Concept</b>   | Véhicule à moteur<br>Document<br>Editeur de texte<br>Contribuable<br>Rendez-vous   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Moteur, système électrique, direction..</li> <li>• Chapitre, sections, paragraphes, nombre de pages..</li> <li>• Fonctions de sauvegarde, de copie, prix..</li> <li>• Âge, revenu, personnes à charge..</li> <li>• Heure, lieu, sujet..</li> </ul>  |
| <b>Procédure</b> | Additionner<br>Rédiger un livre<br>Donner un cours<br>Suivre une recette<br>Suivre l'ordre du jour   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Additionner les unités, les dizaines..</li> <li>• Faire la recherche, faire le plan..</li> <li>• Introduire le sujet, proposer un exercice..</li> <li>• Regrouper les ingrédients, préparer la marinade..</li> <li>• Adopter l'OJ, traiter le point 1..</li> </ul>  |
| <b>Principe</b>  | Définition d'un mammifère<br>Géométrie<br>Les règles de placement<br>Tout objet de métal, chauffé à plus de 200°C, s'allonge.<br>Si sécurité, ALORS offrir un dépôt à terme. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Animal poilu, animal vivipare..</li> <li>• Chacune des définitions et chacun des théorèmes.</li> <li>• Chacune des règles de choix d'un placement.</li> <li>• L'objet est en métal, la température de chauffage est plus élevée que 200°C, l'objet s'allonge.</li> <li>• Le besoin du client est la sécurité, offrir un dépôt à terme.</li> </ul> |

- **Interprétation des liens P**

Quatre situations peuvent mettre en jeu les liens de précedence (P) : un principe precede un principe, un principe precede une procedure, une procedure precede une procedure et une procedure precede un principe. Le troisieme cas où le lien de precedence relie deux procedures ne presente pas de difficulte d'interpretation. La premiere procedure doit etre terminée avant qu'on execute la suivante.

Exemples de liens P entre une procedure et un principe



Ce modèle de la procédure « Mesurer la dilatation d'un métal chauffé » doit être interprété de la manière suivante : on exécute la procédure « Sélectionner l'objet » ; puis, dans un ordre quelconque, on exécute l'un ou l'autre des trois principes d'action. Pour chacun d'eux, on évalue la condition et, si celle-ci est vérifiée, on exécute l'action correspondante, suivie dans chaque cas de la procédure finale « Mesurer la longueur ». La procédure se compose des huit connaissances présentes dans le modèle, soit cinq procédures et trois principes.

- **Interprétation des liens I/P**

Deux situations peuvent mettre en jeu les liens intrant/produit (I/P) : un concept est intrant à une procédure ou une procédure a pour produit le concept.

Un concept intrant à une procédure peut signifier que la procédure effectuera une transformation des objets représentés par le concept ou s'en servira pour transformer d'autres objets.

Le produit est le résultat, la production, le bien livrable d'une transformation effectuée par une procédure.

- **Interprétation des liens R**

Trois situations peuvent mettre en jeu les liens de régulation (R) : le principe régit un ou plusieurs concepts, une ou plusieurs procédures ou d'autres principes. *Le cas où un principe régit un concept* peut être interprété comme une **définition**, au moins partielle, de ce concept. Il peut également être interprété comme une **norme** ou une **contrainte** que chacune des instances du concept devra respecter.

*Les principes qui régissent une procédure* sont interprétés comme étant une structure de contrôle de la procédure. Les principes régissent la procédure **de l'extérieur**, en précisant de quelle façon la procédure et ses composantes seront exécutées.

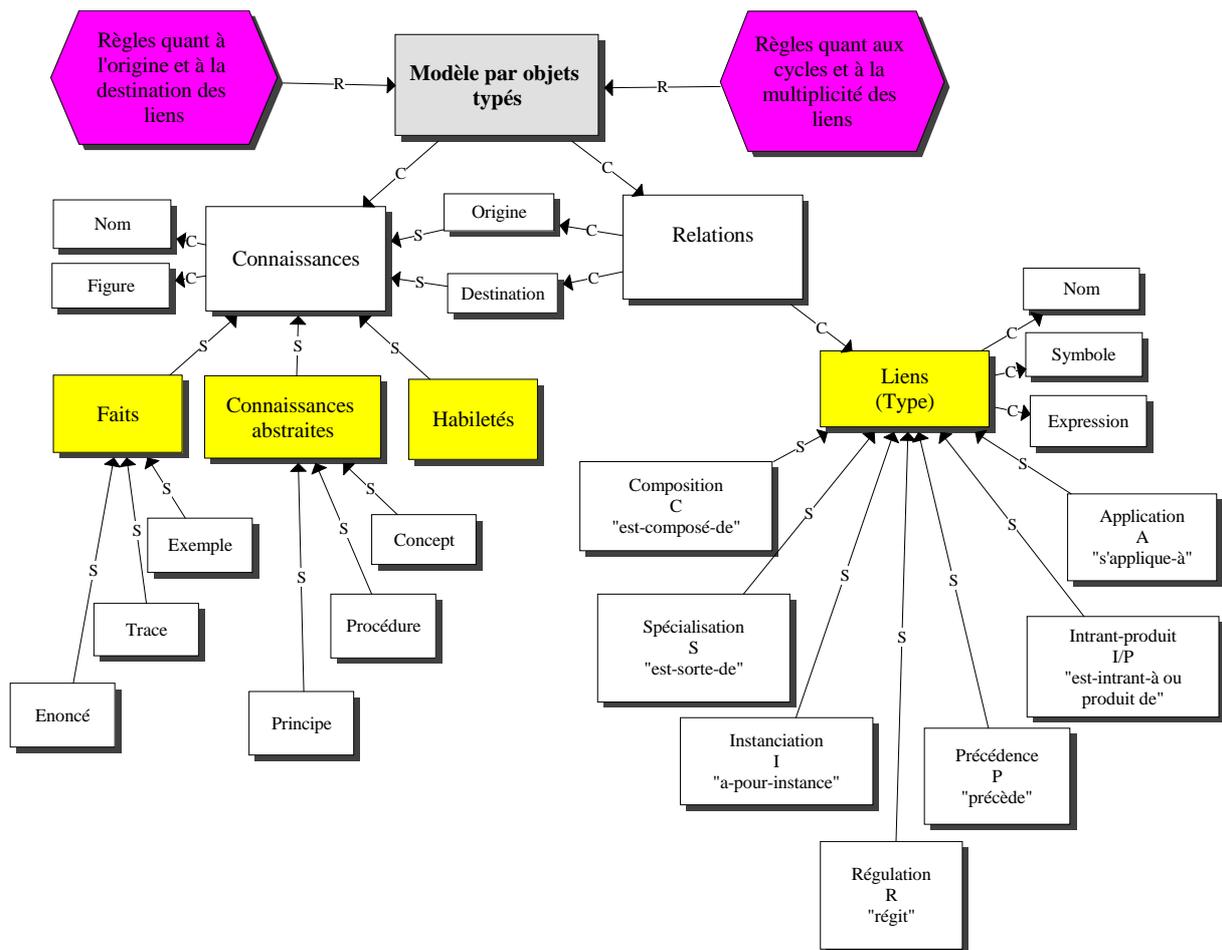
Voyons maintenant le cas où *un principe régit un autre principe*. Le lien R doit alors être interprété comme suit : le principe spécifie les conditions de sélection des principes qu'il régit ; le résultat est l'exécution du principe, de ses conditions et de ses conclusions. Le principe à l'origine du lien R peut également modifier les principes qu'il régit avant leur application.

- **Interprétation des liens A**

Contrairement aux autres liens qui établissent des relations dans un même domaine, le lien A sert à établir une relation entre le domaine où il est utilisé, appelé le domaine d'application, et un autre domaine, dit de méta connaissances.

## 2.3 Définition du système de représentation graphique MOT

- **Modèle des connaissances représentant le système de représentation graphique MOT**



**Le système de représentation est décrit en tant que système conceptuel**, c'est-à-dire que les objets du système MOT sont représentés par des concepts unis par des relations de composition et de spécialisation. Autrement dit, le processus de modélisation, avec ses aspects procéduraux (comment modéliser) ou stratégiques (quand et pourquoi modéliser), n'est pas décrit ici.

Le modèle précédent présente de façon synthétique les composantes d'un modèle par objets typés. On peut y lire les informations qui suivent.

- Un modèle par objets typés est composé uniquement de connaissances et de relations.
- Chacune des relations se compose d'une connaissance appelée « origine », d'un lien et d'une connaissance appelée « destination ».
- Il y a sept sortes de liens : C, S, I, R, P, I/P et A.
- Chaque lien est identifié par un nom, un symbole et une expression qui le désignent lui et lui seul.
- Il y a deux sortes de connaissances : les faits et les connaissances abstraites.
- Il y a trois sortes de faits : les exemples, les traces, les énoncés.
- Il y a trois sortes de connaissances abstraites : les concepts, les procédures, les principes.
- Les habiletés sont des sortes de connaissances.
- Chaque connaissance est désignée par son nom et par une figure géométrique particulière.

On distingue aussi sur le graphe deux groupes de principes ou règles de grammaire : **les règles quant à l'origine et à la destination** des liens qui déterminent les liens possibles entre deux connaissances données, et **des règles qui indiquent les propriétés des relations** quant aux cycles et à la multiplicité des liens dans un graphe.

- **Règles quant à l'origine et à la destination des liens**

Du le tableau placé ci-après, on peut déduire les règles suivantes :

*Le lien d'instanciation* ne peut lier qu'un concept à un exemple, une procédure à une trace ou un principe à un énoncé.

*Le lien de composition* ne peut lier que des connaissances de même type sauf pour les procédures qui peuvent se composer de principes et vice versa (de même pour les faits qui sont des traces et des énoncés).

## RESUME

Le lien C est aussi possible entre concept et exemple, procédure et trace, principe et énoncé.

| Destination<br>>>><br>Origine | Connaissance abstraite |           |            | Fait    |               |            |
|-------------------------------|------------------------|-----------|------------|---------|---------------|------------|
|                               | Concept                | Procédure | Principe   | Exemple | Trace         | Enoncé     |
| Concept                       | C, S                   | I/P       |            | I, C    |               |            |
| Procédure                     | I/P                    | C, S, P   | C, P       |         | I, C          |            |
| Principe                      | R                      | C, R, P   | C, S, P, R |         |               | I, C       |
| Exemple                       | A                      | A         | A          | A, C    | A, I/P        | A          |
| Trace                         | A                      | A         | A          | A, I/P  | A, C, P       | A, C, P    |
| Enoncé                        | A                      | A         | A          | A, R    | A, C, R,<br>P | A, C, R, P |

*Le lien de spécialisation* ne peut lier entre elles que des connaissances abstraites, connaissances qui doivent être du même type.

*Le lien intrant/produit* ne peut lier qu'un concept à une procédure ou vice versa (de même pour les faits qui sont des exemples et des traces).

*Le lien de précédence* ne peut lier qu'une procédure ou un principe à une procédure ou un principe (de même pour les faits qui sont des traces et des énoncés).

*Le lien de régulation* a toujours pour origine un principe et pour destination une autre connaissance abstraite (de même pour les énoncés relativement aux autres faits).

*Le lien d'application* a toujours pour origine un fait et pour destination tout autre type de connaissances abstraites ou de faits.

- **Règles quant aux cycles et à la multiplicité des liens**

Les 7 relations de base de la modélisation par objets typés sont des relations binaires. A ce titre, elles comportent des propriétés intrinsèques, notamment quant à la présence de cycles dans le graphe et à la multiplicité des liens. Mais comme toute bonne règle de grammaire, la plupart des règles qui suivent admettent des exceptions.

**Antiréflexivité** : l'origine et la destination de tout lien doivent être deux connaissances distinctes. Autrement dit, on ne peut tracer un lien d'une connaissance à elle-même.

**Asymétrie** : deux connaissances qui sont liées par un lien ne sont pas liées en sens inverse par le même type de liens, ni par un lien d'un autre type.

**Transitivité** : si un lien relie une connaissance A à une connaissance B et qu'un lien de même type relie cette connaissance B à une connaissance C, alors le même type de liens relie A à C.

**Unicité du lien** : si un lien d'un certain type existe entre deux connaissances A et B, aucun autre lien direct ou indirect d'un autre type n'existe entre ces deux connaissances.

**Cardinalité des liens sortant d'une connaissance** : pour tous les types de liens, une connaissance peut être à l'origine d'un seul ou de plusieurs liens de même type ou de types différents, suivant les liens possibles inscrits dans le tableau des possibilités.

**Cardinalité des liens arrivant à une connaissance** : pour tous les types de liens, une connaissance peut être la destination d'un seul ou de plusieurs liens de même type ou de type différent, dans la mesure où ces liens sont inscrits dans le tableau des possibilités.

### 2.4 Exemples de représentation

Afin de montrer toutes les possibilités du langage MOT, l'auteur cite et représente dans ce paragraphe, différents modèles :

- Arbre sémantique et carte conceptuelle ;
- Réseau sémantique ;
- Ordinogramme ;
- Diagramme causal et arbre de décision ;
- Arbre de déduction.

### SYNTHESE

L'auteur, en détaillant dans ce chapitre le lexique et la grammaire complets du langage MOT nous démontre la « relative » **simplicité** de ce langage que l'on peut mettre en œuvre avec **4 types de connaissances** et **7 types de liens**, du coup sa facilité **d'interprétation** (le lecteur a pu la vérifier en « traduisant » les exemples cités dans ce chapitre), et nous verrons, dans le chapitre suivant, toutes les possibilités **de généralisation** applicables à une très grande variété de modèles.

Ainsi on peut dire que les objectifs initiaux de simplicité, de généralité, de complétude, de facilité d'interprétation, de standardisation et de communicabilité sont atteints.

### Chapitre 3 : taxonomie des modèles

*Avec un petit nombre de types de connaissances et de liens, il est possible de construire des représentations de systèmes de connaissances complexes, comme les taxonomies, les théories, les processus et les méthodes, qui servent à décrire les différents domaines du savoir.*

Dans ce chapitre, nous allons construire une taxonomie des modèles de connaissances et fournir des exemples de chaque type de modèles. Notre objectif est de démontrer la généralité de la représentation en modélisant une grande variété de situations pour lesquelles on utilise d'autres types de représentations ou qui, parfois, ne font même pas l'objet de représentations graphiques.

Ce faisant, nous constituerons **une bibliothèque de modèles** qui aidera le concepteur à démarrer la construction d'un modèle des connaissances en lui offrant un choix de modèles qu'il pourra adapter aux sujets qu'il désire traiter.

#### 3.1 Bases d'une classification des modèles

Le système de représentation par objets typés permet de modéliser des systèmes de connaissances beaucoup plus diversifiés que les quelques exemples présentés jusqu'à maintenant. Les types de connaissances de base, concepts, procédures et principes, et les trois types de faits peuvent se combiner en des systèmes de plus en plus complexes de connaissances structurées.

- **Modèles des connaissances complexes**

L'ensemble des modèles peut être représenté par 4 types de systèmes, les systèmes conceptuels, les théories, les processus et les méthodes, que l'on retrouve partout et auxquels nous allons être en mesure de donner un sens précis et une représentation graphique dans une classification des modèles de connaissances.

**Les systèmes conceptuels** sont constitués d'un nombre plus ou moins grand de concepts mis en relation sous la forme d'un réseau sémantique. Chaque concept possède un certain nombre d'attributs qui sont eux-mêmes reliés par des liens de généralisation, de composition ou d'autres types de liens.

Les exemples sont nombreux dans tous les domaines du savoir. Si l'on se tourne vers les sciences naturelles, on pense à la célèbre taxonomie de Linné dans le domaine des végétaux, aujourd'hui abandonnée, mais aussi aux descriptions qu'il fit de milliers d'espèces animales. En physiologie humaine, les grands systèmes respiratoires, sanguin, osseux, musculaire, nerveux, hormonaux, leurs composantes et leurs interrelations sont des systèmes conceptuels. En science, la classification et la description des solides tridimensionnels, le tableau des éléments périodiques en chimie ou la description des particules atomiques et subatomiques en physique constituent d'autres exemples de systèmes conceptuels. Dans les sciences humaines, la description des régimes politiques, celle des pays et des populations, des époques et des civilisations dans lesquelles les historiens situent les événements, la composante et les fonctions d'une économie sont autant d'exemples de systèmes conceptuels.

**Les théories** sont des systèmes de connaissances qui regroupent plusieurs principes relationnels (les lois ou les théorèmes) établissant des relations entre les concepts (définitions) du domaine.

Là encore on trouve des exemples dans tous les domaines de la connaissance. La théorie de l'économie de marché regroupe des lois comme celle de « l'offre et de la demande », en plus des systèmes conceptuels comme ceux qui définissent l'offre, la demande ou encore les échanges économiques. La théorie des nombres et leurs propriétés, ainsi que les lois et les concepts permettant d'expliquer la gravitation universelle sont des théories, tout comme les principes qui expliquent la dérive des continents en géologie.

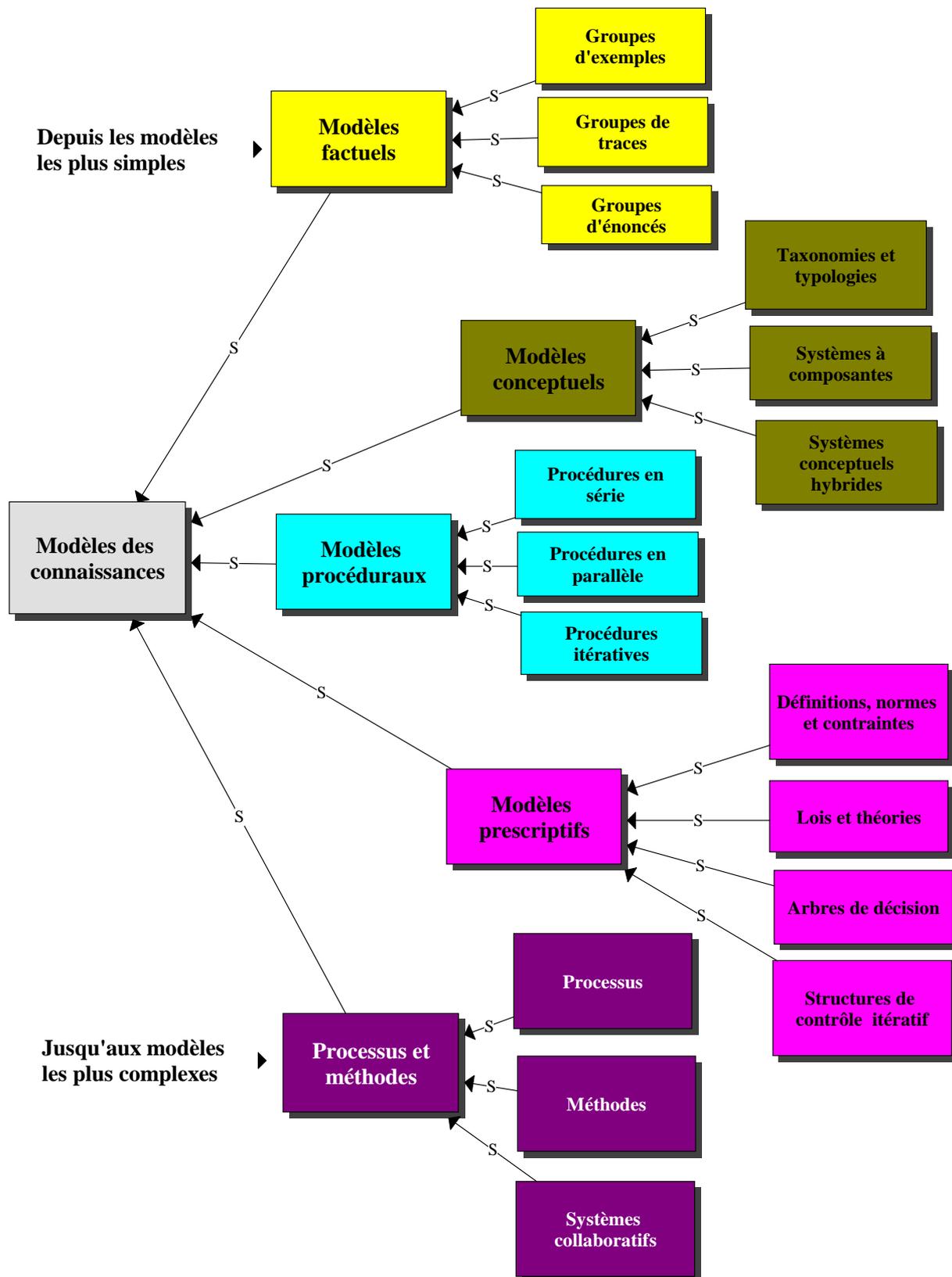
**Les processus** regroupent plusieurs procédures pouvant se dérouler séquentiellement, en parallèle ou de façon itérative. Un processus se compose également des objets intrants et des produits des procédures qui les composent, lesquels objets sont décrits par des concepts. Au sein du processus, le passage d'une procédure à une autre est déclenché en fonction de connaissances stratégiques qui sont des règles de décision déterministe ou des règles heuristiques régissant ces procédures.

Tous les domaines du savoir contiennent la description de processus qui représentent la partie dynamique de la discipline, celle où l'on s'intéresse au groupe d'actions qui produisent des résultats. On pense ici à des processus comme la rédaction coopérative d'un texte, l'examen d'un bilan financier, les protocoles expérimentaux en science, les grands processus de l'histoire qui décrivent l'ascension et le déclin des civilisations, les techniques de modelage, de sculpture ou de peinture dans les arts plastiques.

**Les méthodes** sont des systèmes prescriptifs, plutôt que descriptifs, qui regroupent à la fois des processus, des systèmes conceptuels, des réseaux de concepts, des taxonomies, des systèmes d'interprétation, mais surtout des principes méthodologiques ou des stratégies qui servent à guider l'activité humaine dans un domaine.

Il existe de nombreuses méthodes dans tous les domaines. Parmi les plus connues, la méthode expérimentale, elle-même composante de la méthode scientifique, consiste à observer les phénomènes, à en tirer des hypothèses et à vérifier les conséquences de ces hypothèses dans une expérimentation scientifique. Le génie logiciel, l'ingénierie des connaissances, le design et l'ingénierie pédagogique sont des exemples de méthodes.

- Taxonomie des modèles de connaissances



Catégories principales de modèles

| Classe                       | Définition   | Exemples  |
|------------------------------|--|---|
| <b>Modèles factuels</b>      | La majorité des connaissances sont des faits.      | Les traces d'exécution d'une procédure de traitement d'un formulaire, un réseau de liens entre des personnes  |
| <b>Modèles conceptuels</b>   | La majorité des connaissances sont des concepts.   | Une automobile, ses sous-systèmes et leurs composantes ; la taxonomie du règne animal.  |
| <b>Modèles procéduraux</b>   | La majorité des connaissances sont des procédures. | Une procédure de calcul de l'impôt sur le revenu, la procédure de résolution des systèmes d'équation à deux inconnues.  |
| <b>Modèles prescriptifs</b>  | La majorité des connaissances sont des principes.  | Une liste de contrôle (check list) des conditions permettant de choisir une maison en fonction de ses besoins, les lois de la gravitation, la théorie de l'évolution des espèces. |
| <b>Processus et méthodes</b> | Aucun type de connaissances n'est majoritaire.     | Un processus ou une méthode de gestion de projets, la méthode expérimentale.  |

### 3.2 Systèmes factuels

Les systèmes factuels, ou ensemble de faits, proviennent du regroupement des faits obtenu en instanciant un concept et ses composantes et, plus généralement, une ou plusieurs connaissances reliées. Les systèmes de faits sont souvent présentés sous la forme de tableaux.

Trois sous-classes de systèmes factuels

| Nom de la classe         | Définition  | Exemples  |
|--------------------------|---|---|
| <b>Groupe d'exemples</b> | Les exemples du groupe sont tous des instances du même concept, appelé « concept d'origine ».           | Une liste d'évènements, un tableau comparatif d'ordinateurs particuliers avec leur nom, leur capacité de mémoire, etc.          |
| <b>Groupe de traces</b>  | Les traces du groupe sont toutes des instances des mêmes procédures, appelées « procédures d'origine ». | Une table d'addition ou de multiplication, la démarche précise suivie par un contribuable qui rédige sa déclaration de revenus. |
| <b>Groupe d'énoncés</b>  | Les énoncés du groupe sont tous des instances des mêmes principes, appelés « principes d'origine ».     | L'énoncé de toutes les propriétés qui caractérisent un médecin particulier, en tant que professionnel de la santé.              |

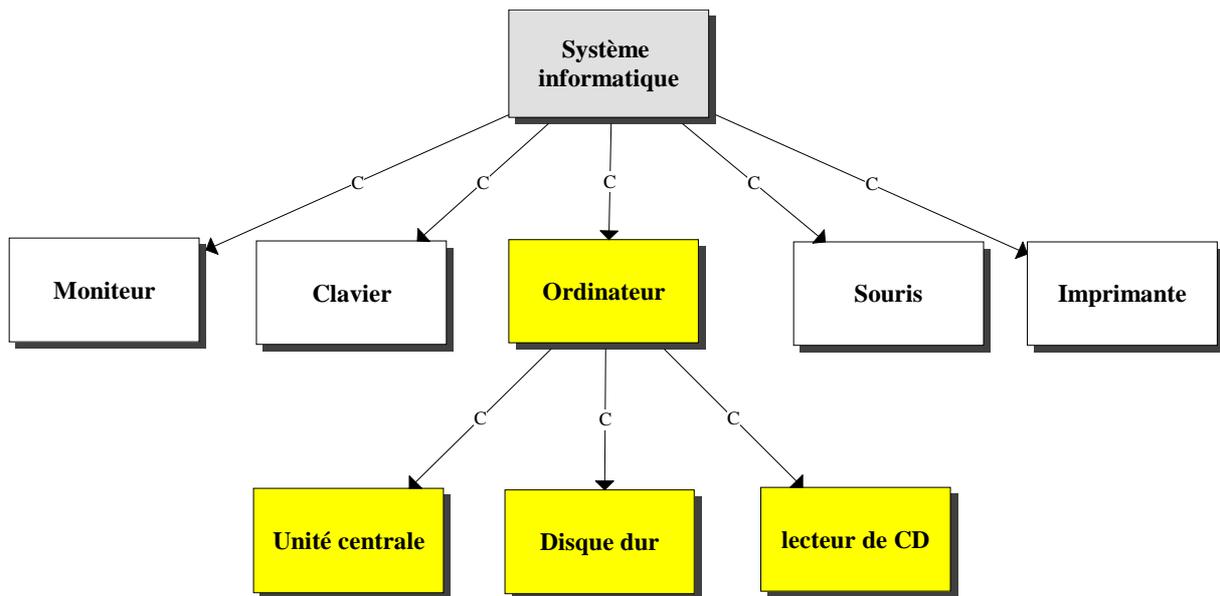
### 3.3 Systèmes conceptuels

Un système conceptuel est un modèle composé presque exclusivement de concepts. Par conséquent, l'accent est mis sur la description des objets qui composent un système et des liens qui les unissent. Ce sont généralement des liens de composition ou de spécialisation. D'autres types de connaissances pourront figurer dans le modèle, par exemple un attachement procédural ou une contrainte de définition, mais ces procédures ou ces principes ont pour but de mieux faire comprendre le système.

## Trois sous-classes de systèmes conceptuels

| Classe                        | Définition  | Exemples  |
|-------------------------------|---|---|
| Typologies et taxonomies      | Tous les liens sont de type S.  | Un ensemble de classes et de sous-classes de champignons.   |
| Systèmes de composantes       | Tous les liens sont des liens C.  | Un ordinateur, ses sous-systèmes et leurs composantes.  |
| Systèmes conceptuels hybrides | Certains des liens entre concepts sont des liens C d'autres, des liens S. | Un système composé de figures géométriques de différentes catégories, composés de divers attributs. |

## Un système à composantes



### 3.4 Systèmes procéduraux

Les systèmes procéduraux forment une organisation plus ou moins complexe de procédures qui décrivent un ensemble d'actions. On distingue trois sous-types de systèmes procéduraux : les procédures séquentielles, les procédures en parallèle et les procédures itératives ou récursives.

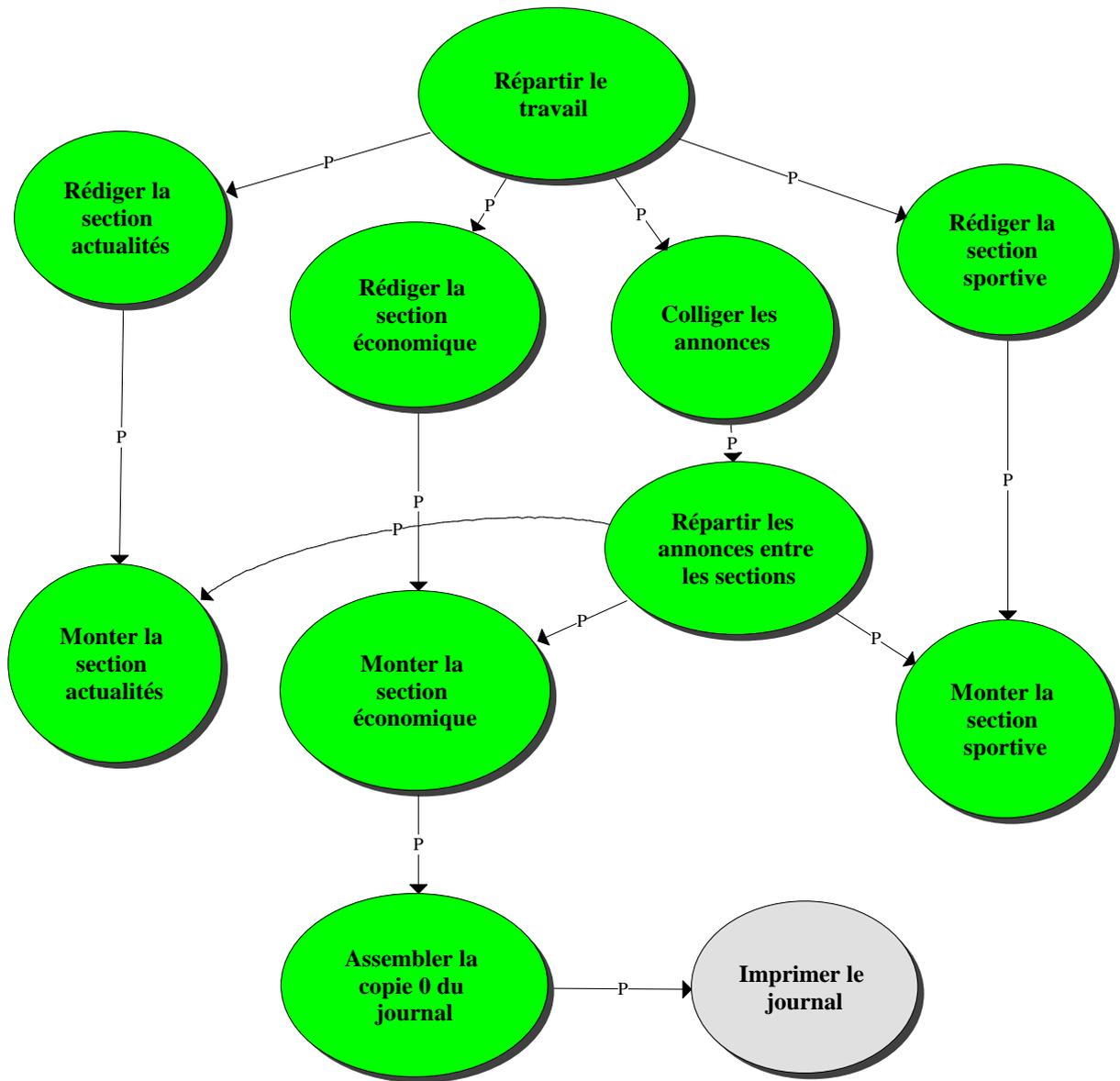
## RESUME

---

### Trois sous-classes de systèmes procéduraux

| Classe                          | Définition   | Exemples   |
|---------------------------------|--|--|
| <b>Procédures séquentielles</b> | Les procédures sont totalement ordonnées par le lien P. Chacune a au plus une procédure précédente et une procédure suivante. Il en est de même des sous-procédures qui composent une même procédure.  | L'ordre du jour d'une réunion avec ses points de discussion et ses sous-points.  |
| <b>Procédures en parallèle</b>  | Les procédures sont partiellement ordonnées par le lien P. Une procédure peut avoir plusieurs procédures suivantes et deux procédures peuvent n'avoir aucun lien P entre elles. Il en est de même des procédures qui composent une même procédure. | Les tâches de rédaction d'un ouvrage collectif ou de réalisation d'un projet où certaines tâches se font en parallèle par différentes personnes. |
| <b>Procédures itératives</b>    | La chaîne des liens P et I/P (entre les intrants ou produits des procédures) présente des cycles ; un principe de décision déterminant les conditions d'arrêt des cycles.  | Une boucle de rétroaction dans un thermostat, une procédure permettant de distribuer des personnes en un certain nombre de groupes.              |

Une procédure en parallèle



### 3.5 Systèmes prescriptifs

Les systèmes prescriptifs se composent principalement de principes, donc d'affirmations. On distingue ici quatre sous-classes de systèmes prescriptifs selon que le but est de définir les propriétés d'un objet, d'établir des relations de dépendance ou de causalité entre concepts (lois et théories), de sélectionner un objet après de multiples décisions ou de gérer le flux de contrôle entre les procédures qui composent un processus.

Quatre sous-classes de systèmes prescriptifs

| Classe                                   | Définition   | Exemples  |
|--|--|---|
| <b>Définitions normes et contraintes</b> | Chaque principe est un énoncé régissant un seul concept et décrivant une condition à laquelle les instances du concept doivent satisfaire.     | Une liste des propriétés qui caractérisent les oiseaux, la définition du concept de « surplus accumulé » en comptabilité. |
| <b>Lois et théories</b>                  | Chaque principe régit plus d'un concept et met en relation Si.. Alors des conditions sur les concepts régis.                                   | La loi de l'offre et la demande en économie, les théorèmes de géométrie plane, les lois de la gravitation en physique.    |
| <b>Arbres de décision</b>                | Les principes sont ordonnés par des liens P ; cet arbre de précedence se termine par l'exécution d'une procédure.                              | Un ensemble de règles pour choisir une maison ou un véhicule financier en fonction de ses besoins.                        |
| <b>Structures de contrôle itératif</b>   | Les principes ne sont pas ordonnés par des liens P ; ils expriment une exécution comportant des cycles dans les procédures qu'elles régissent. | Les principes qui régissent le diagnostic médical, des principes de gestion de projet.                                    |

### 3.6 Processus et méthodes

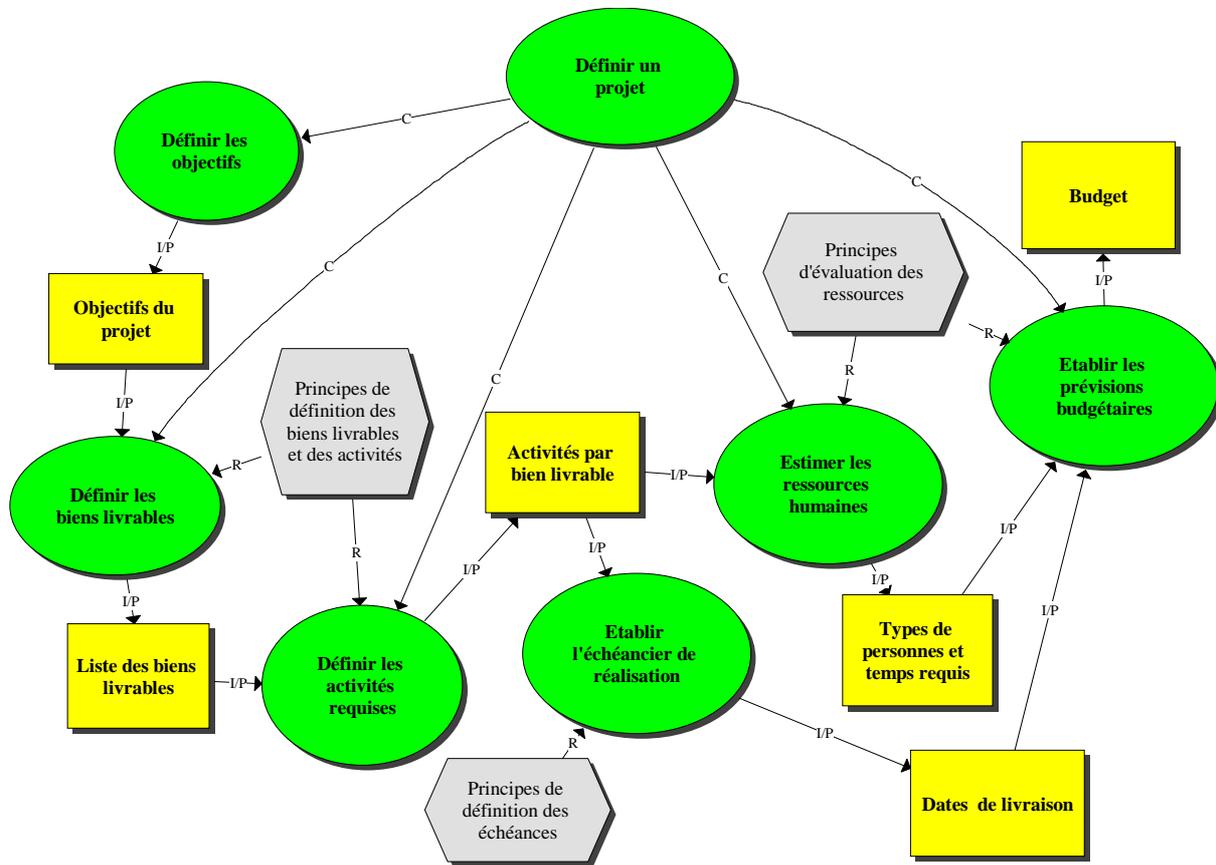
Les processus et les méthodes sont des modèles hybrides mettant en jeu tous les types de connaissances abstraites et la plupart des liens. On distingue ici les processus, les techniques et les méthodes ainsi que les systèmes collaboratifs multi-agents.

#### Trois sous-classes de processus et méthodes

| Classe                                     | Définition  | Exemples  |
|--|---|---|
| <b>Processus</b>                           | Le modèle ne contient pas d'ensembles élaborés de principes mais des principes de décision <b>algorithmiques</b> qui servent surtout à décrire les opérations.  | Un processus de diagnostic du mauvais fonctionnement d'une automobile, un processus de production industrielle de l'acier.  |
| <b>Méthodes</b>                            | Le modèle se compose de processus ; le choix entre les processus fait appel à des arbres de décision ou à des structures de contrôle itératif complexes ; les principes sont des principes d'action <b>heuristiques</b> ou des principes relationnels régissant les concepts. | Une méthode de conception et de réalisation d'un logiciel, une méthode de rédaction d'un récit, une méthode de peinture figurative, une méthode d'ingénierie pédagogique. |
| <b>Systèmes collaboratifs multi-agents</b> | Les principes du modèle décrivent les agents et leurs rôles dans l'exécution des procédures ou des processus qui composent le modèle.   | Un processus de rédaction d'un ouvrage en équipe précisant les rôles de chacun, un système d'assistance pédagogique faisant appel à divers spécialistes.                  |



Une méthode pour la définition d'un projet



SYNTHESE

Au cours de ce chapitre l'auteur nous a démontré toute l'étendue des possibilités de représentation de systèmes complexes du langage MOT (généralisation). **La taxonomie des modèles de connaissances présentée sera une aide précieuse pour choisir le type de structure la mieux adaptée à un projet pédagogique (et ce avec ou sans modélisation).**

Au cours du chapitre précédent vous vous êtes approprié le langage et la grammaire de ce langage, au cours de ce chapitre vous avez pu vous entraîner à **interpréter** différents types de modèles des connaissances, au cours du prochain chapitre vous apprendrez à créer un modèle des connaissances.

## Chapitre 4 : outils et technique de modélisation

Dans les chapitres précédents qui portaient sur la modélisation des connaissances, nous avons insisté sur le « quoi » et le « pourquoi ». Dans celui-ci, nous nous intéressons au « comment faire ». Nous présentons deux versions d'un éditeur de modèles permettant de construire des représentations graphiques basées sur la modélisation par objets typés. Puis nous utiliserons ces outils à l'intérieur d'une « technique » décrivant les processus et les principes de modélisation.

### 4.1 Les éditeurs de modèles MOT et MOT+

Après le démarrage de l'application, MOT affiche une fenêtre de travail qui servira à la création et à l'édition des modèles. Les éditeurs MOT et MOT+ sont dotés de capacités d'édition évoluées. On peut modifier la plupart des attributs graphiques d'un objet, comme la couleur, la trame, la fonte, l'alignement, ainsi que la position relative des objets par superposition, alignement, espacement, etc. La barre des menus et la palette principale contiennent des fonctionnalités d'édition semblables à la plupart des progiciels évolués comme Word, Excel ou WordPerfect.

Les éditeurs MOT et MOT+ permettent d'associer à une connaissance des documents de tout type qui appliquent la norme OLE, par exemple les traitements de texte, les présentations de diapositives, les éditeurs d'images, les navigateurs Web, les tableurs et les bases de données. On peut ainsi documenter une connaissance ou un modèle par un texte, une figure, un tableau ou une page Web. On peut aussi documenter un modèle au moyen de commentaires associés aux connaissances ou aux liens et construire automatiquement un fichier texte regroupant ces commentaires.

Une fonctionnalité importante de MOT est la possibilité de traiter plusieurs modèles en même temps en utilisant différentes fenêtres graphiques. On peut alors transférer des connaissances d'un modèle à l'autre. Il est également possible de filtrer un modèle pour n'afficher que certains types de connaissances ou de liens. On peut créer automatiquement le voisinage d'une connaissance en y regroupant toutes les connaissances à une certaine distance d'une connaissance donnée.

- **Les fonctionnalités avancées de MOT+**

L'éditeur de modèles des connaissances MOT+ intègre la plupart des fonctionnalités de l'éditeur MOT plus un certain nombre de fonctions plus évoluées que nous allons présenter maintenant.

Contrairement à l'éditeur MOT, l'éditeur MOT+ *respecte totalement la syntaxe et les règles de grammaire de la modélisation par objets typés* présentée au chapitre 2, grâce à l'introduction du lien A d'application entre un fait et tout autre type de connaissances. Ce lien servira notamment à traiter les habiletés et les compétences et, en général, certaines relations entre objets faisant appel à plus d'un domaine de connaissances.

Une autre fonctionnalité nouvelle est *la présence de plusieurs domaines de connaissances intégrés dans le même projet*. Par exemple, un premier projet permet de traiter quatre domaines correspondant à la méthode MISA 4.0. Un autre projet permet de traiter deux domaines. On peut ajouter et retrancher un certain nombre de projets et, pour chacun, un certain nombre de domaines.

L'éditeur MOT permet de traiter plusieurs domaines, mais dans des projets différents. Or, le fait d'intégrer les domaines dans un même projet permet d'établir entre eux des liens dits de *coréférence*. Ainsi, dans un domaine, on peut documenter chaque objet au moyen de sous-modèles associés (SMA) à un autre domaine appelé *codomaine de la connaissance*.

Une fonction nouvelle de marquage permet d'étiqueter les objets d'un modèle par des symboles définis par l'utilisateur. On peut ensuite filtrer les objets selon les marques qui leur sont associées. Cette fonctionnalité permet notamment de créer des sous-types de concepts, de procédures ou de principes on encore de marquer les objets selon leurs concepteurs. Chaque modèle pouvant être présenté sous la forme d'une liste structurée, on peut trier les objets selon les marqueurs pour les regrouper selon leurs types ou selon les différentes marques identifiant des sous-types, des auteurs, etc.

Deux autres fonctionnalités avancées sont également fort utiles pour la conception de systèmes d'apprentissage :

*On peut donner à un modèle des variantes qui permettent notamment de décrire des cheminements différents selon les publics cibles dans un réseau d'évènements d'apprentissage.*

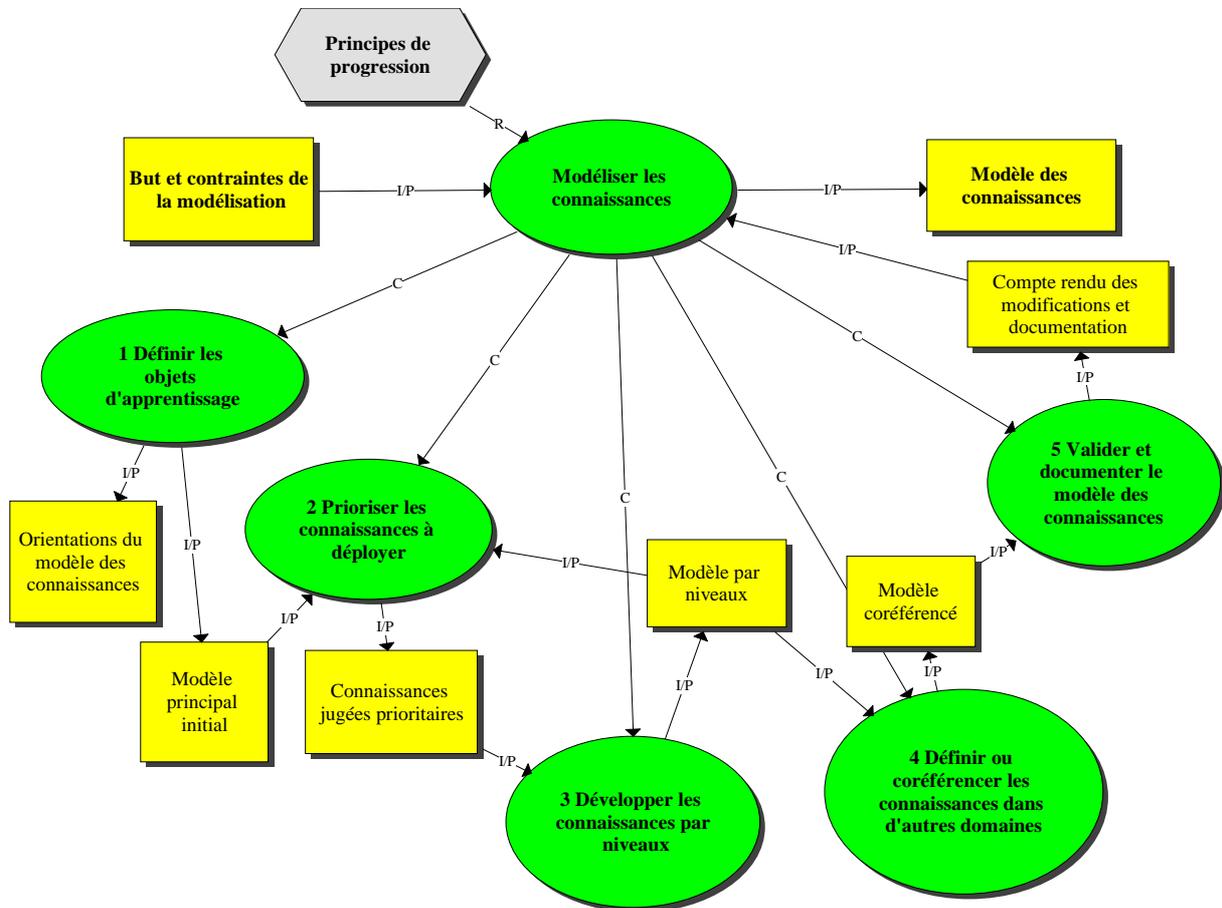
*Un modèle peut être aussi construit par strates. Cette fonctionnalité est particulièrement utile dans les modèles complexes où l'on souhaite décrire des objets qui s'adressent à différents acteurs, en distinguant, par exemple, les activités des apprenants de celles des formateurs. Chaque strate peut être cachée ou superposée aux autres strates.*

***Enfin, et ce n'est pas la moindre fonctionnalité, MOT+ permet depuis peu de concevoir des modèles compatibles avec le langage IMS-LD transférables directement sur des plates formes de formation de type e-learning.***

### 4.2 Vue générale du processus de modélisation

Le graphe présenté ci-après donne une vue globale de la « technique » de modélisation sous la forme d'un processus de haut niveau. Cette « technique » a pour but de résoudre des problèmes de modélisation en SUIVANT CINQ PROCESSUS PRINCIPAUX. Le résultat est un modèle des connaissances correspondant à un but et à des contraintes imposées initialement au concepteur du modèle.

## Vue d'ensemble d'une « technique » de modélisation par objets typés



La « technique » de modélisation présentée se décompose donc en **5 processus**. Elle est gouvernée par des **principes généraux de progression** qui déterminent quand il convient d'entreprendre tel ou tel processus.

La modélisation est orientée au départ par un problème de représentation des connaissances que doit résoudre le concepteur ou l'équipe de conception du modèle. **Le but, les données et les contraintes de ce problème, déterminent le type de connaissance et le type de liens qui guideront la construction du modèle.** Le résultat final est un modèle des connaissances qui apporte une solution au problème initial en respectant le but de la modélisation et ses contraintes.

*Nous examinons le processus de modélisation de la façon la plus générale possible. On pourrait en effet vouloir modéliser des connaissances dans un autre cadre que celui de l'ingénierie pédagogique. Bien que plusieurs de nos exemples viennent de ce domaine, la « technique » que nous décrivons pourra servir dans d'autres applications, notamment en réingénierie des processus administratifs. Dans ce type d'application, nous devons aussi décrire les habiletés requises pour participer aux tâches des processus. Il nous faut également associer ces tâches aux différents postes de l'organisation, considérés comme des codomaines.*

- **Sous-Processus, intrants et produits**

**Le premier sous-processus** vise à « définir les objets d'apprentissage ». Pour ce faire, on précise les « orientations du modèle des connaissances » et le « type de modèles », ces éléments étant eux-mêmes définis en fonction des résultats de l'analyse du problème de représentation. Sur cette base, on construit « un modèle principal des connaissances et des habiletés ». A ce stade initial de la construction du modèle, on se préoccupe uniquement d'indiquer les faits, les connaissances et les habiletés principales et leurs principaux liens sur un seul niveau, c'est-à-dire sans sous-modèles descendants.

**Le deuxième sous-processus** consiste à orienter le développement du modèle en priorisant certaines connaissances qualifiées de principales. Ce sont les connaissances pour lesquelles les publics cibles auxquels le modèle est destiné, ont un écart de compétences à combler.

Le troisième sous-processus vise à déployer ce modèle principal initial en associant un modèle descendant à chaque connaissance principale pour obtenir des sous-modèles de deuxième niveau. On suivra ensuite à nouveau le deuxième sous-processus pour déterminer les connaissances principales de ces sous-modèles. Celles-ci seront à leur tour développées en leur associant des modèles descendants, donc de troisième niveau. On procédera ainsi jusqu'à ce que le domaine de connaissances soit jugé

Satisfaisant eu égard au but et aux contraintes initiales du projet de modélisation.

**Le quatrième sous-processus** vise à utiliser le modèle en cours d'élaboration pour décrire les connaissances d'un autre domaine appelé *codomaine*. Le codomaine peut représenter les chapitres d'un livre, les modules d'un système logiciel ou les unités d'apprentissage d'un cours. Il s'agit ici d'associer à certains objets du codomaine (par exemple une unité d'apprentissage) un sous-ensemble des connaissances du modèle qui en définit le contenu. Cette opération peut être répétée avec plus d'un *codomaine*.

**Le dernier sous-processus** consiste à mettre le modèle à l'essai auprès de personnes représentatives des publics cibles. Cette validation portera à la fois sur l'exactitude, la cohérence et la complétude du modèle par rapport au but et aux contraintes initiales. Elle permettra de réviser le modèle, ses sous-modèles et ses comodèles, de produire un compte rendu des modifications apportées et de documenter le modèle.

- **Principes généraux de progression**

Les *principes de progression* constituent la structure de contrôle de la technique de modélisation. Cette structure de contrôle sera complétée plus loin par des *principes spécifiques*. On distingue trois groupes de principes généraux de progression.

*1 Principes de parallélisme et d'itérations*

Une fois le premier processus entrepris, on avance en parallèle dans les trois sous-processus suivants. On priorise des connaissances du modèle principal, puis on construit les modèles descendants qui correspondent aux connaissances principales. Enfin, on coréfère les objets d'un autre domaine à l'aide du modèle par niveaux. On répète ensuite le développement en parallèle de ces trois processus jusqu'à un nombre de niveaux jugé satisfaisant. C'est alors qu'on exécute le dernier sous-processus de validation et de documentation. La documentation peut également se faire à l'intérieur du cycle de modélisation par niveaux.

### *2 Principes de non-engagement et de retour en arrière*

*La progression dans un processus n'implique pas un engagement définitif. On se réserve le droit de revenir modifier le modèle à un niveau ou à un autre. C'est d'ailleurs pour cette raison que les éditeurs MOT et MOT+ prévoient une copie référencée des objets entre les niveaux qui permet de récupérer les changements mineurs effectués à un niveau dans les modèles des autres niveaux. Dans certains cas, il faudra toutefois aller plus loin et revenir effectuer des changements de structure. Par exemple, la construction par niveaux du modèle peut remettre en question le type de modèles sélectionné au début et forcer à rebâtir le modèle sur cette nouvelle base.*

### *3 Principe de transition et d'arrêt*

*Chaque sous-processus n'est pas, au sens strict, une condition préalable pour passer au suivant. Chacun doit être suffisamment avancé pour que le processus suivant puisse s'enclencher raisonnablement. Ce degré d'avancement suffisant est défini par des principes de transition et d'arrêt, lesquels visent à établir quand on doit quitter un processus pour en entreprendre un autre ou pour terminer le processus de modélisation.*

On entreprend le sous-processus « **Définir les objets d'apprentissage** » lorsque le problème de représentation a été suffisamment défini, c'est-à-dire lorsqu'on connaît **le but de la modélisation, les données qui nous sont accessibles et les contraintes des publics cibles, l'ampleur prévue du modèle ainsi que le type de connaissances et de liens à représenter.**

On passe au sous-processus « **Prioriser les connaissances à déployer** » lorsque **les connaissances les plus essentielles ou utiles ont été déterminées, que le type du modèle principal a été identifié et qu'un modèle principal initial a été construit.**

On passe au sous-processus « **Développer le modèle des connaissances par niveaux** » lorsqu'un modèle principal initial a été construit et que les connaissances principales ont été marquées sur ce modèle.

On passe au sous-processus « **Coréférencer les connaissances dans d'autres domaines** » lorsque le modèle par niveaux est suffisamment développé pour qu'on le répartisse entre les objets d'un ou de plusieurs codomaines.

On passe au sous-processus « **Valider et documenter le modèle des connaissances** » lorsque le modèle par niveaux et son association aux codomaines semblent satisfaire au but et aux contraintes initiales.

On termine la modélisation lorsque le modèle et ses sous-modèles ont été validés, révisés et documentés.

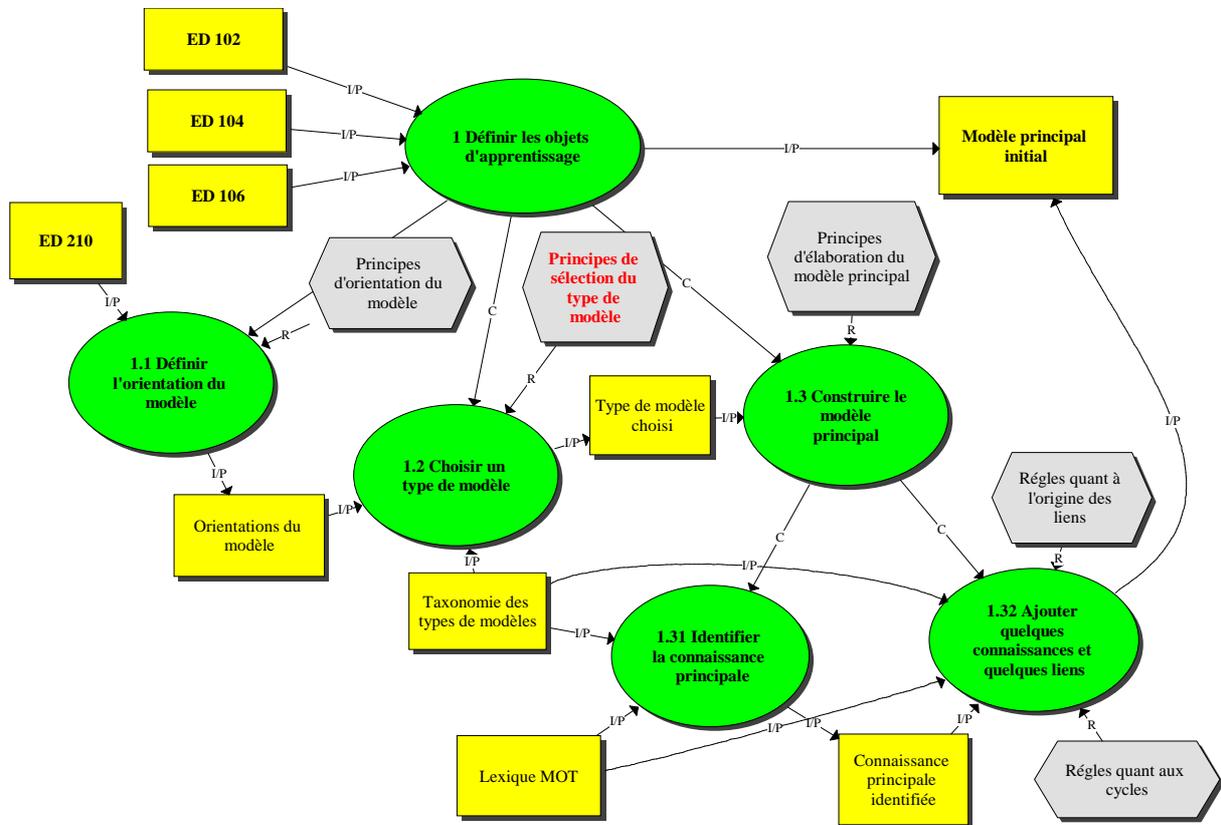
### 4.3 Définir les objets d'apprentissage

Le premier processus de la technique, « Définir les objets d'apprentissage », repose sur trois tâches principales : définir l'orientation du modèle des connaissances, choisir un type de modèles et construire le modèle principal initial. Chacune de ces tâches est régie par un groupe de principes (voir graphe ci-après).

- **Données initiales et profil du modèle**

Le processus de modélisation démarre à partir d'une définition plus ou moins précise du problème de représentation. Cette définition comprend le but de la modélisation, les sources de données, une description générale des publics cibles qui utiliseront le modèle ainsi que des contraintes quant à l'ampleur ou à la forme du modèle. Il est nécessaire de préciser ces éléments pour entreprendre le processus de modélisation.

## Sous-processus de définition des objets d'apprentissage



**Le but de la modélisation** (certainement la décision la plus importante) est donné dans un court énoncé, tel que « Modéliser **les procédures** et les outils de recherche d'information dans l'Internet » ou « Représenter **les règles** de décision concernant l'acceptation ou le refus des produits à un test de qualité ». Il doit être suffisamment précis pour orienter la recherche des connaissances principales et des types de liens du futur modèle (*en effet le fait de mettre en avant soit des concepts, soit des procédures soit des règles ou des principes nous conduira à choisir soit des modèles conceptuels, soit des modèles procéduraux soit encore des modèles prescriptifs*).

**Les contraintes dépendent des publics cibles de la modélisation.** Les publics cibles sont les groupes de personnes auxquels le modèle est destiné. Il faut distinguer ces groupes selon leurs besoins d'information ou de formation, leurs compétences<sup>3</sup> actuelles et visées par rapport aux connaissances du domaine ainsi que leurs contraintes, de disponibilité ou autres, qui détermineront l'ampleur et la profondeur du futur modèle. Dès le début, il peut être utile de déterminer si **le but de l'apprentissage** est simplement d'exercer des habiletés<sup>4</sup> de perception, de mémorisation, de compréhension ou d'application, ou plutôt de réunir des habiletés plus complexes telles que l'analyse, la synthèse ou l'évaluation. Les habiletés sont aussi des objets d'apprentissage, et c'est à ce titre qu'elles devraient figurer dans le modèle des connaissances d'un système d'apprentissage. Normalement, un SA visera à développer à la fois des connaissances spécifiques et des habiletés plus génériques applicables dans le domaine et transférables dans d'autres domaines.

Par exemple, supposons que les publics cibles du modèle doivent développer des compétences dans **la création** de procédures de recherche d'information avec Internet. Dans ce cas, il faudra prévoir plus de temps d'acquisition des connaissances et, par conséquent, un modèle de plus grande ampleur que si ces personnes devaient simplement appliquer des procédures, à moins que ces personnes ne possèdent déjà une certaine expertise connexe. En outre, le modèle contiendra plus de principes visant à favoriser la création de procédures efficaces et utiles.

**Les sources de données** peuvent être des personnes qui seront interviewées ou des documents pertinents par rapport au but de la modélisation.

---

<sup>3</sup> **Compétence**, selon l'approche cognitiviste, est un énoncé de principe qui détermine une relation entre un public cible ou acteur, une habileté et une connaissance. Un profil de compétences est tout simplement un ensemble de compétences concernant un même public cible.

<sup>4</sup> **Une habileté** peut se décrire comme un processus générique de résolution de problème, ou comme une méta connaissance capable d'agir sur les connaissances et recouvrant les domaines : cognitif, affectif, social et psychomoteur. On pourra classer les habiletés par niveau de complexité croissant (taxonomie) depuis la perception jusqu'à l'autocontrôle.

Une attention particulière sera portée aux **compétences actuelles et visées des publics cibles**, aux descriptions des tâches et aux autres sources documentaires disponibles. On fera l'inventaire de ces données pour déterminer les principales connaissances et les types de liens du modèle et l'on en dressera une liste préliminaire. Au besoin, on validera ces renseignements par des entrevues avec des membres représentatifs des publics cibles.

**Le profil du modèle des connaissances** (à ne pas confondre avec le type de modèle) est un court texte résultant d'une analyse de l'inventaire préliminaire des connaissances et des liens. Il vise à estimer **la proportion relative des connaissances** (80% de concepts par exemple) et des liens ainsi que **l'ampleur du modèle**. Cette estimation dépend du problème de représentation et des publics cibles du modèle. Il pourra s'agir d'un modèle bâti sur plusieurs niveaux, comportant des relations avec d'autres domaines de connaissances, ou, au contraire, d'un simple modèle construit sur un ou deux niveaux.

Par exemple, si le but est de « modéliser les procédures et les outils de recherche d'information avec Internet » et que les habiletés à exercer par rapport à ces connaissances se limitent à les faire **appliquer** par des personnes connaissant plusieurs logiciels de bureautique, on peut prévoir le profil suivant : le modèle sera principalement composé de procédures (modèle procédural), de leurs concepts intrants et de leurs produits ; les liens privilégiés seront les liens intrant/produit, de **précédence** (car on traite un niveau « application ») et de composition. Le modèle se limitera à deux ou trois niveaux.

- **Principes de définition des orientations du modèle**

*1 Transition entre les tâches.* Une fois **le but du modèle défini**, les autres tâches peuvent s'accomplir largement en parallèle.

*2 Ampleur de l'inventaire des connaissances et des liens.* Il convient de ne pas trop préciser la liste des connaissances initiales. Le but de cette analyse préliminaire est de préparer le choix d'un type de modèle en distinguant bien les concepts, les procédures et les principes en cause, de même que les liens qui les associent. A ce stade-ci, il n'est pas nécessaire d'accorder beaucoup d'attention aux faits et aux habiletés, sauf pour ce qui est d'une habileté principale comme celles que nous avons présentées dans les exemples précédents.

*3 Profil du modèle.* Pour déterminer le profil du modèle, il faut considérer l'habileté principale à développer en tenant compte des contraintes des publics cibles du modèle. Si les contraintes de temps sont trop sévères et les futurs usagers sont des novices dans le domaine, il faudra réduire les attentes quant aux habiletés et à l'ampleur du modèle. Par ailleurs, si l'on vise des habiletés de haut niveau (analyse, synthèse, évaluation), il faudra privilégier les processus et les méthodes plutôt que les modèles conceptuels ou procéduraux plus simples et s'attendre à bâtir un modèle de plus grande ampleur.

*4 Disparité des connaissances pertinentes entre les publics cibles.* Si les contenus ou les habiletés visés sont trop différents, ou encore si les compétences actuelles sont trop disproportionnées, on pourra décider de faire plus d'un modèle et donc de procéder à un inventaire des connaissances et des liens dans chaque cas.

- **Principes de sélection d'un type de modèle.**

Finalement, la modélisation, l'inventaire préliminaire des connaissances ainsi que l'estimation du profil du modèle conduisent à choisir un type de modèles parmi les catégories définies au chapitre 3 (taxonomie des modèles). Ce choix est une façon d'entreprendre la modélisation en se forgeant un point de vue sur la réalité. Il permet également d'utiliser une forme standard de modèle comme point de départ. Les principes heuristiques suivants peuvent guider le choix d'un type de modèles initial.

### *1 Choix d'un point de vue conceptuel, procédural ou prescriptif.*

Le choix d'un point de vue sur les connaissances à acquérir dépend principalement du but de la modélisation, des compétences actuelles et visées des publics cibles et de leurs contraintes, y compris celles imposées par l'organisation qui décide de construire le modèle. Les sources d'information disponibles sont utiles, *mais il faut garder un regard critique, puisque le point de vue qui a cours dans un organisme ou dans un domaine mérite parfois d'être reconsidéré.*

**Généralement, il est utile de privilégier un point de vue conceptuel** (décrire ce que sont les choses, les objets) lorsque le niveau de compétence visé se limite à la **sensibilisation** (information, compréhension). Si les objets sont concrets plutôt qu'abstraites, on devra plutôt choisir un système de type factuel : groupes d'exemples, de traces ou d'énoncés.

Si les compétences doivent être utilisées pour accomplir des tâches qui demandent un accroissement de la productivité, ou si la compétence visée est la **familiarisation** (application) avec un sujet, **il faudra souvent privilégier un point de vue procédural.**

Enfin, si les connaissances visées doivent être utilisées pour accomplir des tâches qui demandent de la créativité ou une grande faculté d'adaptation ou de jugement, ou si la compétence visée est l'acquisition d'une **maîtrise** (production) ou d'une **expertise** (autogestion) dans un domaine, **il faudra favoriser un point de vue prescriptif.**

*Mais chaque point de vue, conceptuel, procédural ou prescriptif, peut évoluer vers un processus ou vers une méthode par le développement de types de connaissances absentes au départ.*

- **Construction d'un modèle principal initial.**

L'établissement de l'orientation du modèle et la sélection d'un type de modèles fournissent une base pour construire un premier modèle des connaissances qui représente les principales connaissances et habiletés du système d'apprentissage. **Deux tâches** permettent de construire ce modèle principal initial.

Identifier la connaissance principale. Le type du modèle fournit directement le type de la connaissance principale : concept, procédure ou principe. Le choix de la connaissance principale est important, car il résume en quelque sorte le but de la modélisation. Par exemple, « l'organisme Télé-université » est un concept sur lequel on peut s'appuyer pour bâtir une structure hiérarchique de l'organisme ; « Rechercher des informations sur l'Internet » est une procédure de départ qui sera décomposée en opérations plus détaillées. Il peut être utile de préciser sur le graphe une habileté qui s'applique (lien A) à la connaissance principale, de façon à en tenir compte dans l'élaboration du modèle.

Ajouter quelques connaissances et quelques liens. Une fois la connaissance principale sélectionnée, on la met en relation avec de nouvelles connaissances à l'aide de liens que l'on ajoute sur le graphe en fonction du type de modèle retenu et à partir de l'inventaire des connaissances et des liens. Par exemple, s'il s'agit d'un système conceptuel, on développera ses principales composantes ou ses sous-classes, puis on décomposera celles-ci à nouveau.

- **Principes d'élaboration du modèle principal initial**

- 1 Guidage par une habileté*

L'habileté s'appliquant à la connaissance principale guide le choix des premières connaissances et des liens à intégrer au modèle.

### *2 Principes de sélection des connaissances.*

La connaissance principale, les premières connaissances du modèle et leurs liens avec cette connaissance principale doivent être du type qui correspond au type de modèle retenu : des concepts pour un modèle conceptuel, des procédures pour un modèle procédural ou un processus, des principes pour un modèle prescriptif.

### *3 Principes de sélection des liens.*

Le type de liens découle également du type du modèle retenu. Par exemple, pour une taxonomie, il s'agit du lien S, et pour un système à composantes, du lien C. Dans les systèmes procéduraux, on aura des liens P et I/P, dans les systèmes prescriptifs, des liens R et C, et enfin dans les processus et les méthodes, principalement des liens C, I/P et R.

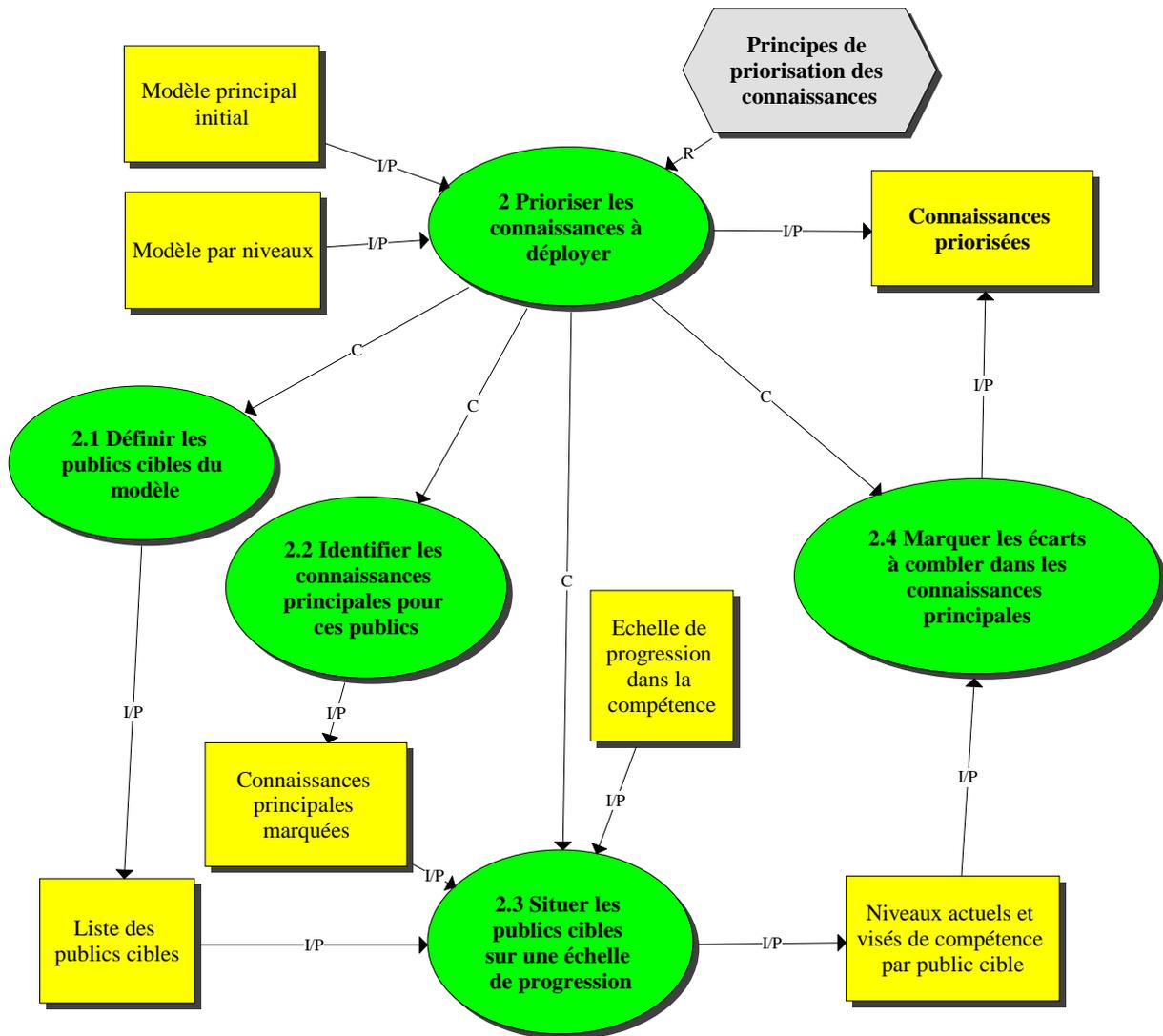
### *4 Ampleur du modèle principal initial.*

Ce premier modèle doit contenir suffisamment de connaissances pour qu'on puisse ensuite le développer selon l'estimation de son ampleur et du nombre de niveaux. En règle générale, on peut prévoir **un modèle principal qui contient de 10 à 20 connaissances.**

## **4.4 Prioriser les connaissances à développer**

Le second processus de la technique consiste à prioriser certaines connaissances appelées principales, d'abord pour le modèle principal initial qui résulte du processus précédent, puis pour chacun des modèles descendants à l'exclusion du dernier niveau. Comme l'illustre le graphe suivant, le processus est régi par un groupe de principes dits de « priorisation » et se décompose en quatre tâches : définir les publics cibles du modèle, identifier les connaissances principales intéressant ces publics cibles, situer leurs compétences sur une échelle de progression et, enfin, marquer sur le modèle les écarts à combler dans les connaissances principales.

## Sous-processus de priorisation des connaissances



Le but poursuivi est de guider le développement du modèle **en fonction des besoins de ses futurs usagers**. On veut éviter de modéliser tout l'univers, d'inclure dans le modèle des connaissances déjà connues (par les publics), non pertinentes ou superflues, ou, au contraire, de construire un modèle qui ne tiendrait pas compte de tous les objectifs du cours.

Nous proposons de guider la modélisation à l'aide **d'une échelle de progression** qui permet d'évaluer la compétence des publics cibles du modèle relativement aux différentes connaissances principales du modèle au fur et à mesure qu'on les définit.

- **Propriétés des publics cibles et connaissances principales.**

Au cours du premier processus, nous avons défini le ou les groupes d'utilisateurs auxquels le modèle est destiné. Il s'agit ici d'en faire une analyse plus détaillée à mesure que le modèle se développe. Cette analyse prend la forme d'un tableau présentant les principaux attributs des publics cibles : nom, description, expérience antérieure, langue, disponibilité (contraintes de temps), attitudes positives, négatives ou neutres face au contenu du modèle.

A partir de ce tableau, il s'agit de déterminer quelles sont les connaissances les plus importantes qui seraient utiles à chacun des publics cibles, au-delà de la connaissance principale qui a servi de point de départ à la modélisation. On marque ensuite ces connaissances sur le modèle à l'aide d'un symbole « P ».

- **Evaluation des écarts de compétences selon le public cible.**

Une échelle des compétences

| Niveaux de compétence |                 |    |                 |   |    |          |   |    |           |    |
|-----------------------|-----------------|----|-----------------|---|----|----------|---|----|-----------|----|
| Etat                  | Sensibilisation |    | Familiarisation |   |    | Maîtrise |   |    | Expertise |    |
| Valeur                | 1               | 2  | 3               | 4 | 5  | 6        | 7 | 8  | 9         | 10 |
| Symbole               | S               | S+ | F-              | F | F+ | M-       | M | M+ | E-        | E  |

- **Marquage des écarts sur le modèle.**

Après avoir dressé le tableau des compétences, il reste à indiquer sur le modèle les connaissances prioritaires, de façon à guider le développement ultérieur du modèle.

Il existe plusieurs façons de le faire. On peut utiliser un code de couleurs : blanc si l'écart est inférieur ou égal à 2, gris pâle si l'écart est compris entre 2 et 4 ; gris foncé si l'écart est égal ou supérieur à 5. C'est l'option que nous vous suggérons d'utiliser avec MOT.

- **Principes de priorisation des connaissances.**

1 Principes de transition et d'arrêt.

2 Guidage par les habiletés.

3 Principe de relativité entre les écarts à combler

**4 Guidage par les écarts.**

*Au moment de l'établissement des écarts, il faut se rappeler qu'un faible écart signifie probablement que l'on n'explicitera pas cette connaissance qui occupera peu de place dans le modèle, c'est-à-dire que peu de liens arriveront ou sortiront de cette connaissance. Un écart moyen signifie qu'on associera un modèle descendant à cette connaissance, mais probablement sur un seul niveau. Un écart important indique qu'on s'engage probablement dans un développement sur plusieurs niveaux. Avant de terminer la priorisation des connaissances d'un modèle, il est utile de se demander si c'est bien ce que l'on veut, en considérant les contraintes imposées au départ à la taille du modèle.*

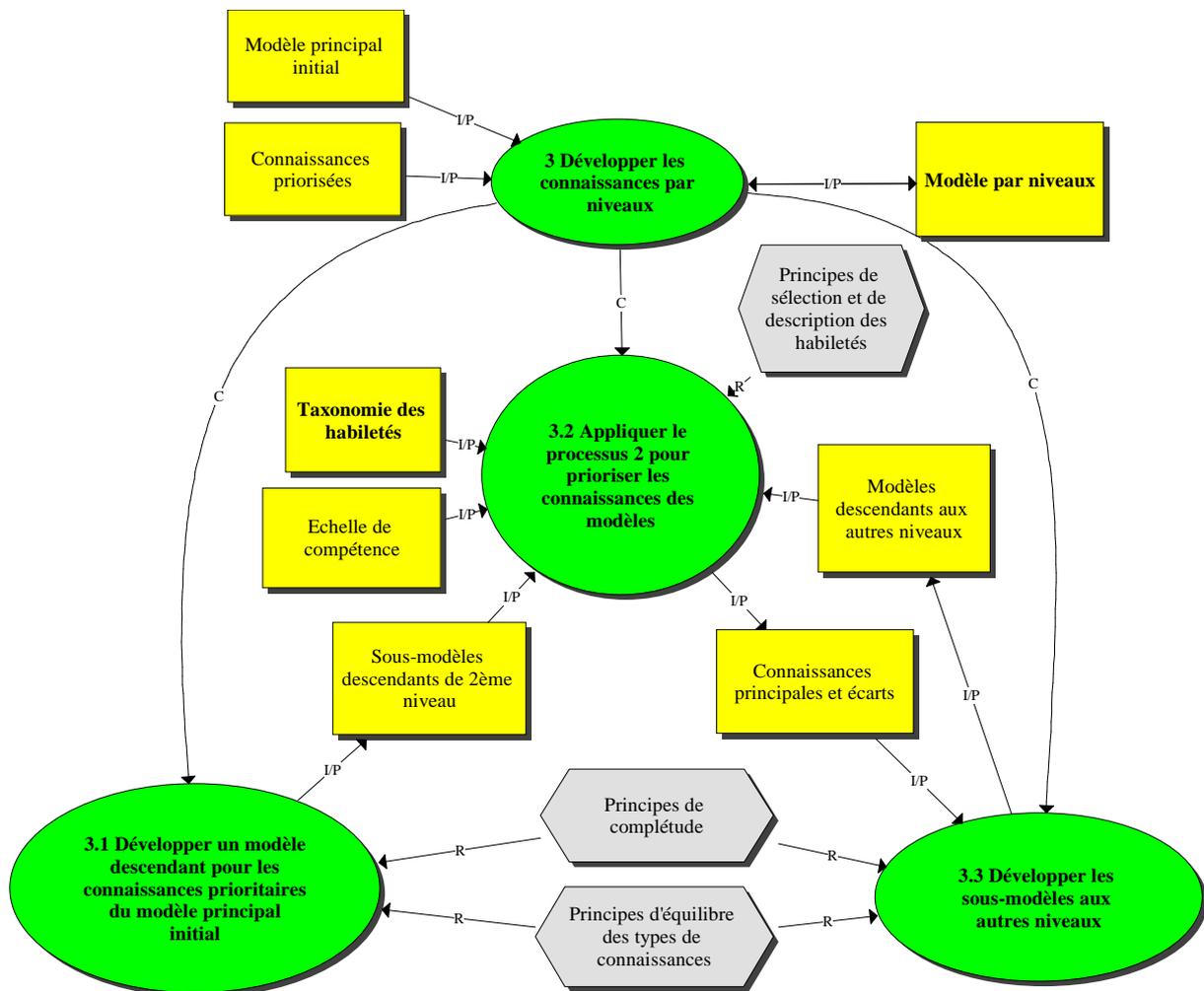
### 4.5 Développer le modèle des connaissances par niveaux

Le troisième processus de la technique consiste à déployer sur plus d'un niveau le modèle des connaissances principal résultant du processus 1, en fonction de la priorisation des connaissances effectuées dans le processus 2.

Comme on peut le constater sur le graphe suivant, ce processus est itératif. On bâtit d'abord un deuxième niveau en associant un modèle descendant aux connaissances principales du modèle principal selon leur priorité et l'ampleur souhaitée du modèle. Puis on applique le processus de priorisation des connaissances aux modèles descendants du deuxième niveau. Cette priorisation guide le développement, si nécessaire, d'un troisième, puis d'un quatrième niveau, etc.

Deux groupes de principes guident le processus : les principes d'équilibre des types de connaissances et les principes de complétude.

## Sous-processus de développement par niveaux



- **Modèles associés à une connaissance et sous-modèles.**

Il y a trois façons d'associer un modèle à une connaissance.

**L'explicitation** sert à déployer un modèle des connaissances sur plus d'un niveau pour en améliorer la lisibilité. Sur un niveau, une connaissance est sélectionnée et on lui associe un modèle descendant dans lequel cette connaissance est **copiée avec référence**. Elle en devient la connaissance principale, autour de laquelle on poursuit le développement du modèle dans le même domaine de connaissances.

**La définition** est utilisée pour associer à une connaissance un modèle d'un autre domaine qui sert uniquement à préciser la définition de cette connaissance de façon graphique.

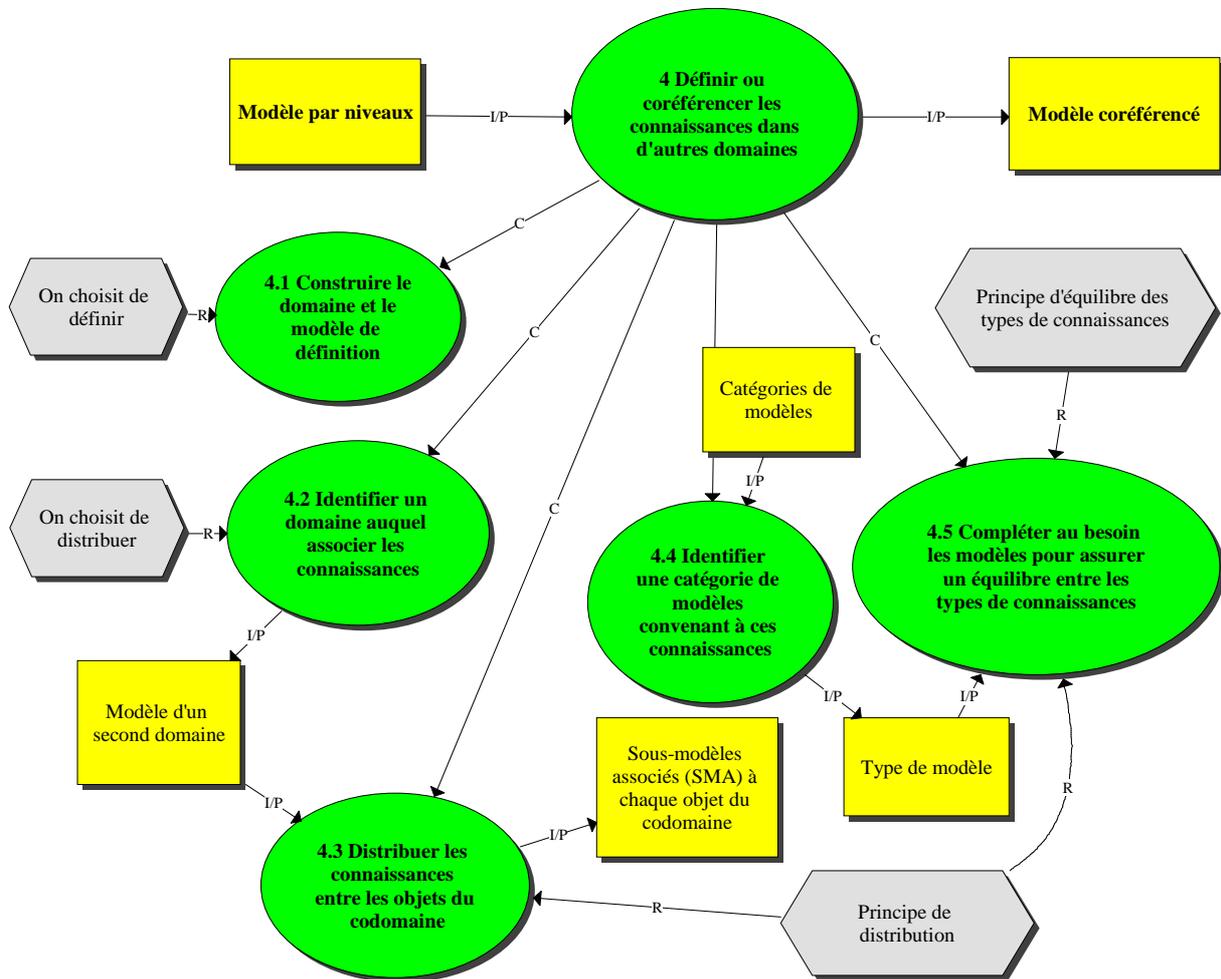
**La coréférence** est utilisée pour associer à une connaissance d'un domaine un modèle constitué de connaissances d'un autre domaine. Par exemple, on associera à une connaissance tous les objets d'un autre domaine représentant les matériels pédagogiques qui traitent de cette connaissance. Les modèles coréférencés ne font pas partie non plus du modèle par niveaux.

- **Principes de complétude du modèle.**
  - 1 Principes d'approfondissement en largeur et par niveaux.
  - 2 Principes de respect des écarts de compétence.
  - 3 Principes quant à la quantité des connaissances.
  - 4 Principes de liaison et de typage des sous-modèles.
  
- **Principes d'équilibre des types de connaissances.**
  - 1 Respect du type de la connaissance principale.
  - 2 Compétence visée : sensibilisation.
  - 3 Compétence visée : familiarisation.
  - 4 Compétence visée : maîtrise.
  - 5 Compétence visée : expertise.

### 4.6 Définir ou Coréférencer les connaissances dans d'autres domaines

Dans la section précédente, nous avons examiné une des trois façons d'associer un modèle à une connaissance. L'explication associe à une connaissance un modèle du même domaine de connaissances. Elle est à la base du développement d'un modèle par niveaux.

## Sous-processus d'association entre deux domaines



Dans cette section, nous présentons les deux autres modes, qui ont en commun d'associer à une connaissance un sous-modèle d'un autre domaine de connaissances. **L'association de type définition** sera particulièrement utile si l'on désire préciser une connaissance en s'appuyant sur un point de vue différent de celui qui a cours dans le domaine de connaissances en développement. **L'association par coréférence** consiste à distribuer les connaissances d'un domaine entre des objets d'un second domaine appelé « codomaine ». Ces objets sont en quelque sorte « documentés » par un sous-modèle du domaine source. Ce processus sera particulièrement utile pour assigner des connaissances aux modules d'un cours ou, au cours d'un programme d'études, pour spécifier les connaissances traitées dans différents

documents ou matériels pédagogiques, ou encore pour répartir des tâches d'un processus de gestion entre les différents postes dans l'organigramme d'une organisation.

La coréférence implique souvent qu'on complète les sous-modèles associés à une connaissance du codomaine en appliquant divers principes de distribution. Dans certains cas, on devra ajouter des connaissances pour s'assurer que les types de connaissances respectent les principes d'équilibre présentés à la fin de la section précédente.

### **4.7 Valider et documenter un modèle**

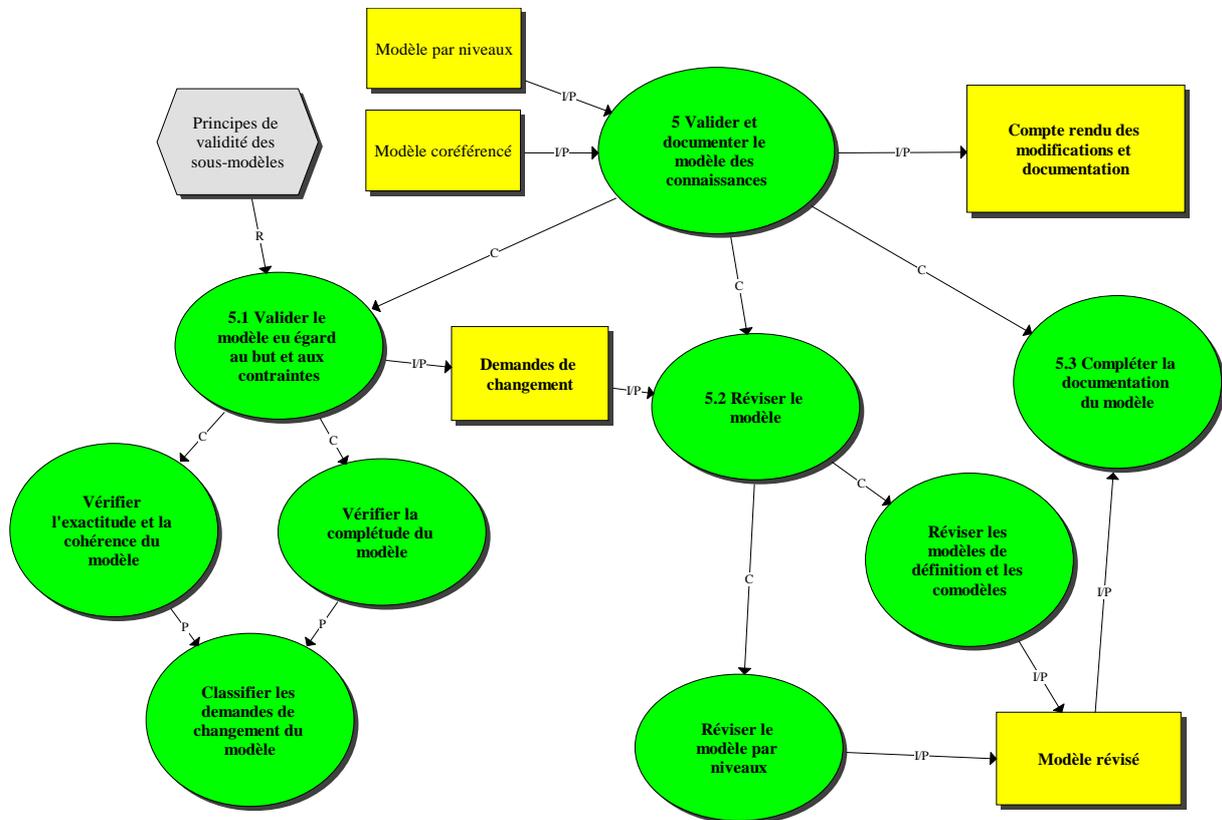
Lorsqu'on a développé par niveaux et coréférencé le modèle en rattachant diverses formes de sous-modèles associés à certaines de ces connaissances, on obtient un ou plusieurs documents qui demandent à être complétés et validés. C'est l'objectif du cinquième et dernier processus de la technique de modélisation par objets typés.

La première séquence de tâches consiste à valider le modèle auprès de personnes représentatives des futurs usagers et auprès des personnes ayant demandé la construction du modèle. Deux aspects sont à considérer : *vérifier l'exactitude et la cohérence du modèle et vérifier la complétude du contenu.*

Ces deux aspects de la vérification conduisent à formuler des demandes de changement du modèle. On passe ensuite à la classification des demandes de changement du modèle en départageant celles qui touchent les différents types de sous modèles obtenus par explicitation, définition ou coréférence. On distingue dans chaque cas les demandes qui visent à améliorer l'exactitude, la cohérence ou la complétude de l'ensemble.

Ainsi classifiées, les demandes de changement sont intégrées au compte rendu de la validation, lequel est ensuite utilisé pour accomplir la seconde séquence de tâches.

## Sous-processus de validation et de documentation



Ces tâches sont : réviser les sous-modèles par explicitation et réviser les sous-modèles par définition ou coréférence.

Le troisième groupe de tâches consiste à compléter la documentation des modèles. On doit souligner ici qu'un modèle graphique, aussi transparent soit-il, demande des explications textuelles. Il reste enfin à présenter le modèle à ses usagers. Le modèle pourra être présenté de différentes manières, à l'aide l'éditeur MOT, intégré dans un texte comme nous venons de le faire ou encore affiché dans un site Web.

### SYNTHESE

Il convient maintenant de se donner une vue d'ensemble du chemin parcouru.

Dans les quatre premiers chapitres nous avons examiné successivement, dans le chapitre 1, le concept de représentation des connaissances et divers langages graphiques (**le pourquoi**). Puis nous avons défini, dans le chapitre 2, un mode de représentation particulier, la modélisation par objets typés (MOT). Ce langage graphique dont nous avons défini le lexique et la grammaire (**le quoi**), s'applique aux différents domaines de la connaissance. Dans le chapitre 3, nous avons vu comment il facilite la représentation de divers types de modèles : taxonomies, systèmes à composantes, procédures séquentielles, en parallèle ou itératives, définitions, lois, thèmes, arbres de décision, processus méthodes, systèmes collaboratifs multi-agents (**le quand utiliser**).

Le chapitre 4 s'est centré sur le « **comment modéliser** ». Nous y avons présenté des outils (MOT et MOT+) et une méthode de modélisation, *elle-même définie d'ailleurs par un modèle graphique par objets typés*.

Nous espérons que vous pourrez relire ce dernier chapitre en construisant à nouveau les modèles MOT qui y sont présentés et commentés et, surtout, en modélisant un domaine qui vous intéresse à l'aide de l'éditeur MOT, téléchargeable à partir du site de l'auteur.