



Technique de modélisation des connaissances (principaux concepts)

Extrait de :

Méthode d'ingénierie d'un système d'apprentissage (MISA)

**Guide d'ingénierie
(pp. 107-131)**

Préparé par

**Gilbert Paquette
Françoise Crevier
Claire Aubin**

avec la collaboration de

**Johanne Rocheleau
Chantal Paquin
Michel Léonard**

**Avril 1998
Version 2,1**

Table des matières

1. INTRODUCTION	107
2. LE SYSTÈME GRAPHIQUE DE REPRÉSENTATION MOT	109
2.1. Composantes de base d'un modèle MOT (lexique)	109
Les connaissances	109
Les relations entre connaissances	110
2.2. Interprétation des composantes d'un modèle (sémantique)	111
Interprétation des connaissances	112
Interprétation des liens I	112
Interprétation des liens S	113
Interprétation des liens C	114
Interprétation des liens P	116
Interprétation des liens I/P	117
Interprétation des liens R	118
2.3. Extension du système de représentation aux habiletés	120
Les habiletés en tant que connaissances	120
L'extension du système de représentation : habiletés et liens AP	122
Interprétation des habiletés et des liens AP	122
Définition des principales habiletés	125
2.4 Le concept de modèle de connaissances par objets typés	129
Le concept de modèle par objets typés	129
Règles quant à l'origine et quant à la destination des liens	130
Propriétés quant aux cycles et quant à la multiplicité des liens	130

1. INTRODUCTION

Que l'on se place du point de vue de l'apprentissage ou de l'enseignement, une des premières questions qui se posent dans l'élaboration d'un système d'apprentissage est : quelles connaissances apprendre? quelles connaissances enseigner?

C'est là l'objet du processus de modélisation des connaissances : identifier et structurer les connaissances en une représentation schématique utile à la construction d'un système d'apprentissage.

Il existe plusieurs techniques de modélisation des connaissances tels les réseaux sémantiques, les schémas, les modèles entités-relations, les modèles de flux d'information, les modèles orientés objets. Ces techniques sont largement utilisées dans le développement des systèmes d'information ou dans les systèmes d'intelligence artificielle.

Notre but est de proposer une technique adaptée aux besoins du concepteur d'un système d'apprentissage. Ce dernier n'a pas besoin d'un formalisme aussi détaillé que s'il construisait un système informatique complexe, puisque les modèles qu'il développe ne serviront pas directement à la programmation de tels systèmes. Par contre, il a besoin d'une vue d'ensemble cohérente des principales connaissances et de leurs liens pour réaliser le devis d'un système d'apprentissage, pour distribuer les connaissances en modules ou en unités d'apprentissage, pour formuler les objectifs et pour déterminer les approches pédagogiques et les instruments d'apprentissage les plus adéquats aux types de connaissances visées.

Dans le système de modélisation par objets typés (MOT)⁴, nous utilisons plusieurs types de connaissances : faits, concepts, procédures, principes, habiletés. Des schémas seront utilisés pour décrire ces types de connaissances de façon intégrée.

Le concept de schéma a marqué le passage du comportementisme au cognitivisme, comme approche théorique dominante en psychologie de l'apprentissage et dans les autres sciences cognitives, d'abord sous l'influence de Jean Piaget et des psychologues "gestaltistes" tels Max Wertheimer, et ensuite grâce aux travaux de Bruner, Newell et Simon, Minski et Winograd. Selon ces théoriciens, les schémas jouent un rôle central dans la construction des connaissances. Ils guident la perception, définie comme un processus actif, constructif et sélectif; ils supportent la mémorisation et le souvenir qui consistent à créer ou à rechercher les schémas appropriés dans les réseaux sémantiques qui les associent; ils rendent la compréhension possible par la confrontation des schémas existants avec des événements nouveaux. À travers ces divers processus, l'apprentissage est vu comme une interaction avec le monde physique et social plutôt qu'une simple recherche et un transfert de l'information qu'il contient.

La distinction entre deux grandes catégories de schémas, les schémas déclaratifs ou conceptuels et les schémas procéduraux est maintenant traditionnelle en psychologie et en informatique cognitive. Les premiers structurent les données et les seconds représentent les actions nécessaires au traitement de l'information. Plus récemment, une troisième catégorie de schémas "conditionnels" ou "stratégiques" a été proposée par divers auteurs. Ces connaissances stratégiques ou "principes" sont dotées de conditions servant à déterminer le contexte de déclenchement d'une séquence d'actions ou à spécifier des contraintes de définition d'un concept.

Ces distinctions entre types de connaissances rejoignent de nombreux résultats dans les sciences de l'éducation tels que le "Component Display Theory" de David Merrill ou les travaux de Romiszowski, Tennyson ou West. L'intention derrière ces taxonomies des connaissances est de leur associer des stratégies pédagogiques appropriées.

4 La technique présentée ici origine de l'élaboration, au cours de l'année 1992, d'un enseignement universitaire sur le design pédagogique dont l'objectif était d'intégrer une forme de modélisation des connaissances aux activités d'un concepteur pédagogique. Puis la technique s'est raffinée et a finalement donné naissance à un outil modélisateur intégré à un Atelier de Génie didactique. Par la suite, en 1996, un éditeur graphique complet a été développé, permettant de construire des modèles et de les documenter. On trouvera d'autres détails sur la technique et l'outil dans l'article suivant : G. Paquette : *La modélisation par objets typés : une méthode de représentation pour les systèmes d'apprentissage et d'aide à la tâche*. Sciences et techniques éducatives, France, avril 1996.

Une des particularités du système de représentation MOT est justement le traitement intégré, dans un même modèle⁵, des faits et des connaissances abstraites de trois types : les concepts, les procédures et les principes, ainsi que des habiletés ou métaconnaissances. Ces types de connaissances peuvent être reliés par plusieurs types de liens : composition, spécialisation, instanciation, précédence, etc. La spécification des types de liens et de connaissances permet de traiter les connaissances d'un domaine de façon structurée, ce qui incite à préserver les " grappes " de connaissances lorsque, par exemple, on construit les diverses composantes d'un cours ou d'un système d'apprentissage (voir page 109 et suivantes).

L'intégration des divers types de connaissances dans un même modèle est d'autant plus nécessaire que, le traitement pédagogique sera différent selon le type de connaissances. Par exemple, si la connaissance est un concept, on pourra la construire en alternant des processus de généralisation à partir des exemples et de spécialisation (pour exclure des contre-exemples). Si la connaissance est une procédure ou un principe, on pourra la construire dans l'exercice de la résolution de problèmes.

L'hypothèse principale à la base du système de représentation MOT est qu'il est possible, à l'aide de quelques types de connaissances et de liens entre ces connaissances, de représenter des modèles complexes tels que les systèmes conceptuels, les processus (incluant la coopération entre agents), les méthodologies et les théories. En fait, treize catégories de modèles seront présentés à la troisième section (page 132 et suivantes).

La quatrième et dernière section (page 144 et suivantes) sera consacrée à la description du processus de modélisation propre à la technique de modélisation par objets (connaissances et liens) typés. L'accent sera mis sur les principes ou les stratégies qui peuvent aider à amorcer la construction de différents types de modèles, à guider leur développement et à les adapter aux autres activités de conception d'un système d'apprentissage.

5 Habituellement, les types de connaissances font l'objet de techniques de modélisation complémentaires mais différentes. Dans le système OMT par exemple, on spécifie un système au moyen de trois modèles (modèle objet, modèle dynamique, modèle fonctionnel), lesquels mettent en jeu de façon différente les faits, les concepts, les procédures et les principes de contrôle. Dans le système KADS, nous sommes en présence de sept modèles différents.

2. LE SYSTÈME GRAPHIQUE DE REPRÉSENTATION MOT

Une langue naturelle ou formelle est un système de représentation. C'est le cas du français, du morse, et de tout langage de programmation. C'est aussi le cas du système de représentation graphique MOT. Dans chaque cas, on cherche à obtenir une représentation du monde réel à l'aide de symboles (lexique) en respectant des règles syntaxiques (grammaire), dont le sens peut être relié aux objets et aux structures du monde réel que l'on cherche à décrire (sémantique).

En tant que langage, le système de représentation MOT sera décrit au moyen des mêmes composantes :

- Un *lexique* ou *vocabulaire* définira les symboles de base qui peuvent être utilisés dans la construction des représentations, par exemple les symboles graphiques représentant les types de connaissances et de liens;
- une *grammaire*, partie structurelle qui décrit les contraintes portant sur l'agencement de ces symboles et qui, avec le vocabulaire, en définit la syntaxe; par exemple les types de connaissances pouvant faire l'objet d'un lien de précédence entre elles;
- une *sémantique* qui permet d'associer un sens aux représentations; c'est cette partie qui spécifiera quelles interprétations on peut donner d'un fait, d'un concept, d'une procédure, d'un principe ou d'une habileté, ou encore des liens entre ces différentes connaissances;

Enfin, un langage comporte généralement une partie procédurale ou *pragmatique* qui spécifie les processus par lesquels on peut construire une représentation, la modifier ou l'utiliser. Nous présenterons les aspects pragmatiques du système de représentation MOT dans la quatrième section (page 144 et suivantes) où est décrit le processus de modélisation.

2.1. Composantes de base d'un modèle MOT (lexique)

Un modèle MOT de base se compose de sept types de connaissances⁶ et de sept types de relations entre elles. Dans cette section, nous présentons six types de connaissances et six types de liens. Les autres seront définis plus loin (section 2.3, page 120). Les **connaissances** sont représentées par des figures géométriques qui en identifient le type. Les **relations** sont représentées par des liens orientés entre ces connaissances munies d'une lettre désignant le type de la relation.

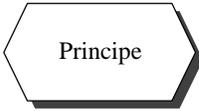
Note : Se reporter à la page 111, pour l'interprétation des différents symboles.

Les connaissances

Les "**connaissances**" peuvent être des connaissances abstraites ou des faits, et aussi, nous le verrons plus loin, des habiletés.

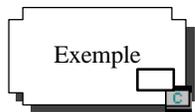
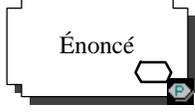
Les **connaissances abstraites** sont des connaissances qui représentent des classes d'objets particuliers, permettant de classer les faits et de les organiser en des ensembles cohérents plus ou moins complexes. On distingue trois types de connaissances abstraites : les concepts, les procédures et les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

6 Le concept de connaissance utilisé ici est plus large que dans la plupart des ouvrages qui traitent du sujet. Il inclut non seulement les faits et les connaissances abstraites (concepts, procédures, principes), mais aussi les habiletés mentales vues comme des métaconnaissances. En fait, nous désignons sous ce terme, toute structure pouvant être stockée dans la mémoire d'un système cognitif où elle peut faire l'objet de divers traitements par d'autres connaissances, en particulier être « apprise » par diverses opérations de construction. En somme, est connaissance tout ce qui peut être appris par l'esprit humain, y compris les habiletés cognitives, motrices ou socio-affectives.

Connaissances abstraites	Symbole
Les concepts (connaissances conceptuelles) décrivent la nature des objets d'un domaine (le quoi); ils décrivent une classe d'objets par leurs propriétés communes, chaque objet se distinguant des autres par les " valeurs " que prennent ses propriétés;	
Les procédures (connaissances procédurales) décrivent des ensembles d'opérations permettant d'agir sur les objets (le comment); elles s'intéressent à comment se combinent des groupes d'actions qui peuvent s'appliquer 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 (connaissances stratégiques) sont des énoncés permettant de décrire les propriétés des objets, d'établir des liens de cause à effet entre des 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 " .	

Note : Vous trouverez des exemples de ces trois types de connaissances à la section suivante

Les **FAITS** sont les données, les observations, les exemples, les prototypes, les démarches de production ou les énoncés qui nous permettent de décrire des objets concrets particuliers. On distingue également trois types d'ensembles de faits.

Faits	Symbole
Les exemples sont obtenus en spécifiant les valeurs de chacun des attributs d'un concept, obtenant un ensemble de faits décrivant un objet concret bien précis.	
Les traces sont obtenues de même en spécifiant les variables de chacune des actions qui composent une procédure, obtenant un ensemble d'actions particulières bien précises, une trace d'exécution.	
Les énoncés sont obtenus de même en spécifiant les variables d'un principe, obtenant ainsi un lien de cause à effet entre les propriétés d'objets particuliers ou entre des propriétés d'un objet particulier et une action précise à effectuer.	

Note : Vous trouverez des exemples de ces trois types de faits à la section suivante.

Les relations entre connaissances

Un modèle MOT de base peut contenir six types de relations ou de liens entre les connaissances. Un premier lien, l'instanciation, relie les connaissances abstraites et les faits. Les cinq autres relient entre elles les divers types de connaissance abstraite.

Le **lien d'instanciation** (I) relie une connaissance abstraite à un fait obtenu en donnant des valeurs aux attributs variables qui définissent la connaissance abstraite. Chaque connaissance abstraite, concept, procédure ou principe " s'instancie " ainsi à un fait appelé respectivement exemple, trace ou énoncé.

Exemple : « La-voiture-de-Jean » est une instance du concept « Les voitures Renault ».

- **Le lien de composition (C)** relie une connaissance à l'une de ses composantes ou de ses parties constitutives⁷. On peut spécifier ainsi les attributs d'un objet comme des composantes d'une connaissance en reliant celle-ci à chacun de ses attributs par un lien de composition " se compose de " .

Exemples : L' « Automobile » se compose d'une « Carrosserie »

La « L'automobile-de-Jean » se compose de « Carrosserie-de-l'automobile-de-Jean »

- **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 ».

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

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

- **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 production résultant de la procédure.

Exemple : « Le plan » est intrant ou est produit de « Rédiger le texte ».

« Rédiger le texte » est intrant ou est produit de « Le texte ».

- **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 »

2.2. Interprétation des composantes d'un modèle (sémantique)

Dans cette section, nous abordons la question de l'interprétation des symboles graphiques qui viennent d'être définis. L'interprétation permet d'associer à différents agencements de symboles des objets du monde réel. Elle permet également de justifier en partie les règles de grammaires et les exceptions qui seront présentées plus loin.

⁷ Notons que le lien de composition a un sens plus large que dans d'autres systèmes de représentation où il prend le sens de « est une partie de ». Ici, le lien C peut également être utilisé à cette fin comme « la carrosserie et la transmission sont des composantes (parties) de l'automobile », mais aussi plus largement pour tout attribut d'un objet, par exemple « l'automobile (le concept) se compose d'une carrosserie , d'un prix, d'une couleur ».

Interprétation des connaissances

La généralité d'un système de représentation dépend de la souplesse avec laquelle on peut interpréter les symboles lorsque utilisés dans différents contextes. Ainsi, les connaissances du système MOT peuvent servir à représenter différentes catégories d'objets du monde réel, tel qu'indiqué sur le tableau suivant.

Type	Interprétations	Exemples
Concept	<ul style="list-style-type: none"> · classes d'objets · types de documents, · catégories d'outils, · catégories de personnes, · types d'événements. 	<ul style="list-style-type: none"> – pays, vêtements, véhicules moteur,. – formulaires de déclarations des revenus; plans de livres,. – éditeurs de texte, téléviseurs,. – médecins, asiatiques,. – inondations, colloques.
Procédure	<ul style="list-style-type: none"> · opérations génériques, · tâches générales, · activités générales, · instructions, · scénarios. 	<ul style="list-style-type: none"> – additionner, assembler d'un moteur,. – compléter un rapport; rédiger livre,. – participer à un examen, donner un cours,. – suivre une recette, assembler un appareil,. – déroulement d'un film, d'une rencontre.
Principe	<ul style="list-style-type: none"> · conditions, propriétés, · contraintes, · relations de cause à effet, · lois, · théories, · règles de décision, · prescriptions. 	<ul style="list-style-type: none"> – le contribuable a des enfants,. – la tâche doit être effectuée en 20 jours,. – s'il pleut moins de 5 jours, alors la récolte... – tout métal chauffé suffisamment s'allonge,. – l'ensemble des lois de l'économie,. – les règles pour choisir un placement,. – les principes de design pédagogique.

Il est à noter que les connaissances abstraites sont toujours interprétées par des classes d'objets, d'actions ou d'énoncés. Les concepts, les procédures ou les principes doivent admettre la variabilité des individus, des actions ou des énoncés possibles. Si une seule instance est possible, il s'agit alors d'un fait : exemple, trace ou énoncé particuliers.

Interprétation des liens I

Le lien d'instanciation entre un concept et un exemple, entre une procédure et une trace, ou entre un principe et un énoncé s'interprète comme suit : toutes les composantes variables doivent recevoir une valeur précise, produisant ainsi un seul individu, membre de la classe. La connaissance abstraite est un schéma, 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 premier cas, 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 second cas, 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 troisième cas, on obtient une affirmation particulière qui peut être vraie ou fausse (un 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).

Type	Connaissance	Instances (ensemble de faits)
Concept	Un objet métallique – Type de métal : X – Longueur : Y – Épaisseur : Z	. Métal de l'objet = fer; Longueur = 1,6 m; Épaisseur = 1 mm . Métal de l'objet = plomb; Longueur = 2 m; Épaisseur = 1mm
Procédure	Mesurer la dilatation d'un métal chauffé – Sélectionner l'objet métallique A – Chauffer à la température B – Mesurer la dilatation C	. Sélectionner une barre de fer 1,6m x 1mm; Chauffer à 200° C; Mesurer la dilatation = 0,5 mm . Sélectionner une barre de plomb 2 m x 1mm; Chauffer à 250° C; Mesurer la dilatation = 0,8 mm
Principe	Loi de dilatation des métaux – SI un objet métallique – SI chauffé à plus de 150° C – ALORS l'objet s'allonge	. SI Objet est une barre de fer 1,6m x 1mm; SI Objet chauffé à 200° C; ALORS Objet s'allonge. . SI Objet est une barre de plomb 2 m x 1mm; SI Objet chauffé à 250° C, ALORS objet s'allonge.

Le tableau qui précède montre qu'il y a autant d'exemples du concept d'objet métallique qu'il y a de valeurs possibles de ses attributs telles que la longueur, l'épaisseur et le type de métal. De même, il y a autant de traces de la procédure " chauffer un objet métallique " qu'il y a d'ensembles d'actions concrètes obtenues en faisant varier l'objet sélectionné et la température de chauffage. Enfin, il y a autant d'énoncés du principe " Tout métal chauffé suffisamment, s'allonge " qu'il y a d'énoncé particuliers montrant que tel objet particulier, chauffé à telle température, s'allonge de telle longueur.

Interprétation des liens S

Le lien de spécialisation donne lieu à des interprétations diverses selon qu'il s'agit des composantes d'un concept, d'une procédure ou d'un principe.

Type	Connaissances spécialisées	Sorte de
Concept	. automobile, avion,.... . texte de loi, poème,.... . éditeur collaboratif, éditeur français,.... . contribuable marié, fortuné,.... . métaux alcalins, métaux lourds,....	. véhicule moteur . document . éditeur de texte . contribuable . métaux
Procédure	. additionner des entiers, des fractions,.... . rédiger un livre scientifique, d'histoire,.... . gérer un projet informatique, de génie,.... . suivre une recette de confiture,....	. additionner des nombres . rédiger un livre . gérer un projet . suivre une recette
Principe	. définition d'un rongeur, d'un primate,.... . géométrie euclidienne , projective,.... . règles de placement obligataire,.... . tout objet en métal, chauffé à plus de 300° C, s'allonge,.... . SI sécurité ou placement inférieur à 5000\$ ALORS, offrir un dépôt à terme . SI sécurité ALORS, offrir un dépôt à terme de moins de 1 an	. définition d'un mammifère . théorie géométrique . règles de placement . tout objet en métal, chauffé à plus de 200° C, s'allonge. . SI sécurité ALORS offrir un dépôt à terme . SI sécurité ALORS offrir un dépôt à terme

Le lien de spécialisation entre deux concepts signifie que la classe correspondant au concept spécialisé est un sous-ensemble de la classe la plus générale. On dira, par exemple, que les automobiles sont des sortes de véhicules moteurs.

Dans le cas des procédures, l'interprétation est légèrement différente. La procédure spécialisée permettra en général de traiter un sous-ensemble des cas traités par la procédure plus générale, mais souvent de façon plus efficace. Pour ce faire, elle aura plus de composantes, de sous-procédures. Par exemple, la gestion d'un projet informatique se compose de tâches spécialisées qu'on ne retrouve pas dans la gestion de tous les projets.

Dans le cas des principes qui sont des ensembles de principes, l'interprétation de la spécialisation est l'inverse de l'inclusion entre ensembles. Par exemple, la définition d'un primate ou d'un rongeur nécessite une énumération de propriétés beaucoup plus longue que la liste de propriétés qui définit les mammifères.

Pour ce qui est des principes simples de la forme " SI.ALORS. ", le tableau précédent illustre plusieurs façons d'obtenir un principe plus spécialisé : un principe qui s'applique à moins de cas, un principe qui comporte des conditions additionnelles ou un principe dont la conclusion est plus restrictive ou l'action plus spécifique par rapport au principe plus général.

Interprétation des liens C

Le lien de composition donne lieu à des interprétations différentes selon qu'il s'agisse des composantes d'un concept, d'une procédure ou d'un principe. Notons que les instances (ensemble de faits résultant de l'instanciation) peuvent se décomposer de façon analogue aux connaissances abstraites dont elles sont issues.

L'interprétation générale du lien de composition veut qu'une composante soit en quelque sorte une des parties constitutives d'une connaissance, par exemple un de ses attributs dans le cas d'un concept; une sous-procédure, une action, une opération, ou une sous-tâche dans le cas d'une procédure; une condition, un principe ou une règle qui entrent dans la définition d'un principe ou d'un ensemble de principes. En voici quelques exemples:

Type	Exemples	Composantes
Concept	<ul style="list-style-type: none"> . véhicule moteur . document . éditeur de texte . contribuable . rendez-vous 	<ul style="list-style-type: none"> . moteur, système électrique, direction, chapitre, sections, paragraphes,.... . fonctions de fichier, de copie, de format,.... . âge, revenu, personnes à charge,.... . heure, lieu, sujet,....
Procédure	<ul style="list-style-type: none"> . additionner . rédiger un livre . donner un cours . suivre une recette . suivre l'ordre du jour 	<ul style="list-style-type: none"> . additionner les unités, les dizaines,.... . faire la recherche, faire le plan,.... . introduire le sujet, exposer des concepts,.... . regrouper ingrédients, préparer marinade,.... . adopter l'OJ, traiter le point 1,....
Principe	<ul style="list-style-type: none"> . définition d'un mammifère . géométrie . les règles de placement . tout objet en métal, chauffé à plus de 200° C, s'allonge . SI sécurité, ALORS offrir un dépôt à terme 	<ul style="list-style-type: none"> . l'animal est poilu, l'animal est vivipare,.... . chacun des postulats, définitions et théorèmes . chacune des règles de choix d'un placement . l'objet est en métal, la température de chauffage est > 200° C, l'objet s'allonge. . le besoin du client est la sécurité, offrir un dépôt à terme

Il n'y a pas de problème d'interprétation du lien C dans le cas des concepts et des procédures. L'interprétation dans le cas d'un principe regroupant un ensemble de principes (les trois premiers cas du tableau) est tout aussi directe. Cependant l'interprétation du lien de composition dans le cas des deux derniers principes du tableau précédent demande à être précisée, en distinguant deux types de principes.

Principes relationnels

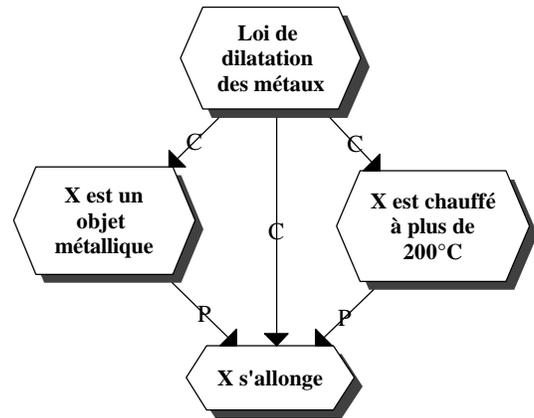
On appelle principe relationnel, un principe de la forme « SI.ALORS. » qui se compose uniquement de principes simples appelés **propriétés** pouvant prendre la forme générale < Attribut, Relation, Valeur >. Les propriétés suivant le « SI » sont appelées conditions et celles suivant le « ALORS » sont appelées conclusions.

Par exemple, la loi de dilatation des métaux se compose de trois propriétés :

« X est un objet métallique »,
« X est chauffé > 200° C »

« X s'allonge ».

Les deux premières sont les conditions et la troisième est la conclusion.



Exemple 1 - Principe relationnel

De façon à ne plus dépendre des mots « SI » et « ALORS » qui ne font pas partie de la représentation graphique, on doit ajouter des liens P entre chacune des deux conditions et la conclusion. Il s'agit d'une précedence logique (d'implication). Le lien P s'interprète ainsi : pour une instance donnée (ici un objet particulier) la conclusion sera vérifiée, seulement quand toutes les conditions qui précèdent la conclusion auront d'abord été vérifiées. C'est là une façon de représenter graphiquement (et de façon opératoire) un lien de causalité entre les conditions et la conclusion.

Principes de décision

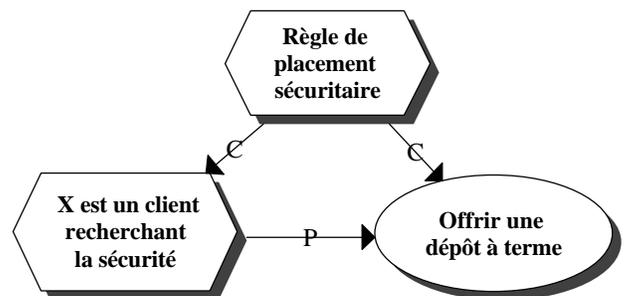
On appelle principe de décision un principe de la forme « SI.ALORS. » qui se compose de **propriétés** suivant le « SI » appelées **conditions** et de **procédures** suivant le « ALORS » appelées **actions**.

Par exemple, la règle de placement sécuritaire se compose d'une condition :

« X est un client qui recherche la sécurité »,

et d'une action :

« Offrir un dépôt à terme ».



Exemple 2 - Principe de décision

Comme pour les principes relationnels, de façon à ne plus dépendre des mots « SI » et « ALORS » qui ne font pas partie de la représentation graphique, on a ajouté un lien P entre la condition et l'action. Le lien P s'interprète ainsi : pour une instance donnée (ici un objet particulier) l'action sera exécutée, seulement si les conditions qui précèdent l'action ont été évaluées comme étant vraies.

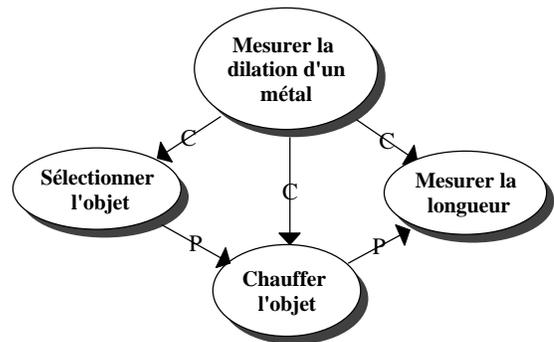
Interprétation des liens P

Il y a quatre situations possibles mettant en jeu les liens de précédence (P)

1. principe \rightarrow principe
2. principe \rightarrow procédure
3. procédure \rightarrow procédure
4. procédure \rightarrow principe

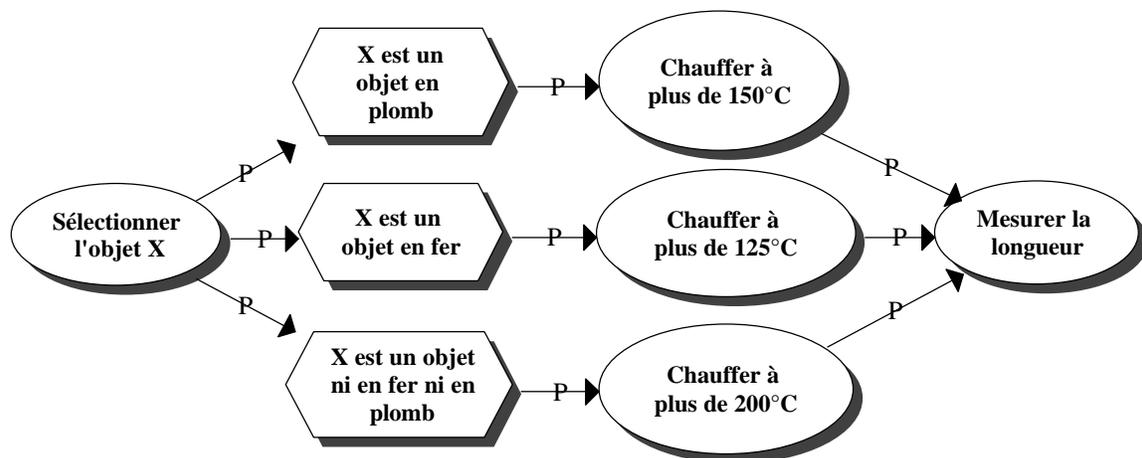
La section précédente a permis de donner une interprétation du lien P dans les deux premiers cas (exemples 1 et 2). Un principe relationnel se compose d'un principe (la condition) qui précède un autre principe (la conclusion). D'autre part, un principe d'action se compose d'un principe qui précède une procédure.

Le troisième cas où le lien de précédence est entre deux procédures ne présente pas de difficulté d'interprétation. La première procédure doit être terminée avant d'exécuter la suivante, comme dans l'exemple ci-contre.



Exemple 3 - Procédure séquentielle

Reprenons maintenant l'exemple 3, représentons les trois sous-procédures et décomposons la procédure « Chauffer l'objet » en trois cas, selon que le métal chauffé est du plomb, du fer, ou un autre métal. On peut remplacer la procédure « Chauffer l'objet » par les trois principes d'action indiqués à l'exemple 4. Nous avons là l'interprétation du quatrième cas : procédure \rightarrow principe.



Exemple 4 - Une procédure décrite entièrement par des liens de précédence

Ce modèle doit être interprété comme suit : 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. Si elle est vérifiée, on exécute l'action correspondante, suivie dans chaque cas de la procédure finale « Mesurer la longueur ». Même si cela n'est pas représenté sur la figure, la procédure

« Mesurer la dilatation d'un métal chauffé se compose maintenant des huit connaissances présentes dans le modèle, soit cinq procédures et trois principes.

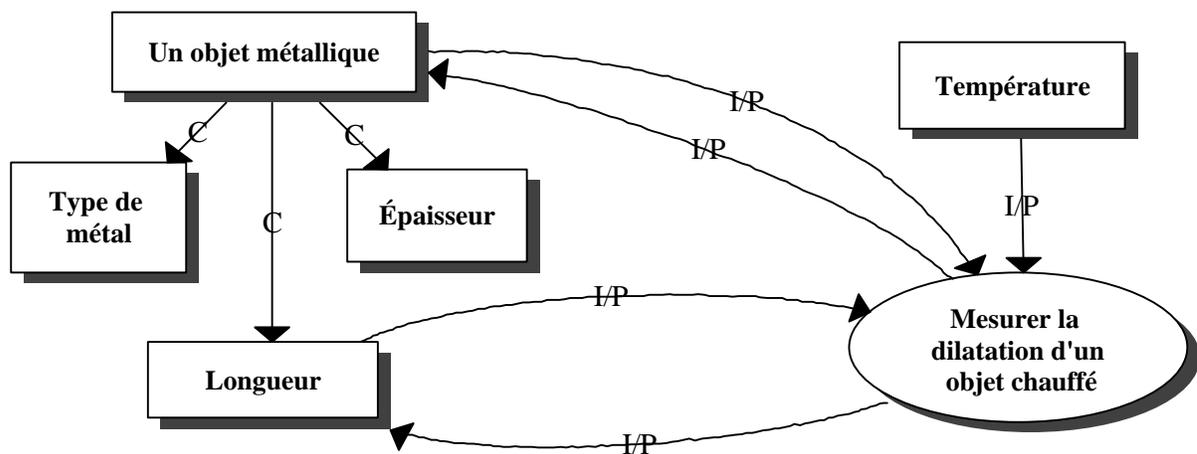
Interprétation des liens I/P

Il y a deux situations possibles mettant en jeu les liens d'intrant-produit (I/P) :

1. concept – I/P → procédure (Concept est intrant à la procédure)
2. procédure – I/P → concept (Procédure a pour produit le concept)

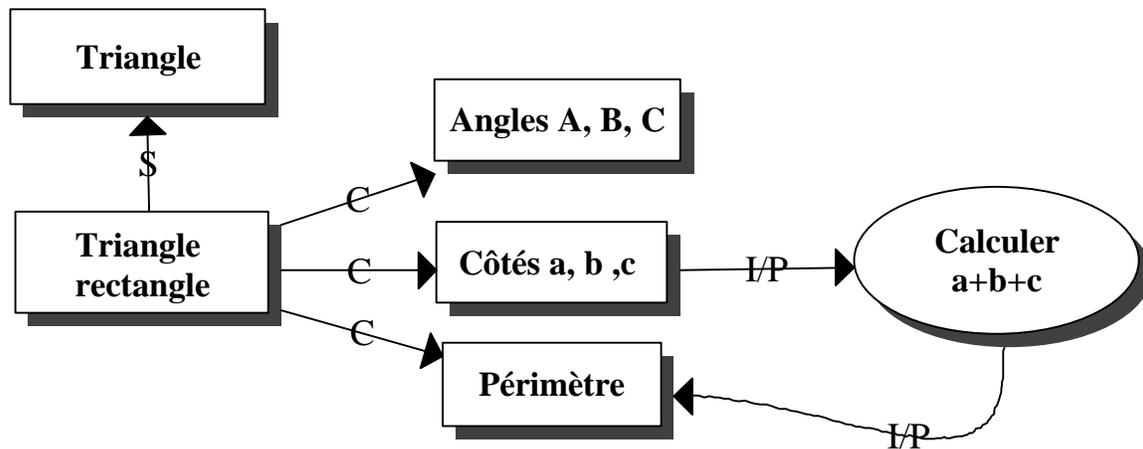
Un concept intrant à une procédure peut signifier que la procédure effectuera une transformation de l'objet représenté par le concept ou qu'elle s'en servira pour le transformer en un autre objet. Le produit est le résultat, la production, le bien livrable résultant d'une transformation effectuée par une procédure.

Dans l'exemple 5, l'objet métallique est transformé par la procédure en un autre objet, puisqu'il n'a plus la même longueur, bien que les deux objets soient tous deux des instances du concept « Objet métallique ». Par ailleurs la température n'est pas modifiée, mais elle est utilisée pour effectuer la transformation, pour dilater l'objet.



Exemple 5 - Interprétation de liens intrant-produit

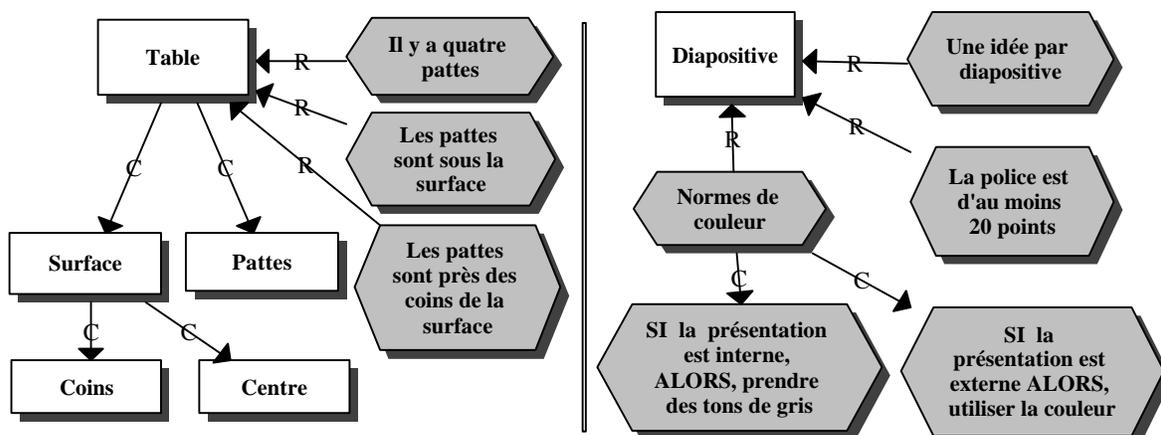
Signalons que la valeur de la composante « Longueur » est à la fois intrant et produit de la procédure « Mesurer la dilatation d'un objet chauffé ». On appelle **attachement procédural d'un concept** une procédure qui prend en intrant certaines composantes d'un concept et retourne comme produit une nouvelle valeur de la composante ou d'une autre composante du même concept. L'exemple 6 illustre un autre cas d'attachement procédural dont l'intrant est la valeur des trois côtés d'un triangle et le produit est son périmètre.



Exemple 6 - Lien intrant-produit et attachement procédural

Interprétation des liens R

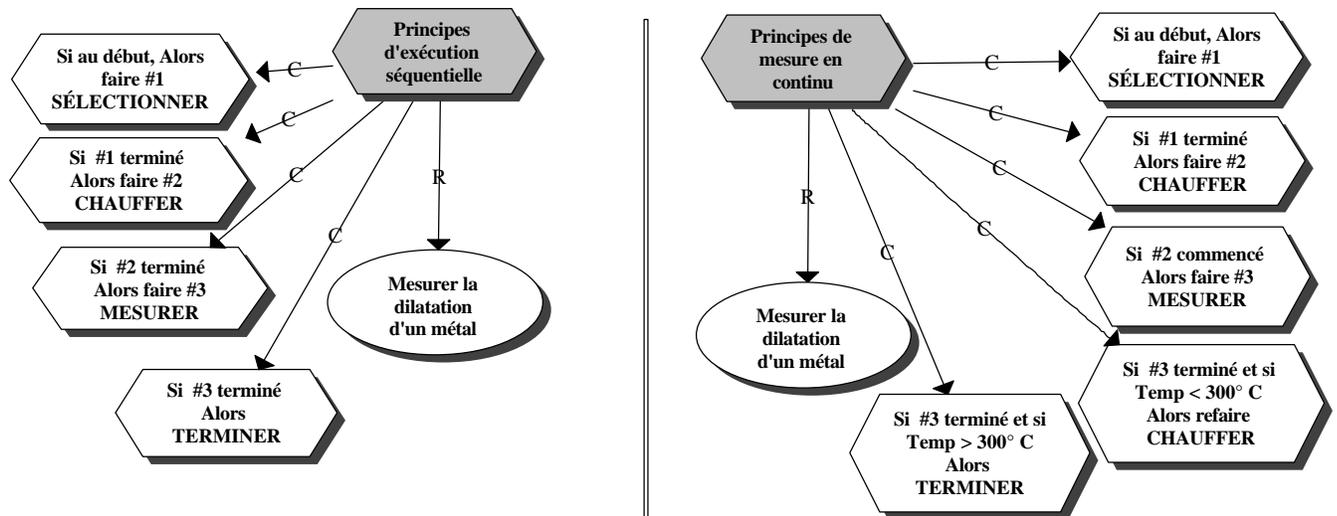
Il y a trois situations possibles mettant en jeu les liens de régulation (R) selon que le principe régitse un ou plusieurs concepts, une ou plusieurs procédures ou d'autres principes. Le cas où un principe régit un concept peut être interprété comme une **définition**, au moins partielle, de ce concept.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



Exemple 7 - Principes régissant un concept

Les principes régissant une procédure sont interprétés comme une **structure de contrôle** de la procédure, laquelle est régie de l'extérieur. Le ou les principes viennent préciser la façon dont la procédure et ses composantes seront exécutées.

L'exemple 8 illustre deux structures de contrôle possibles pour une même procédure. Dans celle de gauche, l'exécution est séquentielle; on aurait pu se contenter de tracer des liens de précedence entre les sous-procédures. Dans celle de droite, les sous-procédures s'exécutent en partie séquentiellement, en partie parallèlement; permettant ainsi de mesurer en continu, c'est-à-dire sans interrompre le chauffage du métal avant que ne soit atteint le seuil de 300° C.

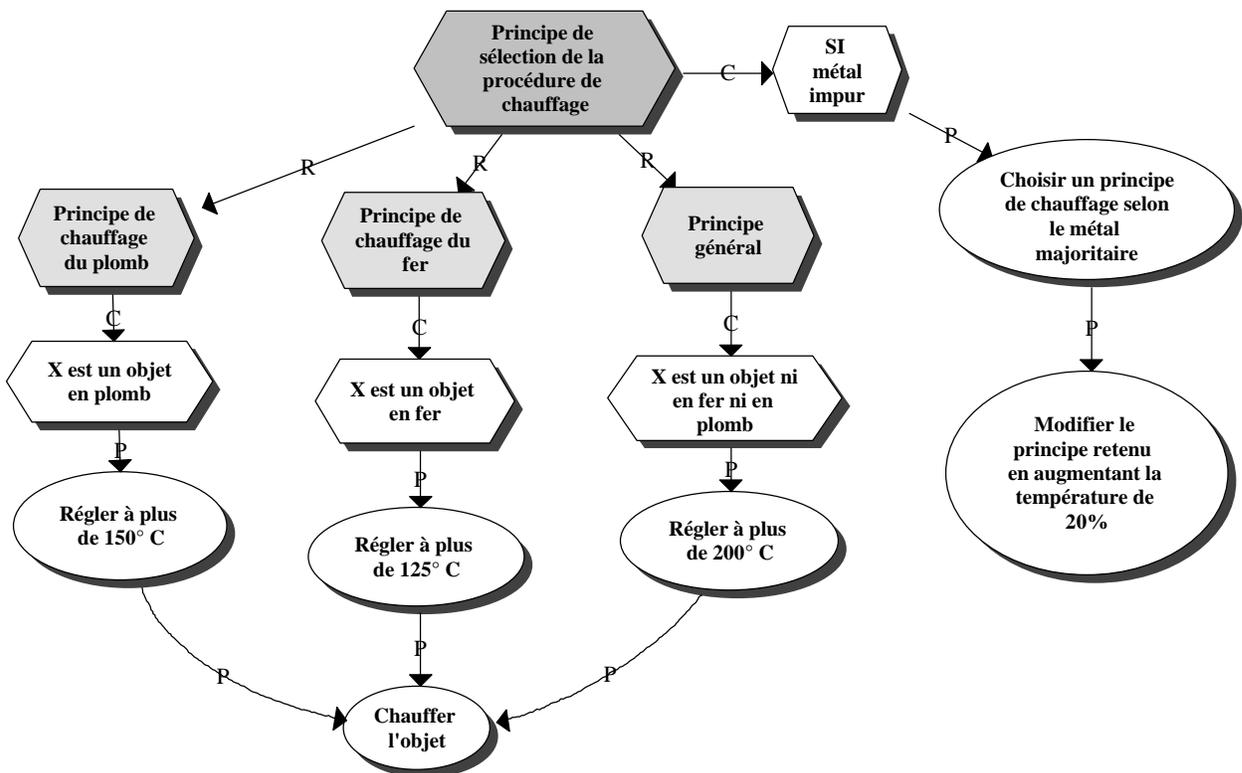


Exemple 8 - Principes régissant une procédure

Soulignons que la régulation externe d'une procédure par des principes d'exécution permet de se libérer de la rigidité des liens de précédence. On peut ainsi définir des structures de contrôle qui spécifient toute combinaison d'exécution en série, en parallèle, en spirale ou autre.

Note : D'autres exemples de telles structures de contrôle seront présentées à la page 132.

Passons maintenant au dernier cas où un principe régit un autre principe. Le lien R doit alors être interprété comme suit : le principe spécifie des conditions de sélection des principes qu'il régit, spécifiant le principe qui doit s'appliquer dans telle ou telle situation. Le principe à l'origine du lien R peut également modifier les principes qu'il régit avant leur application, comme dans l'exemple 9.



Exemple 9 - Des principes régissant le flux de contrôle d'une procédure.

L'exemple 9 illustre l'action d'un « Principe de sélection de la procédure de chauffage », lequel consiste d'abord à déterminer si l'échantillon de métal à chauffer est impur; dans ce cas, on choisit le principe à appliquer selon le métal qui est majoritaire dans l'échantillon, puis on modifie la règle sélectionnée en augmentant la température de 20 %. Le principe « SI métal impur » donne ainsi le contrôle à l'un des trois principes particuliers par le biais de la procédure « Choisir un principe de chauffage... ».

2.3. Extension du système de représentation aux habiletés

Chaque domaine de connaissances particulier tels que la physique, la sociologie ou le droit regroupe un ensemble de connaissances abstraites et de faits. Le domaine qui prend comme objet d'étude les connaissances elles-mêmes est particulièrement important pour l'apprentissage. Les connaissances de ce domaine sont appelées **métaconnaissances**, car elles traitent des connaissances des autres domaines. Dans cette section, nous complétons le vocabulaire de base du système de représentation MOT pour tenir compte d'une catégorie particulièrement importante de métaconnaissances : les **habiletés**.⁸

Les habiletés en tant que connaissances

Lorsque nous avons acquis des connaissances, et pendant que nous les avons acquises, nous avons appris à exercer diverses habiletés à leur égard. Il importe de distinguer les habiletés des autres connaissances auxquelles elles s'appliquent. Par exemple, quelqu'un peut être capable de reconnaître qu'une quantité est une fraction, sans l'appliquer dans une situation de la vie courante, sans évaluer si ce concept est bien le meilleur à utiliser plutôt qu'un autre. Dans un autre domaine, tel individu saura reconnaître une recette de canard à l'orange et tel autre sera capable de l'appliquer avec plus ou moins de succès, mais l'expert en cuisine pourra non seulement appliquer une procédure décrite dans un livre de recettes, mais il pourra évaluer et comparer plusieurs procédures et même en inventer de nouvelles. Enfin, dans un troisième domaine, un particulier aura peut-être une idée de la valeur relative de tel ou tel type de placement, mais l'expert saura analyser la situation d'un client, évaluer les véhicules de placement qui lui conviennent et créer un portefeuille adapté à ses besoins.

Ces quelques exemples illustrent les principales propriétés des habiletés

1. *Les habiletés varient avec les individus et font l'objet d'apprentissage.* Tout comme les autres connaissances, les habiletés se développent à différents moments de la vie d'un individu. Nous développons d'abord des habiletés d'attention, de mémorisation; puis nous apprenons à reconnaître et à appliquer des connaissances, à réussir des travaux physiques ou à travailler en équipes; enfin, nous apprenons à utiliser des habiletés " supérieures " d'analyse, de synthèse ou d'évaluation, à nous engager, à communiquer et à nous adapter. De plus, pour une habileté donnée, comme par exemple l'analyse, nous apprenons à l'exercer dans des domaines de plus en plus variés et complexes.
2. *Les habiletés se définissent relativement aux connaissances auxquelles elles s'appliquent.* Bien qu'ayant leur existence propre, les habiletés se définissent par rapport aux connaissances auxquelles on peut les appliquer. Dire que quelqu'un est habile à faire un diagnostic ou à développer une synthèse est un abus de langage qui signifie simplement que quelqu'un est capable d'exercer ces habiletés par rapport à des connaissances diversifiées et même dans des domaines relativement nouveaux pour lui ou pour elle, mais toujours par rapport à un ou plusieurs domaines d'application.
3. *Les habiletés se développent à travers plusieurs domaines.* Une habileté comme la capacité de diagnostic, se développe à travers nos interactions dans plusieurs domaines de connaissances. On peut constater des problèmes simples de retard dans le remboursement d'une facture, ou des problèmes plus ou moins complexes de débogage d'un logiciel ou le diagnostic des causes de problèmes de santé. Ces divers types de diagnostic ont plusieurs caractéristiques en commun de

⁸ Outre les habiletés, on pourrait s'intéresser à plusieurs types de méta-concepts, de méta-procédures ou de méta-principes. Pour une étude de cette question, on pourra se référer à une publication du LICEF : G. Paquette, *Extension du système MOT aux métaconnaissances - Applications à l'ingénierie éducative*, LICEF 1997.

sorte que la maîtrise de cette habileté dans un domaine, peut aider à son transfert dans d'autres domaines.

4. *Les habiletés sont des processus génériques.* Les habiletés sont de nature essentiellement procédurale; ce sont des processus qui permettent de traiter les connaissances pour les percevoir, pour les mémoriser, pour les comprendre, pour les appliquer, pour les évaluer, pour les créer ou pour les communiquer. Une habileté se décompose généralement en sous-tâches qui sont d'autres habiletés. Chaque habileté a également ses intrants et ses produits qui sont des types de connaissances résultant de l'application de l'habileté. Par exemple, "appliquer une procédure" a pour intrant une procédure quelconque et produit une trace d'exécution. Ces processus sont génériques en ce sens qu'ils s'appliquent à des types de connaissances ou à des connaissances de différents domaines, plutôt qu'à certaines connaissances d'une domaine particulier. Enfin, les habiletés peuvent se comparer entre elles par des liens de spécialisation : "diagnostiquer une panne d'automobile" est une sorte d'habileté de diagnostic.
5. *Les habiletés ne sont pas que cognitives (au sens strict), mais aussi psychomotrices, affectives et sociales*⁹. Les habiletés psychomotrices sont liées aux capacités d'une personne à exécuter des actions physiques dans son environnement, comme dactylographier un texte, monter à bicyclette, jongler ou courir le mille. Les habiletés affectives, parfois appelées attitudes, permettent à un individu de réagir en fonctions de ses valeurs, de ses émotions ou de ses sentiments. Les habiletés sociales procurent la faculté d'interagir pour d'atteindre certains buts tels que la communication, l'éducation, la persuasion, la solidarité, etc.
6. *Les habiletés psychomotrices, affectives et sociales sont également des processus génériques appris qui s'exercent sur les connaissances de divers domaines.* Tous les types d'habiletés se développent par la participation d'un individu à diverses situations rencontrées tout au long de sa vie. Ces situations se composent de différents objets, événements, personnes, interrelations qui peuvent être décrits par des faits, des concepts, des procédures ou des principes. Par exemple, une habileté psychomotrice telle que "monter à bicyclette" est un processus qui est un cycle d'actions physiques permettant d'atteindre le but fixé : garder l'équilibre; son résultat peut être décrit au moyen de faits et de connaissances. De même, une attitude affective de rejet ou de désintérêt est un processus qui peut être provoqué par une perception ou une analyse d'une situation, elle-même décrite au moyen de faits et de connaissances, et une comparaison avec des connaissances, des valeurs ou des situations antérieures stockées en mémoire. Enfin, une habileté sociale telle que la recherche de solidarité entre les membres d'une équipe partageant un but, peut être décrite par un processus qui débute par l'échange des points de vue, la comparaison, l'accord sur les buts et la recherche des ressemblances et des complémentarités.

Plutôt que de catégoriser les habiletés selon le type de réponse de l'individu à un stimulus (nouvelles connaissances, actions motrices, attitudes personnelles ou sociales), nous les caractérisons par leurs fonctions dans le cycle de traitement de l'information par lequel une personne perçoit et transforme les connaissances, ou agit, réagit et interagit dans une situation donnée.¹⁰

Au terme de cette brève analyse, nous proposons un traitement intégré des divers types d'habiletés, en tant que processus métacognitifs. Contrairement à leur usage traditionnel dans la définition des objectifs d'apprentissage, les habiletés sont ici des objets d'apprentissage que l'on peut décrire, analyser, évaluer, en soi ou dans leur relation à des connaissances de différents domaines. À ce titre, il doivent faire partie des modèles de connaissances, si nous voulons pouvoir les désigner comme cible d'activités d'apprentissage, au même titre que les connaissances d'un domaine spécifique.¹¹

9 Nous utilisons ici la classification des habiletés proposée par A.J. Romiszowski, *Designing Instructional Systems*. Nichols Publ., NY : Kogan Page, 1981. Cette classification se distingue de la taxonomie de Bloom qui présente trois catégories, le domaine cognitif qui regroupe les connaissances et les habiletés cognitives, le domaine psychomoteur, et le domaine affectif, regroupant les habiletés affectives et sociales. Également, l'approche de Romiszowski vise un traitement intégré des quatre catégories d'habiletés, approche dont nous allons nous inspirer dans la section suivante. Toutefois, nous voulons également traiter les habiletés comme des connaissances (dans le domaine qui étudie les connaissances) pouvant s'appliquer à d'autres connaissances.

10 Nous adoptons donc une approche cognitiviste plutôt que béhavioriste, c'est-à-dire fondée sur un modèle du traitement de l'information qui mène à un comportement, plutôt que sur les signes extérieurs de ce comportement. On retrouve la même préoccupation dans des travaux où le terme de « compétence » ou de « méta-compétence » est utilisé dans un sens voisin de celui que nous donnons ici au mot « habileté ».

11 Dans MISA, le rôle traditionnel des habiletés comme « requis pédagogique » relatif à une connaissance sera joué par les niveaux de compétence (voir annexe 1), lesquels pourront s'appliquer autant aux habiletés qu'aux autres connaissances. On lève ainsi une ambiguïté

L'extension du système de représentation : habiletés et liens AP

En tant que connaissances sur les connaissances (ou métaconnaissances), les habiletés peuvent être intégrées à un domaine de connaissance particulier, en étant liées aux connaissances et aux faits auxquels on doit les appliquer.

Il y a de nombreux avantages à ce traitement intégré. On reconnaît généralement que les habiletés se développent en même temps qu'on les exerce sur des connaissances particulières. Toute personne qui apprend de nouvelles connaissances, utilise des habiletés, sans en être nécessairement consciente. Mais cette utilisation des habiletés a avantage à devenir un acte conscient de la part de l'apprenant (ce qu'on appelle la métacognition). En ajoutant les habiletés dans le modèle de connaissances, elles deviennent des objets d'apprentissage manipulables, liées aux autres connaissances. Cette présence explicite des habiletés peut favoriser l'amélioration des modes d'apprentissage d'un individu, facilitant ses opérations de transfert d'un domaine d'application connu, à de nouveaux domaines d'application, l'habilitant ainsi à apprendre de façon de plus en plus autonome.

Nous allons donc étendre le système de représentation MOT, en y ajoutant un septième type de connaissance¹² appelée " habileté ".

Les **habiletés** sont des connaissances qui permettent à un individu de traiter les faits ou les connaissances de différents domaines, soit pour les percevoir, les mémoriser, les comprendre, les appliquer, les analyser, les évaluer ou les synthétiser, ou encore pour agir, réagir ou interagir dans l'environnement.



Nous ajoutons également un septième type de lien appelé relation d'application AP liant une habileté aux connaissances auxquelles elle s'applique.

Le lien d'application (AP) relie une habileté à une ou à plusieurs connaissances d'un domaine dit d'application. De façon analogue au lien intrant-produit, si le lien AP va d'une connaissance abstraite ou d'un fait vers l'habileté, on dira que l'habileté s'applique à la connaissance abstraite ou au fait; si au contraire, le lien AP va de l'habileté vers la connaissance abstraite ou le fait, on dira que l'habileté produit la connaissance abstraite ou le fait.

Exemple « Diagnostiquer » s'applique à « un système de son » et produit une « liste des composantes fautives »;

« Généraliser » s'applique à des « exemples de mesures sur les gaz » et produit « une loi des gaz parfaits »;

« Réussir un plongeon » s'applique à « faire un triple saut arrière » et produit « un impact réussi »;

« Réagir avec maîtrise » s'applique à « débat contradictoire » et produit des « principes de maîtrise » et la procédure « Répondre avec calme »;

« Interagir » s'applique à « une équipe » et à « un but » et produit « un climat de collaboration ».

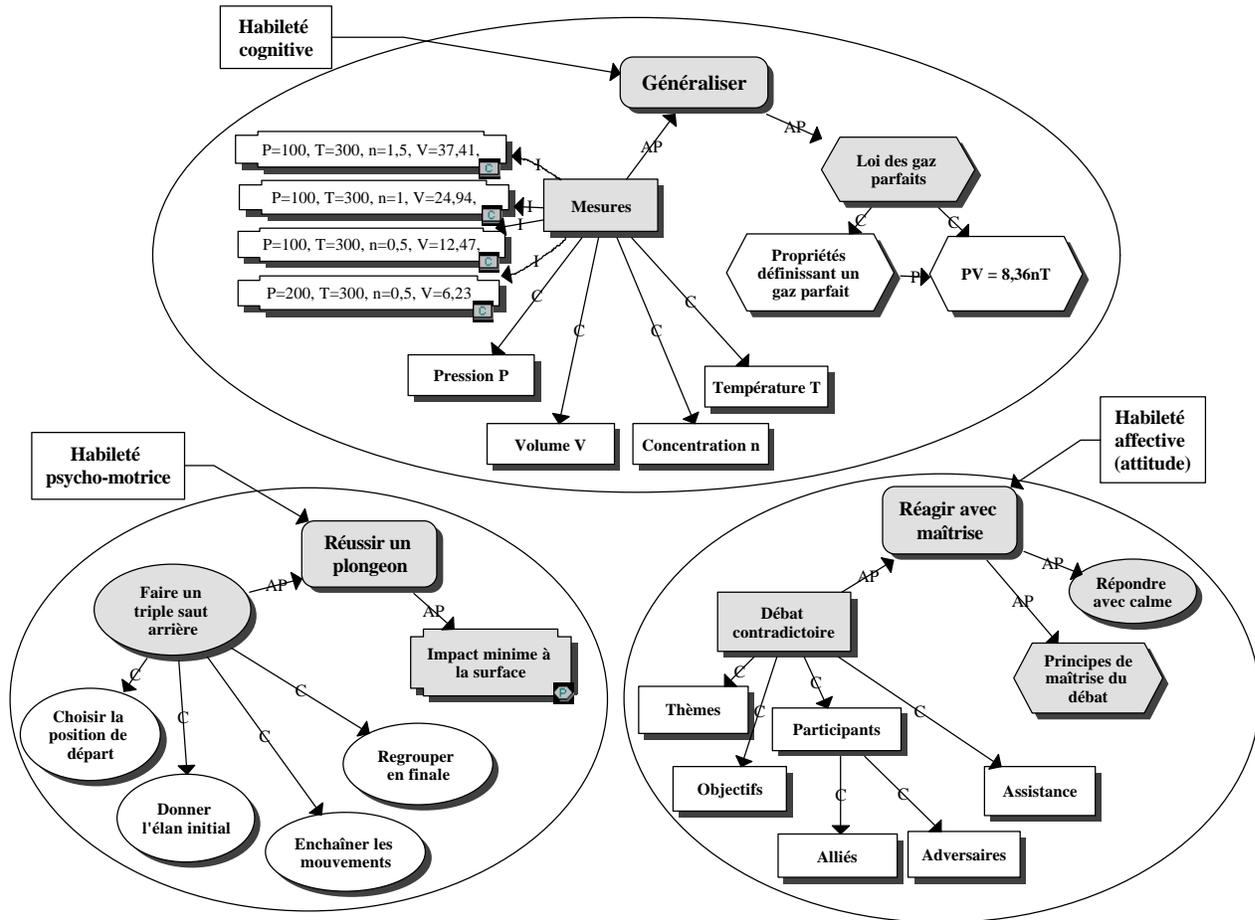
Les deux premiers exemples sont des habiletés cognitives, s'appliquant respectivement à un concept et à des faits, et produisant respectivement des faits et un principe. Le troisième exemple applique une habileté psychomotrice à une procédure impliquant une coordination des facultés psychomotrices et produisant un fait. Le quatrième exemple applique une habileté affective, une attitude à une situation de débat et produit des principes et un comportement qui peuvent être décrits. Le dernier exemple applique une habileté sociale à la description d'une équipe et à un but recherché et produit un concept.

Interprétation des habiletés et des liens AP

quant à la double fonction des habiletés. Notre choix est que les habiletés sont des « objets de connaissances » plutôt que des requis pédagogiques, ceux-ci étant définis à partir d'écart de compétence à combler, définis par une autre échelle.

¹² Pour les personnes qui utilisent l'éditeur graphique MOT, les habiletés seront représentées par des connaissances dites « non-typées ». Il en est de même du lien AP qui devra être inscrit à la place des mots « non-typé ».

Le choix des habiletés à faire intervenir dans un modèle dépend beaucoup du contexte et des buts d'un système d'apprentissage. Certains organismes privilégieront les habiletés cognitives, alors que d'autres mettront davantage l'accent sur les habiletés psychomotrices, affectives ou sociales.



Exemple 10 - Habiletés s'appliquant à des connaissances

L'exemple précédent propose trois cas de modèles par objets typés. Le premier montre une habileté cognitive de généralisation qui s'applique à un ensemble de mesures sur quatre attributs (P, V, n, T) et produit un principe général (la loi des gaz parfaits). Le second illustre le cas d'une habileté psychomotrice qui s'applique à une procédure, laquelle est ici décomposée en quatre étapes, et qui produit un fait (la nature de l'impact avec la surface de l'eau). Le troisième illustre le cas d'une habileté affective qui s'applique à un concept (le débat avec ses thèmes, ses objectifs, ses participants et l'assistance) et produit des principes observés de maîtrise, ainsi qu'une démarche de « réponse avec calme ».

Ces exemples montrent bien que le lien AP peut s'appliquer (dans un sens ou dans l'autre), à n'importe quel type de connaissances ou de faits. Cependant, certaines habiletés ne traitent que certains types de connaissances abstraites ou de faits. Par exemple, l'habileté « Généraliser un concept » s'applique soit à un ensemble de faits ou à un concept et des faits, et produit un nouveau concept (plus général). De même, « Induire une loi » s'applique à un ensemble d'exemples et produit un nouveau principe.

Il existe plusieurs taxonomies pour décrire les habiletés. L'approche de Bloom consiste à définir une taxonomie pour chaque catégorie de résultat produit : cognitif, psychomoteur et affectif. Plus récemment, on a commencé à subdiviser les habiletés affectives en deux catégories : affectif-réactif (se gérer soi-même) et affectif-interactif ou social (gérer ses interactions). Il existe notamment des échelles mesurant les habiletés sociales telles que la coopération, le leadership, la responsabilité, l'empathie et l'auto-contrôle.

Cependant, nous croyons qu'il y a beaucoup d'avantages à intégrer les divers types d'habiletés dans une même taxonomie. C'est la raison pour laquelle nous avons prévu un seul symbole pour représenter tous les types d'habiletés, puisque ce sont des processus génériques qui diffèrent uniquement par la nature des objets auxquels ils s'appliquent ou ceux qu'ils produisent. L'utilisateur de l'éditeur graphique MOT pourra notamment utiliser différentes couleurs, s'il désire distinguer les divers types d'habiletés.

Au delà des terminologies, il existe un assez large consensus sur le cycle d'habiletés ou de processus génériques qui caractérise l'action et l'apprentissage humain. Ce cycle sert de base à une taxonomie intégrée des habiletés présentée à la figure 10 (se reporter à l'annexe 3 pour plus de détails). Celle-ci se veut indépendante des résultats produits par les habiletés, quelles soient des connaissances, des actions physiques, des réactions affectives (attitudes) ou des interactions sociales.

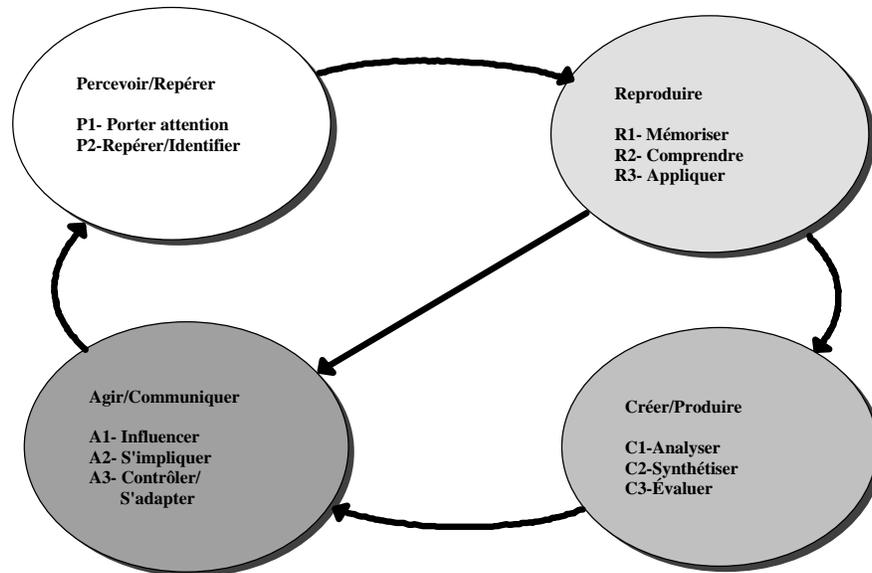


Figure 1 - Cycle intégré des habiletés

On note quatre phases, lesquelles correspondent aux théories cognitivistes courantes fondées sur le traitement de l'information. La première phase en est une de réception où la perception est mobilisée à la suite d'un stimulus externe : on porte attention à des objets de connaissance et on repère l'information en mémoire permettant de donner un sens au stimulus. Cette phase est généralement suivie d'une phase dite de reproduction où la mémoire est gérée de façon à sélectionner les connaissances pertinentes pour préparer l'éventuelle réaction, à travers des processus de compréhension, d'application et de stockage en mémoire. Puis les processus intellectuels supérieurs, d'analyse, de synthèse et d'évaluation, pourront être mobilisés pour créer ou produire le plan de l'éventuelle réaction et pour élaborer une réponse ou une solution. L'expression de cette réponse dans l'environnement conduit à agir et à communiquer (avec soi ou avec les autres) à travers les organes d'expression que sont la parole, le mouvement, les expressions, etc. de façon à influencer les autres, à s'engager dans une démarche ou à contrôler une situation et à s'adapter aux événements.

Dans chacune de ces phases ou catégories, on retrouve un amalgame d'habiletés cognitives, affectives, sociales et psychomotrices qui se combinent et s'enchaînent pour produire le comportement humain. Le tableau suivant donne des exemples d'habiletés selon le résultat produit au plan cognitif, psychomoteur, affectif, social, pour chacune des phases de la figure 10.

Habilités	Cognitif	Psychomoteur	Affectif	Social
Perception/Repérage	Repérer un concept utile dans une situation	Discriminer les trajectoires d'un objet	Percevoir une situation comme menaçante	Saisir le pouls d'un groupe au sujet d'une question
Reproduction	Appliquer des connaissances connues	Penser à se déplacer pour éviter l'objet (réaction habituelle)	Reproduire les réactions habituelles à la peur	Reproduire le comportement habituel de retrait du groupe
Création/Production	Adapter ou créer de nouvelles connaissances	Penser à se protéger de l'objet au lieu de se déplacer	Contrôler les réactions de peur pour construire une réponse à la situation	Inventer un nouveau type d'intervention plus proactif pour aider à l'orientation du groupe
Action/Communication	Communiquer des connaissances utiles à d'autres	Effectuer les actions psychomotrices requises	Effectuer les gestes adéquats ou prononcer les paroles requises pour écarter la situation menaçante	Effectuer les gestes ou prononcer les paroles nécessaires à l'intervention

Définition des principales habiletés

Les quatre phases présentées ici, ainsi que les habiletés qui les composent, ne constituent pas une hiérarchie comme dans beaucoup de taxonomies des habiletés, mais plutôt un cycle. En fait ces phases et ces habiletés sont des processus qui peuvent se décomposer en d'autres habiletés (une analyse ou un diagnostic se compose d'évaluations) ou se combiner pour définir des habiletés plus complexes. Ces dernières peuvent se composer d'habiletés appartenant à plus d'une phase. Par exemple, l'habileté « Réaliser des exercices d'application » fait intervenir notamment les habiletés P2, R2, R3 et A1, A2 (voir la figure 10 de la page précédente). Ce fait met en évidence que la troisième phase est parfois court-circuitée; les activités mémorielles menant directement à produire une réponse, sans l'intervention des processus intellectuels créatifs. Par contre, l'habileté « Résoudre un problème d'un type nouveau » fera intervenir les habiletés C1, C2, C3 et A3.

Voici une définition sommaire de ces habiletés.

Habiletés de perception et de repérage

P1 - Porter attention consiste simplement à exprimer une forme de réponse à des faits et à des renseignements qui sont présentés : par exemple, l'apprenant participe aux activités et manifeste un intérêt pour les faits qui sont présentés.

P2 - Repérer/Identifier consiste à retrouver en mémoire des connaissances associées à l'information (de type fait) qui est présente par un stimulus. L'habileté produit ces connaissances. Elle peut être décomposée en trois tâches, la première consistant à porter attention à l'information (P1), et les deux suivantes servant à rechercher, puis à rendre disponibles des connaissances associées.

Habiletés de reproduction

R1 – Mémoriser, processus inverse de “ Repérer ”, consiste à stocker en mémoire de nouvelles connaissances, en association avec des connaissances ou des faits antérieurs qui ont au préalable été repérées.

R2 - Expliciter/Comprendre permettent d'effectuer des opérations mémorielles plus complexes qui témoignent d'une compréhension des nouvelles connaissances en les combinant avec des faits et des connaissances antérieures présentes en mémoire.

- On peut **exemplifier ou illustrer** des connaissances abstraites en les instanciant, et produire ainsi des exemples ou des contre-exemples d'un concept, des traces d'une procédure, des énoncés vrais ou faux découlant d'un principe.
- On peut **distinguer ou différencier** deux concepts en produisant des instances discriminantes qui sont des exemples de l'un, mais non de l'autre; par exemple, « la baleine est un mammifère marin et non un poisson ».
- On peut **expliciter ou compléter** des connaissances, en ajoutant certains attributs ou en précisant certains liens non donnés au départ dans le modèle.
- On peut **redéfinir ou traduire** des connaissances en les représentant dans un autre langage; par exemple en décrivant un modèle graphique ou géométrique en langue naturelle ou au moyen d'une analogie.

R3 - Appliquer/Utiliser sont des habiletés qui se distinguent des opérations de perception, de mémorisation ou de compréhension par la production de systèmes de faits élaborés à partir des connaissances abstraites repérées au départ. En voici quelques exemples :

- Simuler un processus consiste d'abord à spécifier un ensemble de données; chaque donnée regroupant les valeurs de tous les intrants du processus, puis on exécute les procédures composant le processus en appliquant ses principes de contrôle, et ce pour chacune des données, obtenant ainsi un ensemble de traces d'exécution.
- **Tester un système conceptuel** consiste à instancier certains des attributs du concept pour examiner les valeurs prises par d'autres attributs; par exemple tester un système électrique consiste à se donner un modèle du système et à fixer certains attributs comme l'intensité du courant ou les résistances et à noter les valeurs que prennent d'autres attributs comme le voltage.
- **Déduire une solution** consiste à appliquer un certain nombre de procédures appelés «opérateurs » pour donner des valeurs aux attributs d'un concept, lesquels doivent obéir à un certain nombre de contraintes (principes) de définition; certains attributs déjà instanciés sont appelés « données initiales ». On déduit une solution en appliquant les opérateurs pour spécifier les valeurs de nouveaux attributs du concept. La solution est le système de faits obtenus en fixant tous les attributs de façon à ce qu'ils respectent les contraintes de définition. Ce processus peut être appliqué dans différents domaines : solution d'un mot croisé, disposition des systèmes électriques ou de la plomberie dans le plan d'une maison, etc.
- **Rétro-déduire une solution** consiste à réaliser le même genre d'opérations, mais en sens inverse, de façon régressive; on se donne un système de faits que l'on suppose être une solution, et on cherche quels concepts partiellement instanciés permettraient de les obtenir en utilisant les opérateurs et en respectant les contraintes qui définissent le concept; on répète ce procédé à rebours jusqu'à ce qu'on atteigne le concept donné au départ et on vérifie si la solution est bien une instance de ce concept.

Habiletés de création et de production

C1 - Analyser nécessite l'utilisation d'un modèle existant. Mais au lieu de produire des instances de ce modèle comme dans les habiletés d'application, on produit une décomposition de ce modèle en ses parties, tout en respectant certaines normes ou en utilisant certains faits. Tout comme les autres habiletés de création/production, telles que la synthèse et l'évaluation, les habiletés d'analyse créent (produisent) de nouvelles connaissances, de nouveaux objets, de nouvelles situations. En voici quelques exemples :

- Établir un diagnostic consiste à parcourir un système conceptuel à composantes (une hiérarchie de concepts liés par le lien de composition C) donné au départ. Ce système et ses sous-systèmes est parcouru systématiquement jusqu'aux composantes terminales dont les attributs sont évalués en fonction d'une norme également donnée au départ. Le résultat du processus est une liste de composantes (fautives) qui ne répondent pas aux normes.

- **Classifier un objet** consiste à parcourir une hiérarchie classes/sous-classes (une hiérarchie de concepts, de procédures ou de principes liés par le lien de spécialisation S) donnée au départ. Chaque classe et chaque sous-classe, jusqu'aux classes terminales, est parcouru systématiquement, à la recherche des classes auxquelles l'objet à classifier pourrait appartenir. Le résultat du processus est une liste de classes auxquelles l'objet (exemple, trace ou énoncé) appartient.
- **Prédire un résultat** consiste à utiliser un processus donné au départ, pour chaque instance de ses intrants (également donnés au départ) et à obtenir tous les produits qui résultent de l'exécution du processus. Par exemple, on fixe les paramètres d'un traitement médical et on obtient la valeur des symptômes résultants (produits).
- **Superviser/Gérer un processus** consistent également à utiliser un processus donné au départ, à l'instancier pour obtenir la trace correspondant à une situation réelle, puis à classifier les traces ainsi obtenues selon des catégories préétablies associées à des correctifs à apporter. Par exemple, la supervision d'un complexe nucléaire consiste à tracer régulièrement les processus en cours et à déterminer si ceux-ci sont sécuritaires ou, au contraire, demandent des ajustements de certains paramètres du système.

C2 - Synthétiser contrairement aux habiletés d'application ou d'analyse, n'a pas comme intrant un modèle existant, mais vise au contraire à construire un nouveau modèle à partir d'instances, de composantes, de modèles partiels. Selon le type d'intrant et de produit, on distingue plusieurs sortes de processus de synthèse.

- **Réparer** consiste à prendre un modèle existant d'un système conceptuel, d'un processus, d'une théorie et de le modifier en fonction du résultat d'un diagnostic ou d'une évaluation, soit en ajoutant ou en retranchant des composantes ou des liens qui améliorent la qualité du modèle.
- **Créer des concepts ou une taxonomie** consiste à examiner un ensemble d'exemples et à définir un ou plusieurs concepts qui ont pour instance ces exemples; on obtient une taxonomie si les concepts ainsi créés permettent de classifier les exemples de départ. Par exemple, on crée le concept de maison unifamiliale en examinant divers exemples de construction ou on crée la taxonomie qui répartit les habitations en maisons unifamiliales, duplex ou triplex en rangée, duplex ou triplex détachés, immeubles à logement, etc.
- **Induire un principe ou une loi** consiste à créer un principe qui met en relation (explique, résume) des attributs d'un même concept ou de plusieurs concepts; l'instanciation du principe devant résulter en des énoncés vrais.
- **Planifier un processus** consiste, à partir de concepts définissant les biens livrables et de principes définissant les ressources et les échéances, à décrire un processus ayant comme produits ces biens livrables. Chaque tâche du processus a comme intrant les ressources nécessaires et les échéances à respecter, et comme produit un bien livrable ou un intrant d'une autre tâche.
- **Concevoir ou construire un système** consiste à concevoir un modèle du système ou à construire physiquement le système pour qu'il puisse effectuer les fonctions prévues au départ, intégrer les différentes composantes nécessaires et respecter les normes de qualité établies au départ. Par exemple, on conçoit les plans d'une maison (ou on fabrique la maison), de façon à respecter un nombre de pièces, l'emplacement des portes, des fenêtres etc., ainsi que des normes de qualité quant au bruit, à l'ensoleillement, etc.

C3 – Évaluer, contrairement aux habiletés qui précèdent, consiste à attacher une valeur à une connaissance ou à un modèle, concernant son intérêt, son utilité, sa pertinence, sa vérité, etc. Ces valeurs sont des concepts qui n'appartiennent pas au domaine d'application à l'étude, mais au domaine des métaconnaissances, celui qui étudie les connaissances. En voici quelques exemples.

- **Prioriser** consiste à prendre une ou plusieurs connaissances, un ou plusieurs modèles, et à leur attribuer une valeur quant à leur utilité dans certaines situations, selon les types d'utilisateurs, en fonction des besoins d'un organisme, etc.

- **Valider** consiste à évaluer la fiabilité d'une connaissance, à lui attribuer une probabilité de vérité : la procédure produit-elle ce qu'elle doit produire ? Le concept décrit-il ce qu'il doit décrire ? Le principe peut-il s'instancier à des énoncés vrais et sinon dans quels cas ? etc.
- **Comparer-décider** consistent, à comparer deux modèles en fonction de critères d'utilité, de fiabilité, de pertinence et à retenir celui qui semble le plus adéquat en fonction de ces critères.
- **Standardiser** consiste à modifier un modèle, en fonction des résultats d'une évaluation basée sur des critères d'utilité, de simplicité, de pertinence, de communicabilité.
- **Vérifier l'acquisition de connaissances** par soi ou par autrui, consiste à évaluer le niveau de compréhension d'une personne au sujet d'une ou de plusieurs connaissances. Par exemple, telle personne sait appliquer telle procédure dans des situations simples, telle autre dans des situations complexes ou peu familières. Cette habileté est analogue à l'habileté de diagnostic, sauf que le résultat du diagnostic n'est pas une liste d'objets du domaine d'application qui seraient des composantes fautives d'un système à l'étude, mais plutôt une liste de valeurs associées aux connaissances qui représentent leur degré d'acquisition par la personne même, par une autre personne ou par un groupe de personne.

Les habiletés d'action et de communication

A1 - Influencer consiste essentiellement à exprimer des connaissances dans un domaine en fonction d'un but précis et d'un ou de plusieurs destinataires. Ce destinataire peut être soi-même ou les autres. Exprimer ses connaissances en écrivant un livre ou en construisant un programme est une façon de les approfondir pour soi, de s'influencer soi-même. Mais plus généralement, on peut vouloir faire acquérir des connaissances ou faire développer des habiletés par d'autres, les faire critiquer, provoquer des émotions, développer une conscience sociale devant certains problèmes, etc. Les processus d'influence ont comme intrant des connaissances, un but et un modèle plus ou moins élaborés qui décrivent les destinataires de la communication. Des connaissances médiatisées sont produites à la sortie du processus.

A2 - S'impliquer consiste à créer par son action une situation nouvelle où divers événements seront provoqués. Non seulement la personne communique-t-elle des connaissances par différents moyens, mais elle s'investit dans un ensemble d'actions destinées à réaliser l'objectif préétabli. Cet ensemble d'actions peut être réalisé seul ou en interaction avec d'autres personnes et divers objets. Par exemple, entreprendre un projet de construction d'une maison demande une connaissance des matériaux et des sous-systèmes à installer, ainsi que la réalisation de sous-projets qui engageront divers spécialistes. Le résultat du processus sera une situation nouvelle créée dans l'environnement; laquelle peut être décrite par un ensemble de faits et de connaissances.

A3 - Contrôler/s'adapter aux événements sollicitent non seulement la communication et l'engagement dans l'action, mais aussi la volonté, la persévérance et les facultés d'adaptation permettant de s'adapter aux événements imprévus qui surviennent dans la réalisation d'un projet. La réussite est évaluée en fonction de critères fixés au départ ou ajustés en cours de route. Le résultat du processus est un ensemble d'événements et/ou de productions qui satisfont ces critères de réussite et témoignent de l'accomplissement de la démarche.

Soulignons enfin que chacune des habiletés qui vient d'être décrite peut être représentée par des processus génériques qui s'appliquent aux divers types de connaissances et de modèles. L'annexe 3 présente, en plus d'une classification de ces processus, quelques exemples qui illustrent certains processus génériques correspondant aux habiletés ici présentées.

2.4 Le concept de modèle de connaissances par objets typés

Nous allons maintenant définir de façon précise la syntaxe du système de modélisation MOT. Nous présenterons d'abord le lexique, c'est-à-dire les " mots " qui composent les " phrases " de ce langage graphique. Puis nous présenterons les " règles de grammaire " régissant les assemblages qui permettent de créer un modèle graphique conforme à la sémantique des liens définie précédemment.

Le concept de modèle par objets typés

Le schéma de la figure suivante présente de façon synthétique les composantes d'un modèle par objets typés. Un modèle est composé de connaissances et de relations, ces dernières se composent d'une connaissance (origine), d'un lien et d'une connaissance (destination). Il y a sept types de connaissances : trois types de faits, trois types de connaissances abstraites, ainsi que les habiletés. Il y a aussi sept types de liens : C, S, I, R, P, I/P et AP.

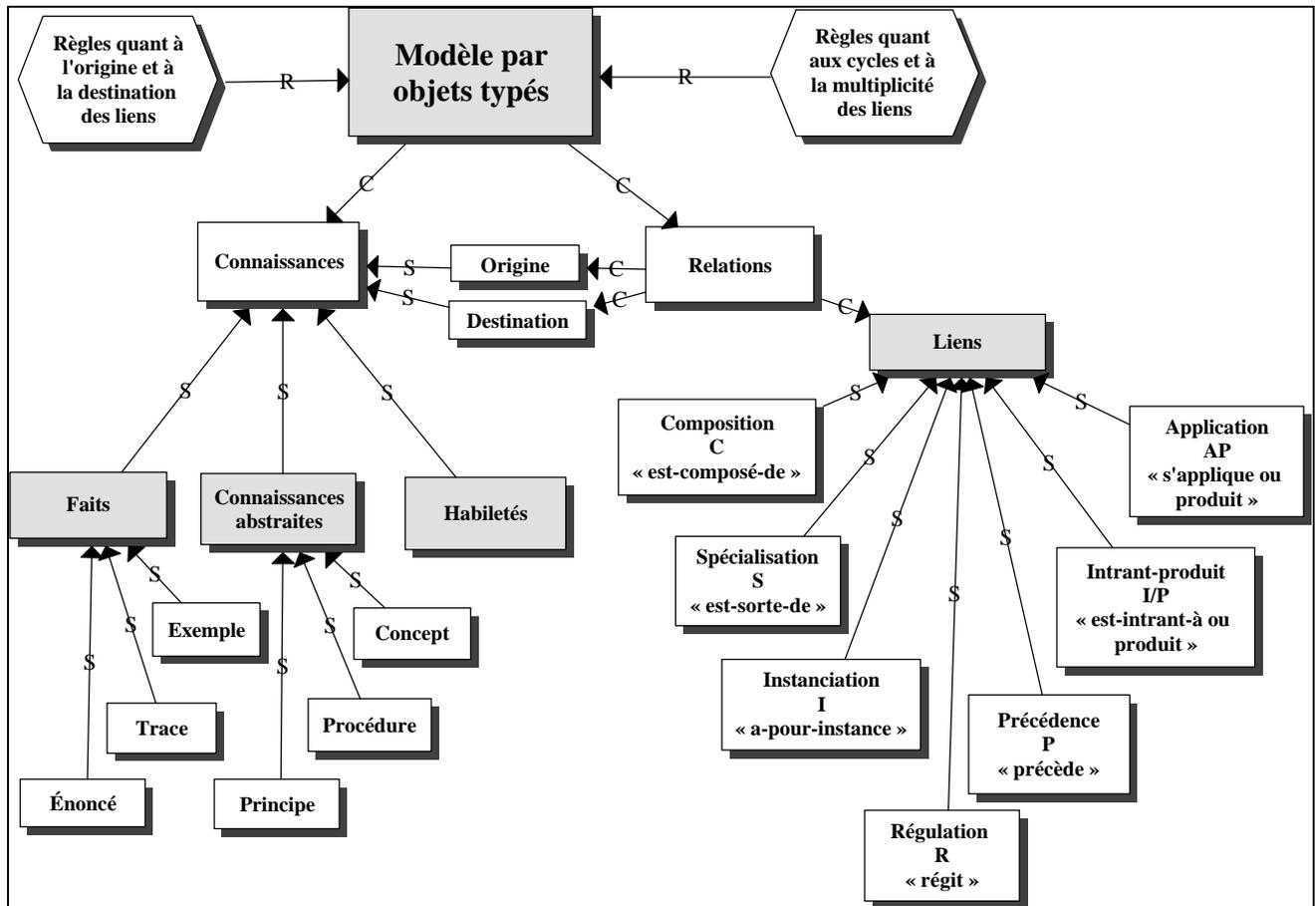


Figure 2 - Concept de modèle par objets typés

On distingue deux groupes de principes (règles de grammaire) qui feront l'objet des paragraphes suivants : les règles concernant les types de liens possibles entre deux connaissances données (une origine et une destination) et les règles qui présentent les propriétés des relations quant aux cycles et à la multiplicité des liens dans un graphe.

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

Tous les liens d'un modèle ont une origine et une destination, toutes deux sont des connaissances. Le tableau suivant indique les liens possibles d'une origine donnée à une destination donnée.

Destination >>>>	Connaissance abstraite			Fait			Habilité
	Concept	Procédure	Principe	Exemple	Trace	Énoncé	
Concept	C, S	I/P		I, C			AP
Procédure	I/P	C, S, P	C, P		I, C		AP
Principe	R	C, R, P	C, S, P, R			I, C	AP
Exemple				C	I/P		AP
Trace				I/P	C, P	C, P	AP
Énoncé				R	C, R, P	C, R, P	AP
Habilité	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP

De ce tableau, on peut déduire les règles de composition suivantes:

- Un fait (exemple, trace ou énoncé) n'est à l'origine d'aucun lien vers une connaissance abstraite.
- Le lien d'instanciation ne peut lier qu'un concept à un exemple, une procédure à une trace, ou un principe à un énoncé.
- Les liens de composition ne peuvent lier que des connaissances de même type sauf pour les procédures qui peuvent se composer de principes et vice versa (de même pour les traces et les énoncés au niveau des faits)
- Les liens de spécialisation ne peuvent lier que des connaissances abstraites entre elles et de plus, ces connaissances doivent être de même type.
- Le lien intrans- produit ne peut lier qu'un concept à une procédure ou vice versa (de même pour les exemples et les traces au niveau des faits)
- Le lien de précédence ne peut lier qu'une procédure ou un principe, à une procédure ou un principe (de même pour les traces et les énoncés au niveau des faits)
- Le lien de régulation a toujours pour origine un principe et pour destination une autre connaissance abstraite (de même pour les énoncés, versus les autres faits)
- Le lien d'application ne peut lier qu'une habileté à une connaissance abstraite ou un fait, ou vice versa, ou encore une habileté à une autre habileté (par exemple, comparer l'habileté de diagnostic de deux personnes).

Propriétés quant aux cycles et quant à la multiplicité des liens

Les sept relations de base sont des relations binaires et à ce titre, elles présentent des propriétés intrinsèques, notamment quant à la présence de cycles dans le graphe et quant à la multiplicité des liens. Comme toute bonne règle de grammaire, la plupart présentent des exceptions.

- **Anti-réflexivité** : 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.

Exception : Un lien C peut exister d'une connaissance abstraite (ou d'un fait) à elle-même. Par exemple, le concept « groupe de personnes » peut se composer d'autres « groupes de personnes ».

- **Asymétrie** : Deux connaissances qui sont liées par un lien ne sont pas liées en sens inverse par le même type de lien (ni d'ailleurs par un lien d'un autre type).
Exception : Un lien I/P et son inverse peuvent exister entre certains concepts et certaines procédures, directement ou indirectement (cette propriété permet notamment l'attachement procédural et l'itération dans une procédure).
- **Transitivité** : Si un lien relie une connaissance A à une connaissance B, et un lien de même type relie B à une troisième connaissance C, alors le même type de lien relie A à C.
Exception : Seuls les liens C, S et P sont pleinement transitifs, bien qu'en général, on se dispensera de tracer le lien de A à C sur le modèle. Les liens R et I sont transitifs par défaut car si A est relié à B par un de ces liens, B ne peut pas en général être relié à une autre connaissance par le même type de lien (sauf pour le lien R entre principes). Le lien I/P n'est pas transitif car si A est lié à B et B à C, A et C sont nécessairement des concepts qui ne peuvent être liés par un lien I/P. Il en est de même du lien AP, puisque A et C ne sont pas des habiletés.
- **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 provenant d'une connaissance** : Pour tous les types de lien, une connaissance peut être à l'origine d'un seul ou de plusieurs liens de même type ou de type différent.
Exception : Le tableau de la section précédente indique plusieurs exceptions à cette règle, par exemple, un fait n'est à l'origine d'aucun lien I. Un concept ou une procédure ne sont à l'origine d'aucun lien R. Un principe n'est à l'origine d'aucun lien I/P. Un concept n'est à l'origine d'aucun lien P.
- **Cardinalité des liens arrivant à une connaissance** : Pour tous les types de lien, une connaissance peut être la destination d'un seul ou de plusieurs liens de même type ou de type différent.
Exceptions : Le tableau de la section précédente indique plusieurs exceptions à cette règle. Par exemple, une connaissance abstraite n'est la destination d'aucun lien I. Un principe n'est la destination d'aucun lien I/P. Un concept n'est la destination d'aucun lien P.