

Université de Montréal

**Proposition d'un modèle d'environnement multimédiatisé
pour l'apprentissage de concepts abstraits en science**

par
Marthe Langlois

Faculté des Sciences de l'éducation

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
M.A. option Technologie éducationnelle

Janvier 2003

© Marthe Langlois, 2003

LB
5
N57
2003
N.022

Direction des bibliothèques

AVIS

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

NOTICE

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

**Proposition d'un modèle d'environnement multimédiatisé
pour l'apprentissage de concepts abstraits en science**

présenté par :

Marthe Langlois

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Claire Meunier (Directrice)

Marcel Thouin (Membre)

Roseline Garon (Présidente-rapporteur)

Mémoire accepté le : _____



Résumé de la recherche

Le but de cette recherche consiste en l'élaboration des considérations théoriques nous permettant de justifier l'idée de réaliser une connexion efficace entre des concepts abstraits ou complexes en sciences et les phénomènes réels qui leurs sont associés. Le cadre théorique général est issu des théories cognitivistes de l'apprentissage, plus précisément de l'approche computationnelle. Chacune des théories explorées a été retenue en fonction de la pertinence avec laquelle elle nous permet de situer et de justifier notre idée. Notre principale justification théorique est centrée sur les théories de la charge cognitive de Sweller et du double codage de Paivio, la sémiotique cognitive nous servant à articuler les considérations théoriques de ces auteurs. D'autre part, les recherches sur l'analogie nous ont permis de dégager les paramètres didactiques essentiels dans la production de notre environnement. En effet, nous voulons permettre à l'apprenant d'appréhender le langage graphique de codage (représenté sous forme de diagramme des relations entre les variables) au contact du phénomène physique réel, en utilisant l'animation virtuelle (représenté sous forme d'un analogue) comme outil de médiation. Cette animation virtuelle est l'élément pédagogique central de notre environnement d'apprentissage. Nous avons donc pris en compte les recherches sur l'apprentissage par l'analogie, dont Gentner et Holyoak sont les chefs de file, afin de dégager les règles qui régissent l'élaboration de cet analogue.

Les résultats immédiats de cette recherche de développement consistent donc en la justification théorique, la conception et la proposition d'un modèle d'action d'un environnement d'apprentissage informatisé. Cette proposition est préalable à la construction du prototype physique de cet environnement.

Mots clés : Environnement multimédiatisé, ExAO (Expérimentation Assistée par Ordinateur), animation virtuelle, apprentissage de l'abstraction.

Summary of research

The aim of this research consists of the development of the theoretical considerations enabling us to justify the idea to carry out an effective connection between abstract concepts or complexes in sciences and real phenomena which theirs are associated.

The general framework results from the theories cognitivists of the training, more precisely of the computational approach. Each explored theory was retained according to the relevance with which it enables us to locate and to justify our idea. Our principal theoretical justification is centered on the theories of the cognitive load of Sweller and the double coding of Paivio, cognitive semiotics being used to us to articulate the theoretical considerations of these authors.

In addition, research on the analogy enabled us to release the essential didactic parameters in the production of our environment. Indeed, we want to allow learning how to apprehend the graphic language of coding (represented in the form of diagram of the relations between the variables) in contact with the real physical phenomenon, by using virtual animation (represented in the form of an analog) like tool for mediation.

This virtual animation is the central teaching element of our training environment. We thus took into account research on the training by the analogy, whose Gentner and Holyoak are the heads of file, in order to define the rules which govern the development of this analog. The immediate results of this research for development thus consist of the theoretical justification, the design and the proposal for a model of action of a computerized training environment. This proposal is preliminary to the construction of the physical prototype of this environment.

Key words : Computerized training environment, Computer based laboratory (CBL), virtual animation, abstract concepts learning.

Table des Matières

CHAPITRE 1 BUT, INTRODUCTION, CONTEXTE ET IDÉE DE LA RECHERCHE.....	1
BUT DE LA RECHERCHE.....	2
CONTEXTE DE LA RECHERCHE	5
AXES DE LA RECHERCHE.....	8
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE	10
MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE.....	11
IDÉE.....	14
CHAPITRE 3 PARADIGME DE LA RECHERCHE, CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES ET PÉDAGOGIQUES.....	15
PARADIGME DE LA RECHERCHE	16
Cognitivism et approche computationnelle.....	17
<i>Description du modèle computationnel de l'apprentissage</i>	17
La mémoire.....	17
<i>L'encodage de l'information</i>	20
Importance de l'encodage de l'information et des effets de contexte dans l'apprentissage	20
L'encodage en MCT	21
Le principe d'encodage spécifique	22
Effets de contextes.....	23
Encodage contextualisé et construction de concepts.....	25
<i>La représentation des connaissances en mémoire</i>	26
Représentations en MCT	26
Représentations en MLT.....	27
Organisation des représentations en mémoire à long terme	30
CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES.....	33
Théorie de la charge cognitive.....	33
Théorie du double codage de Paivio	34
La sémiotique, les représentations et la réduction de la charge cognitive.....	37

<i>Apprentissage par analogie</i>	44
Distinction entre exemple, analogie et métaphore	45
Caractéristiques de l'analogie.....	46
Analogie et raisonnement scientifique.....	51
<i>Apprentissage situé, flexibilité cognitive</i>	53
<i>Environnements multimédiatisés, cognition et technologie de l'apprentissage</i>	56
La théorie minimaliste de Carroll	57
R M Gagné et l'apprentissage par l'enseignement.....	58
CONSIDÉRATIONS PÉDAGOGIQUES	63
<i>La réforme du système de l'éducation au Québec</i>	64
Enseignement de connaissances vs Apprentissage par compétences	64
Points communs et divergences des deux systèmes éducatifs.....	67
<i>Résumé synthèse</i>	69
CHAPITRE 4 ÉLABORATION DE L'IDÉE MODÈLE D'ACTION	70
ÉLABORATION DE L'IDÉE	71
Environnement multimédiatisé d'apprentissage et approche par compétence	74
MODÈLE D'ACTION	77
CHAPITRE 5 CONCLUSION	83
BIBLIOGRAPHIE	87

Chapitre 1
But, introduction, contexte et idée de la recherche

But de la recherche

Cette recherche a pour but d'élaborer et de justifier théoriquement une nouvelle manière de réaliser une connexion efficace entre des concepts scientifiques abstraits ou complexes et des phénomènes réels par l'introduction d'animations virtuelles dans le processus d'expérimentation.

Avec l'intégration d'animations virtuelles (réalistes ou analogiques) en Expérimentation Assistée par Ordinateur (ExAO), animations présentées en simultanéité avec une représentation graphique de l'interaction des variables physiques impliquées dans l'expérimentation, on s'insère directement dans le processus expérimental en permettant à l'apprenant de mieux saisir le lien entre le phénomène à l'étude et une double représentation graphique et imagée de celui-ci. On veut permettre ainsi à l'apprenant d'appréhender de différentes manières et en même temps l'interaction entre les variables par :

1. un contact direct du phénomène physique
2. une animation virtuelle présentée sous forme d'analogie et
3. une représentation graphique sous forme de diagramme de ce phénomène

Le langage de codage abstrait que constitue le diagramme graphique deviendrait alors plus fonctionnel et utile pour analyser, interpréter et modéliser des phénomènes scientifiques abstraits et non observables comme, par exemple, l'électricité enseignée au programme du secondaire.

Pour ce faire, nous inscrivons notre démarche dans le cadre d'une première étape de recherche de développement technologique en éducation, soit au niveau des considérations théoriques et pédagogiques qui nous permettront de justifier la pertinence de l'idée.

Introduction

Les progrès dans les domaines des sciences cognitives et de la technologie rendent possible la conception d'environnements d'apprentissage enrichis. En effet, l'arrivée de l'ordinateur multimédia et des réseaux informatiques ouvrent la porte à de nombreuses possibilités d'apprentissage en permettant de mettre en pratique les principes de base en éducation que ce soit l'apprentissage dans l'action selon Dewey (Deledalle, G., 1995), la construction et la reconstruction des connaissances (Piaget, 1959) ou l'apprentissage au sein du processus interactif selon Vygotsky (RIEDER, R.W., 1997). Les nouvelles technologies de l'information (NTI) et notamment l'expérimentation assistée par ordinateur offrent la possibilité d'acquérir plus rapidement et plus efficacement des connaissances, en rassemblant et organisant différemment l'information. Nous montrerons que ce type d'environnement informatisé d'apprentissage s'inscrit très bien dans le cadre des théories cognitivistes en incluant l'apprentissage par analogie.

Le développement de ces environnements d'apprentissage est directement tributaire des avancées technologiques. Il apparaît maintenant réaliste de penser développer les connaissances et les habiletés cognitives avec un support faisant appel à plusieurs façons de représenter ou coder l'information, et par le fait même de bonifier certaines théories cognitivistes ou même behavioristes de l'apprentissage. Dans cette optique, nous pourrions peut-être parler d'une extension à la théorie du double codage de Paivio en proposant le multiencodage simultané de l'information. Cette recherche s'inscrit dans le processus de réforme de l'éducation et le modèle d'action proposé ici

devrait être une contribution tangible pour construire un environnement multimédiatisé d'apprentissage par compétences.

Contexte de la recherche

« Le concept d'environnement d'apprentissage permet de dépasser l'opposition simpliste et manichéenne entre les défenseurs de l'apprentissage par induction (résultant des seules activités exploratoires du sujet) et les partisans des tutoriels inspirés (de près ou de loin) par l'enseignement programmé (caricature de l'apprentissage par enseignement). Ces systèmes doivent être capables de favoriser l'acquisition de concepts et de procédures associés à un domaine de connaissance. Il s'agit ni plus ni moins de construire ce que l'on pourrait appeler "une station de travail thématique" que chaque élève (ou chaque maître) pourrait adapter à son goût et à ses besoins. En résumé:

Un environnement d'apprentissage est un système qui réalise la synthèse entre, d'une part, les avantages de l'exploration libre et de la construction progressive des objets de connaissance (comme dans les micro-mondes classiques) et, d'autre part, l'intérêt du guidage propre aux systèmes tutoriels. L'idée centrale est de permettre à l'apprenant de transformer rapidement et efficacement ses expériences en savoir-faire et connaissances organisées.

Un environnement d'apprentissage est aussi un système qui privilégie l'idée que la meilleure façon d'apprendre c'est de se retrouver dans une situation réelle ou quasi réelle de conception et de travail. Plutôt que de construire des logiciels orientés sur l'explicitation formelle de connaissances scolaires, nous pensons qu'il est maintenant possible de concevoir des outils et des environnements qui assisteraient l'élève efficacement dans les problèmes auxquels il doit faire face dans sa carrière d'apprenant (Brown, 1989). Il apparaît que l'apprentissage incident de l'ensemble des connaissances nécessaires à la résolution d'une tâche pose moins de problème de motivation ou d'attention, si l'intérêt pour la tâche est assuré à un niveau élevé. » (Mendelsohn, P. Jermann, P., 1996, ¶2,3,4)

Selon Depover et al. (2000), « on trouve encore normal de s'engager dans l'élaboration d'un logiciel sans avoir une conceptualisation suffisante des processus d'apprentissage mis en oeuvre. Cette conceptualisation pourra prendre des formes et

surtout se situer à des niveaux différents selon le domaine considéré et selon la sophistication des techniques informatiques utilisées, mais rien ne justifie que l'on puisse faire l'économie d'une réflexion sur les actes d'apprentissage en jeu ».

Toujours selon ces auteurs :

« Le besoin de s'appuyer sur des modèles est cependant loin d'être limité aux spécialistes des tuteurs intelligents, il s'agit au contraire d'une préoccupation commune à la plupart des acteurs du monde pédagogique. N'oublions pas que l'enseignement par ordinateur est né à la fin des années cinquante dans le prolongement immédiat de l'enseignement programmé, lui-même directement hérité des théories de Skinner (1954) sur le conditionnement opérant. Même si ce modèle a été largement contesté depuis et avantageusement relayé par d'autres comme, par exemple, le modèle constructiviste ou, plus récemment, différents modèles d'inspiration cognitive, la référence à un modèle, qu'elle soit implicite ou explicite, semble constituer une préoccupation assez largement partagée par les éducateurs de terrain. Pour preuve, l'engouement suscité auprès des éducateurs par certains modèles, souvent fort simplistes et parfois même largement contestables comme c'est le cas pour la théorie de la gestion mentale de La Garanderie. » (Depover et al., 2000, p.8)

Nous constatons que les motivations premières invoquées pour appuyer le développement et l'implantation des nouveaux environnements d'apprentissages informatisés peuvent se résumer à celles émises par le groupe de réflexion de l'union européenne dans son document sur une nouvelle approche de l'éducation et de la formation

« Le Groupe de réflexion pense qu'elles constituent (les NTI) un moyen d'enseigner mieux:

1. en débarrassant l'enseignant de nombreuses tâches qui lui permettront de développer les aspects en amont de son enseignement, en particulier de mieux se concentrer sur les approfondissements méthodologiques,
2. en améliorant la pédagogie, par exemple en élargissant l'accès aux données et à la simulation multimédia, et en

- introduisant une évaluation objective immédiatement restituée à l'apprenant,
3. en favorisant le travail personnel et le travail en groupe,
 4. en poussant le monde de l'éducation à s'ouvrir sur la collectivité, à revoir sa relation aux élèves, à participer à la formation tout au long de la vie.»

La mise en oeuvre politique devrait se focaliser sur les points suivants:

- introduire des approches davantage centrées sur l'apprenant,
- accréditer des connaissances acquises de manière informelle,
- appliquer les NTI à toutes les étapes du processus d'apprentissage, par exemple : distribution des questions, révision, supervision, de façon à débarrasser l'enseignant des travaux mécaniques, faciliter le processus d'évaluation, et même financer la mise en oeuvre des NTI par les gains de productivité à tous les niveaux du processus d'apprentissage » (Document de réflexion de la commission européenne, 2002, ¶156, 167).

Contrairement à cette vision plutôt *administrative* des avantages que comportent l'utilisation des NTI dans l'apprentissage, nous empruntons à Giardina (1997) ce qui nous apparaît comme une *finalité éducative* intéressante de l'utilisation des NTIC pour l'apprentissage:

« ... dans le contexte d'une situation d'apprentissage dans laquelle je reçois des informations, le système multimédia me fournit des outils (j'ai une loupe pour approfondir, ou j'ai un dictionnaire, ou j'ai une aide contextuelle qui vient m'aider à un certain moment, ou j'ai un commentaire...) pour m'aider à mieux les traiter. L'idée, c'est qu'on passe d'une situation ou d'un paradigme où le système enseignant en général était un système de communication (communication d'informations, communication de savoirs), et où on voyait l'enseignant comme un producteur et l'élève, ou l'apprenant, comme un produit, à une situation, à l'heure actuelle, où l'apprenant n'est plus seulement un récepteur mais devient aussi acteur de son propre apprentissage » (Giardina, 1997. p.207).

Axes de la recherche

Il nous paraît important de développer et proposer un environnement d'apprentissage multimédiatisé centré sur les processus cognitifs de l'apprenant. Pour ce faire, en nous inspirant des théories cognitivistes de l'apprentissage, nous tenterons de dégager les processus cognitifs favorisant l'instauration d'un système de codage approprié pour l'apprentissage de concepts abstraits. Notre approche de ces théories se fera selon deux axes principaux :

1. Rendre disponible à l'apprenant un outil cognitif faisant le pont entre la représentation réelle et la représentation abstraite d'un phénomène.

Ce premier axe cible les aspects théoriques et pédagogiques permettant de justifier notre idée de développement technologique avant d'élaborer un environnement d'apprentissage des concepts abstraits ou complexes en science. Nous étudierons entre autres les théories de l'apprentissage qui se sont penchées sur le processus d'acquisition des concepts et leur représentation en mémoire. Nous considérerons la place de la théorie du double codage de Paivio et la possibilité d'agir sur plusieurs registres sémiotiques simultanément pour l'apprentissage de concepts abstraits, en regard des possibilités offertes par les NTI.

2. Étudier la possibilité de médiatiser cet outil cognitif à l'aide des NTI, c'est-à-dire rendre disponible, en temps réel avec le phénomène à l'étude, des animations virtuelles de type analogique.

Ce deuxième axe cible notre idée de recherche qui vise l'élaboration d'un modèle d'environnement multimédiatisé d'apprentissage basé sur l'utilisation de l'ExAO. Cet environnement inclurait des animations virtuelles présentées en temps réel avec un phénomène réel. Nous analyserons cette idée dans le cadre des théories associées au constructivisme et nous prendrons différentes considérations d'ordre pédagogique, didactique et technologique susceptibles d'être prises en compte dans un tel environnement.

Chapitre 2

Méthodologie de la recherche

Méthodologie de la recherche

Parce que notre démarche de recherche doit tenir compte à la fois des connaissances empiriques liées aux pratiques éducatives du milieu d'enseignement et des théories du domaine des sciences cognitives, on pourrait la qualifier d'empirico-théorique.

La méthodologie utilisée est celle de la recherche de développement technologique en éducation de Nonnon (1993) . Nous nous limiterons toutefois, dans le cadre de cette recherche, aux quatre premières étapes de ce modèle, soit : 1) l'identification d'une idée pédagogique, 2) sa justification sur le plan théorique, 3) l'élaboration de cette idée et 4) sa conceptualisation par la construction d'un modèle d'action.

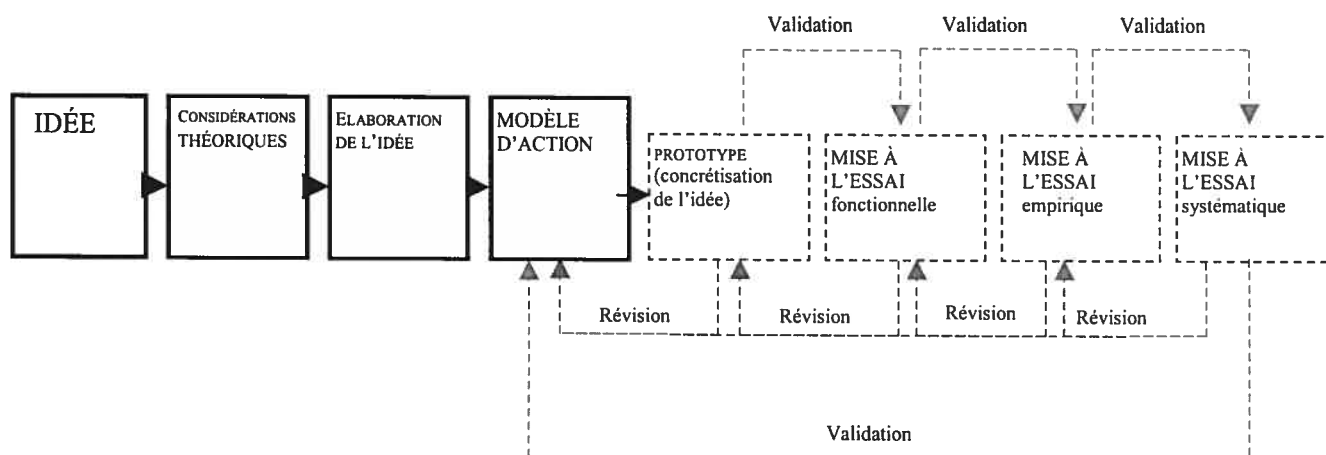


Figure 0 Modèle de Recherche de développement technologique en éducation (Nonnon 1993)

Première étape : idée

L'idée de départ se caractérise par l'exploitation d'une opportunité technologique offerte par les NTI en enseignement des sciences expérimentales. En effet, de plus en plus rapides et dotés de la capacité de contrôler des processus physiques externes en temps réel, les micro-ordinateurs atteignent des niveaux de performance tels qu'ils permettent la présentation simultanée de l'information sous plusieurs formes. Ce développement technologique nous offre l'opportunité de présenter simultanément, sur support externe, des phénomènes concrets sous forme réelle, analogique et abstraite, en exploitant le 'temps réel' pour synchroniser ces présentations aux manipulations expérimentales de l'apprenant. Nous supposons qu'en présentant simultanément trois types de représentations explicitant de façon complémentaire le concept à acquérir, on favoriserait l'acquisition de concepts nouveaux, complexes ou abstraits en science. L'idée d'utiliser différents types de représentations sur des supports externes pour expliciter un phénomène n'est pas nouvelle, par contre, la présentation 'juste à temps' de ces représentations modifiables simultanément (en temps réel, grâce à l'ordinateur) à l'activité de l'apprenant, serait innovante.

Deuxième étape : considérations théoriques

Selon Nonnon (1993) « cette deuxième étape, prospective et théorique est très importante, elle doit être pour la recherche-développement ce qu'est le contexte théorique pour la recherche expérimentale, et c'est principalement par l'ampleur et la qualité de cette étape de considérations et de justifications théoriques qu'on va pouvoir distinguer une recherche-développement universitaire d'une recherche-développement industrielle » (Nonnon, 1993. p.151).

Dans cette étape nous situerons le paradigme de la recherche à partir duquel nous identifierons les théories nous permettant de justifier théoriquement notre idée et, par voie de conséquence, de vérifier la pertinence théorique du développement de l'environnement d'apprentissage.

Troisième étape : élaboration de l'idée

Cette étape, directement tributaire des considérations théoriques, devrait nous permettre d'opérationnaliser l'idée. Il s'agira, dans cette étape, de dégager un modèle d'action théorique qui nous permettra d'identifier précisément et de justifier les principales fonctions du modèle d'action.

Quatrième étape : modèle d'action

Le modèle d'action va nous permettre de préciser et d'opérationnaliser l'idée en décrivant et en hiérarchisant les principales fonctions qui devront être prises en compte pour élaborer le prototype physique. Il s'agit d'une sorte d'algorithme didactique.

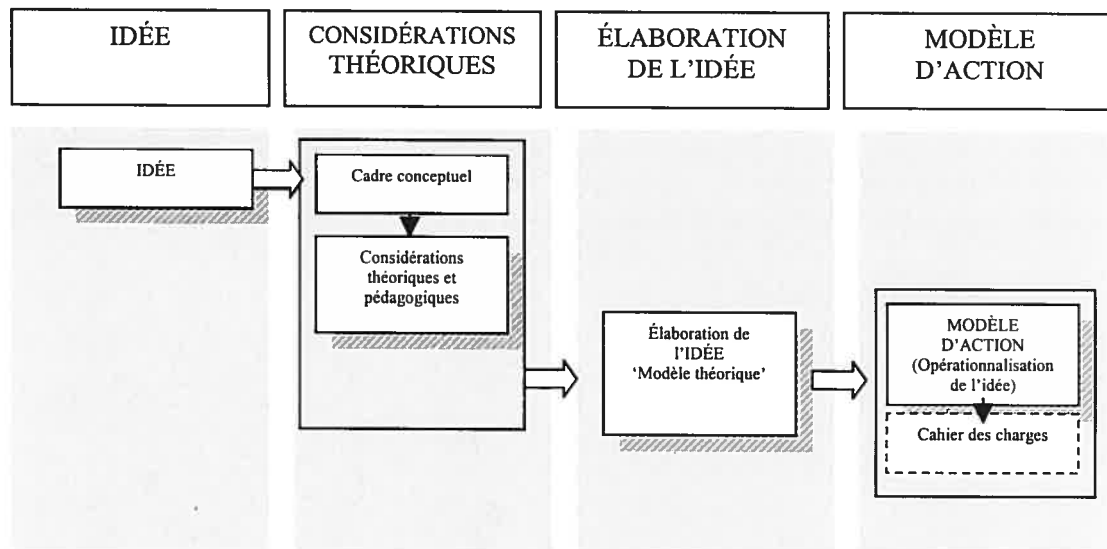


Figure 0 Les quatre premières étapes de la recherche de développement de Nonnon (1993)
(La partie en pointillés n'est pas incluse dans notre recherche)

Ces quatre premières étapes de la recherche de développement se font de manière 'descendante' ou déductive où l'on part d'une idée que l'on soumet à l'analyse en fonction des théories avant d'élaborer celle-ci et de produire un modèle d'action.

Idée

Nous fondons notre démarche de développement du prototype 'd'environnement d'apprentissage des concepts abstraits' sur l'idée que l'acquisition des concepts abstraits ou complexes peut être facilitée par l'utilisation par l'apprenant d'analogies lui permettant de faire correspondre au phénomène abstrait un phénomène analogue connu et/ou concret, ces deux phénomènes se déroulant en même temps.

Chapitre 3
Paradigme de la recherche, considérations théoriques et
pédagogiques

Paradigme de la recherche

Nous situerons nos considérations théoriques dans le cadre de l'approche cognitive de l'apprentissage. Cette approche conçoit l'apprentissage en terme de modification des structures de représentations mentales de l'individu. Tardif (1997) met en évidence cinq principes qui sous-tendent l'approche cognitive pouvant influencer la conception, l'organisation et la gestion de l'enseignement et l'apprentissage :

«l'apprentissage est un processus actif et constructif ,

l'apprentissage est l'établissement de liens entre les nouvelles informations et les connaissances antérieures ,

l'apprentissage requiert l'organisation constante des connaissances ,

l'apprentissage concerne autant les stratégies cognitives et métacognitives que les connaissances théoriques ,

l'apprentissage concerne autant les connaissances déclaratives que conditionnelles » (Tardif, 1997 p. 34).

De l'approche cognitive sont issus les modèles computationnel, connexionniste, constructiviste et socio-constructiviste. Nous avons retenu pour appuyer la démarche de conception de notre environnement d'apprentissage le modèle computationnel et quelques-unes des théories qui en sont issues. Ce choix est motivé par le fait que ce modèle a identifié un certain nombre de paramètres et leur fonctionnement dans le processus interne d'apprentissage. Il devient donc plus facile d'isoler, de mieux cerner et d'agir sur ceux que nous devons prendre en considération dans notre environnement d'apprentissage. Ce modèle, qui assimile le fonctionnement du cerveau au fonctionnement de l'ordinateur, malgré sa qualité descriptive pour la recherche reste toutefois questionnable sur le plan scientifique.

Cognitivism et approche computationnelle

Les théories cognitivistes issues du modèle computationnel s'inspirent du fonctionnement de l'ordinateur pour expliquer comment la mémoire recueille, traite et emmagasine les nouvelles informations et comment elle repère, par la suite, ces informations. Le cerveau est considéré, à l'instar de l'ordinateur, comme un système complexe de traitement de l'information, fonctionnant grâce à des structures de stockage en mémoire, et à des opérations d'analyse logique comme la recherche en mémoire ou l'identification de catégories.

Description du modèle computationnel de l'apprentissage

La mémoire

D'après ce modèle le cerveau humain possède trois types de mémoires :

1. La mémoire sensorielle (MS) reçoit toute l'information sensorielle d'une personne (signaux visuels, auditifs, gustatifs, olfactifs, tactiles). Il s'agit d'une mémoire d'une durée très brève qui possède une grande capacité. La mémoire sensorielle pourrait recevoir autant de stimuli que l'organe sensoriel peut en recevoir.
2. La mémoire à court terme (MCT), aussi connue sous le nom de mémoire de travail, est la partie de la mémoire où une nouvelle information est placée temporairement jusqu'à ce qu'elle soit traitée, perdue ou encore transférée à la mémoire à long terme.

3. La mémoire à long terme (MLT) est la partie de la mémoire qui peut stocker et conserver une quantité théoriquement illimitée d'informations. En 1985, Tulving propose un modèle d'organisation de la mémoire à long terme à partir de trois systèmes : la mémoire sémantique, la mémoire épisodique et la mémoire procédurale.

La mémoire sémantique regroupe des représentations mnésiques très stables et relativement peu affectées par la variabilité des contextes de récupération. Ces représentations sont constituées de concepts ou de connaissances générales, explicitement connus et pouvant être rappelés. En rendant possible la conceptualisation des objets, des situations, des faits ou des événements, elle permet la construction d'une représentation mentale du monde. La mémoire sémantique comporte des organisations plus complexes que la mémoire épisodique et procédurale, correspondant aux différentes formes de connaissances stockées : représentations conceptuelles, schémas narratifs, scripts d'événements ou de situations, connaissances concernant les actions et les procédures (Tulving, 1972, Tulving, 1983; Fortin & Rousseau, 1992).

La mémoire épisodique regroupe des représentations beaucoup plus flexibles, moins stables et particulièrement sensibles aux variations contextuelles. Ce serait un système de stockage d'événements ou d'épisodes personnellement vécus, et de leurs associations spatio-temporelles. Ces représentations épisodiques sont fortement contextualisés, ce qui en facilite le rappel et la reconnaissance

ultérieure.

La mémoire procédurale réfère à des automatismes, des habiletés motrices, perceptives ou cognitives acquises graduellement, inconscientes et difficilement verbalisables (Tiberghien, 1991).

Selon le modèle cognitiviste, l'apprentissage se réalise de la façon suivante:

l'information parvient aux récepteurs sensoriels et est acheminée dans la mémoire sensorielle pendant une très courte période de temps (peut-être quelques secondes), après quoi, ou bien elle pénètre dans la MCT ou bien elle se perd (information oubliée). C'est dans la mémoire à court terme (MCT) que s'effectue le traitement permettant de sélectionner et d'encoder toute nouvelle information. Cette mémoire est soumise à différentes contraintes. Parmi ces contraintes signalons :

1. Elle ne retient que peu d'informations (7 ± 2 items) (Miller, 1956) pendant un laps de temps relativement court (12 sec.) ;
2. Les contraintes liées à la vitesse de traitement : les signaux seraient traités un par un, dans l'ordre d'arrivée. Si un signal arrive avant la fin du traitement précédent, il serait mis en attente dans une sorte de mémoire tampon ;
3. Les contraintes de concurrence : les nombreux stimuli reçus par les récepteurs sensoriels doivent être sélectionnés (généralement de façon souvent involontaire) avant d'être traités en MCT. L'attention sélective joue un rôle important dans ce processus de sélection de manière à privilégier l'information pertinente à être traitée.

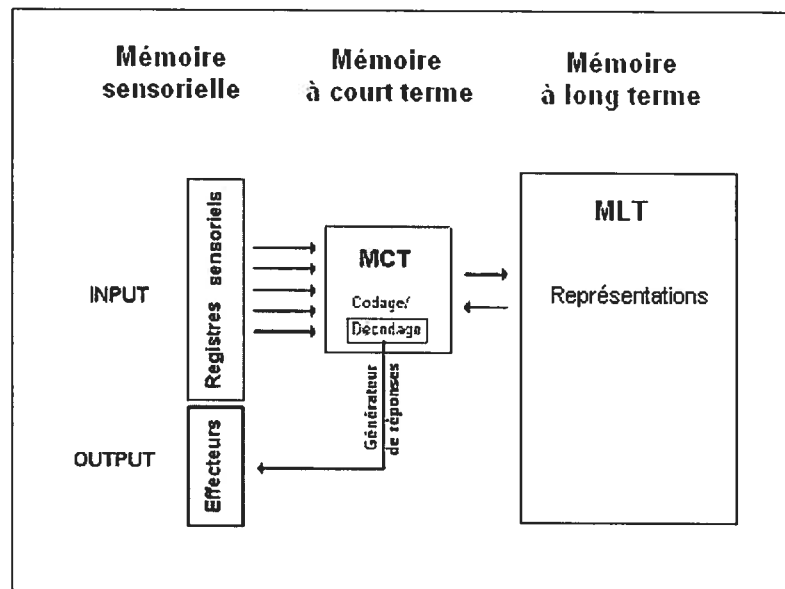


Figure 1. Représentations, traitement et stockage en mémoire (Atkinson et Shiffrin, 1968)

L'information traitée est transférée dans la MLT. Lorsque transférée en MLT, l'information est stockée sous différentes formes, selon le type d'encodage effectué lors du traitement. La mémoire à long terme se modifie sans cesse en raison des expériences nouvelles et des rappels à la conscience menant ainsi à une simplification ou à un approfondissement des traces mnésiques.

L'encodage de l'information

Importance de l'encodage de l'information et des effets de contexte dans l'apprentissage

L'encodage est un processus permettant de transformer l'information en représentations mentales. L'encodage prépare l'information pour le stockage en MLT et permet sa récupération en MCT lorsque nécessaire. Le traitement des

informations en mémoire à court terme, selon Craik et Lockhart (1972), détermine la qualité et l'efficacité de l'encodage. Il s'agit d'un paramètre central sur lequel reposera notre modèle d'action. Il nous faut donc en connaître les modalités de fonctionnement de façon à les optimiser le plus possible dans notre environnement d'apprentissage.

L'encodage en MCT

L'encodage est un processus de sélection, de traitement et d'enregistrement par lequel une grande quantité d'informations provenant des registres sensoriels entre dans la mémoire pour former une trace sous forme de représentations mentales. Dans la mémoire sensorielle, l'encodage est direct, impliquant très peu de traitement cognitif, l'image est codée sous sa forme de présentation originelle (photo, son, goût, pression).

C'est principalement dans la MCT que le processus d'encodage s'effectue. Selon Craik et Lockhart (1972), le traitement permettant l'encodage comporte différents niveaux de profondeurs : le traitement structural serait le plus superficiel tandis que le traitement sémantique serait le plus profond. La force et la richesse de la trace mnésique en MLT dépendent de la profondeur d'analyse et du degré d'associations entre les différents niveaux d'encodages. Plus le traitement est profond, faisant appel à différents contextes sémantiques et environnements physiques, plus la récupération de l'information traitée sera facilitée.



Traitement superficiel (Encodage physique ou structural)	(Encodage phonétique)	Traitement profond (Encodage sémantique)
Profondeur du traitement 		
Caractéristiques physiques lignes, courbes, angles, luminosité, son grave vs aigu, etc.	Caractéristiques des formes forme reconnue, mot identifié, images visuelles simples, etc.	Caractéristiques sémantiques Élaboration plus poussée, association avec d'autres contenus en mémoire, etc.
code physique	code auditif	code sémantique
Trace mnésique fragile	Trace mnésique plus persistante	Trace mnésique permanente
Force de la trace mnésique 		

Tableau 1: Niveaux des opérations d'encodage selon Craik et Lockhart (1972).

Le principe d'encodage spécifique

L'encodage spécifique permet de créer une trace la plus différente possible des autres traces en MLT et de ce fait réduit la confusion entre les traces. Par exemple, les phrases qui font partie d'un contexte signifiant, cohérent et compatible avec l'information à mémoriser constituent de meilleurs indices de récupération en mémoire. L'encodage spécifique dépend d'une association significative entre le contexte et l'item à mémoriser ; cet encodage diminue la confusion entre les items à mémoriser et l'efficacité du contexte dépend de sa relation spécifique avec le matériel qui sera testé.

Par exemple, Brutsche et Tiberghien (1983) ont montré que la modification d'un élément du contexte - un chapeau (présent ou absent) sur une reconnaissance photographique de visage - diminuait de moitié la reconnaissance dudit visage. Les indices qui seront les plus utiles lors de la récupération sont ceux qui étaient spécifiquement présents lors de l'encodage.

Effets de contextes

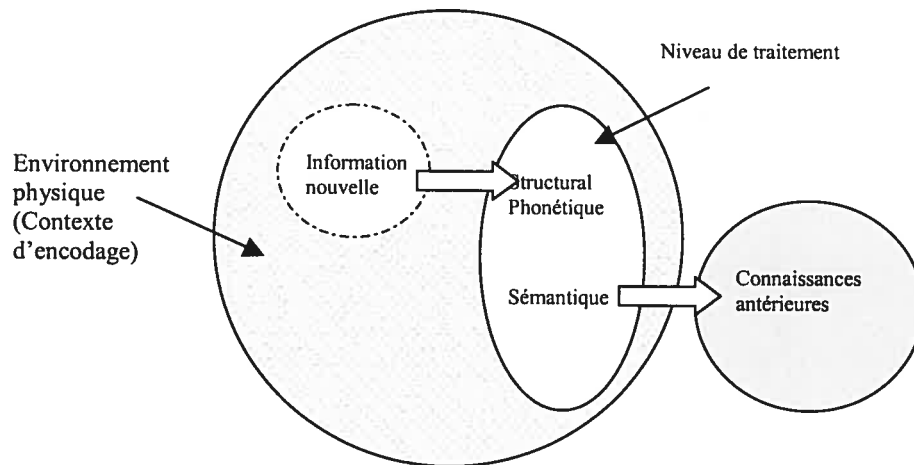


Figure 1 Encodage spécifique et profondeur de traitement

Si le traitement effectué lors de l'encodage est important, alors il devrait l'être aussi au moment de la récupération du souvenir. L'encodage spécifique permettrait d'augmenter l'efficacité de la récupération de l'information en MLT. L'efficacité de la récupération dépendrait aussi du contexte plus global dans lequel l'information a été encodée et de celui dans lequel on est placé lors de la récupération. Plusieurs expériences ont démontré l'influence des effets de contextes dans le rappel et la reconnaissance. Kolers et Ostry (1974) et Craik et Kisner (1974) ont montré que la même voie et la même typographie facilite la performance dans les tests de rappel de

liste de mots. Davies et Thomson (1988), à partir d'une recension d'études expérimentales faites sur la reconnaissance des visages et des lieux, montrent que la reconnaissance d'un visage dans un contexte familier est plus facile que dans un contexte non familier. Ainsi, par exemple, Thomson, Robertson et Vogt (1982) ont systématiquement manipulé les circonstances ('setting') dans lesquelles des personnes ont été observées, les activités que ces personnes faisaient, les vêtements qu'elles portaient. Ils ont trouvé que chacun de ces trois facteurs avait un effet significatif sur les tests de reconnaissance du visage. Les recherches de Davies et Thomson (1988) montrent qu'on se rappelle de certains détails dans une occasion et pas dans une autre.

On peut penser que la mémoire code une grande partie des aspects contextuels d'une situation de façon implicite. Ces informations ne se transforment pas toutes en connaissances (mémoire explicite) mais peuvent servir d'indices dans certains contextes. Cette hypothèse semble pertinente pour le codage en mémoire épisodique, et possiblement en mémoire à long terme.

À l'appui de cette hypothèse, Davis et Thomson (1988) constatent que les gens qui font plusieurs omissions et ne décrivent que partiellement les objets et événements, le font le plus souvent en fonction du contexte. Les omissions ou reconnaissances partielles seraient liées au contexte dans lequel l'activité se produit. Si le contexte est similaire à celui qui existait au moment de l'encodage, la reconnaissance sera plus efficace que si le contexte est différent. Les résultats de ces études ont été utilisés entre autres dans les cas d'enquêtes policières. Les enquêteurs vont essayer de recréer le contexte le plus fidèlement possible pour favoriser le rappel chez les témoins.

Encodage contextualisé et construction de concepts

Selon Barsalou (1991) les gens auraient l'habileté de construire une large étendue de concepts dans leur mémoire de travail de façon à élaborer des catégories adéquates en fonction de différentes situations. Chaque catégorie se construit de façon dynamique, les informations adéquates sont tirées de la MLT en fonction des besoins.

Les concepts ou leurs représentations seraient construits 'sur le tas' plutôt que récupérés en mémoire (Barsalou, 1982; Barsalou et Medin, 1986; Barsalou, 1991; Barsalou et al., 1993). Il a étudié la variabilité du degré de structure du concept et a montré qu'elle est hautement liée au contexte. Elle varie substantiellement avec les changements de point de vue; une grande variabilité apparaît à la fois à l'intérieur d'un individu et entre les individus. De plus, les gens changeraient de façon dynamique leurs jugements en fonction du changement de contexte. Barsalou et al. (1993) ont démontré les effets du contexte sur la catégorisation des concepts. Ils en sont venus à la conclusion que les représentations invariantes de catégories n'existent pas dans les systèmes cognitifs humains (plutôt que d'avoir une représentation conceptuelle statique de la catégorie voiture par exemple, les gens ont une représentation différente du concept dépendant de la situation dans laquelle ils l'évoquent). Pour chaque catégorie conceptuelle, les gens développent un énorme corpus de connaissances sur ses exemples, ses fonctions etc. qui sont intégrées dans la mémoire. Ils accéderont à certaines de ces informations pour les placer dans l'une ou l'autre des catégories qu'ils créent en fonction du contexte.

La conclusion que l'on peut tirer des études précédentes est que les représentations en mémoire sont vraiment flexibles et dynamiques, et dépendent du contexte. Elles peuvent être construites 'sur le tas' plutôt que récupérées quelque part dans une mémoire statique. Cela défie la conception classique de la mémoire constituée de représentations stables d'épisodes passés et d'objets.

L'ensemble des traitements effectués en mémoire à court terme constitueraient des processus, sorte de programmes construits par l'apprenant, qui seraient utilisés pour mémoriser ou retrouver l'information en mémoire à long terme. On parle peu de l'endroit où sont stockés ces programmes, mais si l'on garde l'analogie de l'ordinateur comme modèle, on peut imaginer que ces programmes seraient stockés et mémorisés avec l'information en mémoire à long terme.

La représentation des connaissances en mémoire

Les chercheurs ne se sont pas contentés de décrire le cheminement et le traitement de l'information, ils ont étudié comment l'ensemble des informations est représenté et organisé en MLT de manière à être récupéré au besoin par l'individu. Les représentations semblent jouer un rôle primordial dans l'efficacité de l'apprentissage. Il est donc important de les prendre en compte, d'en délimiter la nature et le fonctionnement dans nos considérations théoriques.

Représentations en MCT

En mémoire à court terme, les représentations sont construites dans un contexte particulier et dans un but spécifique. Elles sont présentes temporairement, le temps

qu'elles sont utiles ou utilisées. Elles sont constamment remplacées en fonction des besoins immédiats. La représentation en MCT est donc constamment modifiée, en fonction des éléments de la situation.

On distingue généralement trois formes de représentations : imagées, verbales ou propositionnelles. Si on les considère sous l'angle du traitement qu'elles impliquent, on oppose le format imagé (représentations mentales imagées d'objets et de leurs transformations) qui permet un traitement simultané, au format verbal (symbolisation linguistique de l'information sous la forme de mots, phrases, textes), qui induit un traitement de type séquentiel et le format propositionnel, plus abstrait, (étiquette verbale) donnant du sens aux concepts ou aux relations entre les concepts (verbaux ou imagés) qui induit un traitement de type référentiel.

Représentations en MLT

On admet généralement que les représentations en MLT sont faites de connaissances de type déclaratives, procédurales ou conditionnelles. Tant qu'elles n'ont pas été modifiées, elles sont supposées se maintenir sous la même forme. Elles ne sont pas entièrement dépendantes de la tâche à réaliser. Chaque catégorie de connaissances serait encodée, organisée et représentée différemment dans la mémoire à long terme. Bien qu'elles soient théoriquement distinctes, « ... les connaissances déclaratives, conditionnelles et procédurales ne sont pas dissociées les unes des autres (...) au contraire, elles sont reliées entre elles d'une façon systématique; elles sont organisées et fortement hiérarchisées. (Tardif, 1997). Les représentations constitueraient la base ou le coeur de l'architecture cognitive où différents niveaux de représentations sont

en interaction et subissent des traitements successifs. L'identification des types de représentations et de leurs modes d'organisation en mémoire à long terme est primordiale car l'acquisition des connaissances et l'ensemble des processus cognitifs permettant de les traiter sont tributaires de ces caractéristiques.

Dans le courant cognitiviste, la représentation des connaissances dans la mémoire à long terme est envisagée à trois niveaux :

1. selon leurs formats : imagé, verbal et propositionnel ;
2. selon leurs types :
 - les connaissances déclaratives qui concernent les faits ou les concepts (les savoirs) sont souvent stockées en mémoire à long terme sous un format propositionnel mais peuvent être recodées sous un format imagé ou verbal,
 - les connaissances procédurales (les savoir-faire) concernent les procédures d'exécution, les opérations à effectuer lors d'une activité finalisée, dont le format ne serait ni verbal, ni propositionnel, mais plutôt imagé (au sens d'une image opérative de transformation),
 - les connaissances conditionnelles, quant à elles, concernent le quand et le pourquoi. Elles réfèrent aux conditions de l'action. Elles permettent, dans différents contextes, d'appliquer les connaissances déclaratives et procédurales ;
3. selon leurs modes d'organisation (l'architecture, les structures de la représentation en général) :

- les structures en listes de propositions ou en réseaux sémantiques,
- les systèmes de production correspondant surtout aux connaissances procédurales,
- les structures de représentations d'objets mentaux (sens large) fortement structurés, comme les schémas ou les prototypes ; ces séquences d'évènements comportent aussi bien des formats imagés que verbaux.

La figure 5 illustre cette représentation des connaissances sous trois dimensions : format, type et structure.

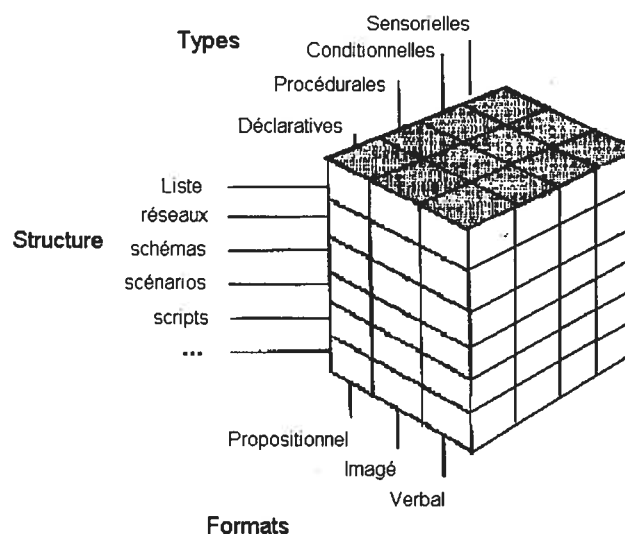


Figure 2. Représentation tridimensionnelle des connaissances en MLT selon leur format, leur type et leur structure.

Notons qu'une même connaissance peut être représentée en mémoire sous des formats différents (ex : imagé et verbal), des types différents (ex : relations entre savoirs et savoir-faire, entre contenu et procédures), et des modes d'organisation (structures) différents (ex : un même concept appartient à différents réseaux). Il est

difficile de décrire les interactions entre les différents types de représentations. Elles pourraient par exemple être gérées par une instance de contrôle. Cette hypothèse a été avancée mais le mode de fonctionnement de cette instance de contrôle reste obscur. Cette hypothèse est différente de celle avancée plus haut, qui préconisait que ce contrôle s'effectuait en MCT et que les processus et programmes construits par l'apprenant seraient stockés en MLT. Par contre, il semble que la combinaison de modes de représentations multiples agirait comme facilitateur des processus mnésiques (Fortin & Rousseau, 1992; Kapur, 1988).

Organisation des représentations en mémoire à long terme

La qualité de l'encodage se mesure par la façon dont l'information à mémoriser est organisée en MLT.

« Le degré d'organisation est un trait distinctif fort important entre les experts et les novices. Les chercheurs ont retenu plusieurs concepts pour décrire l'organisation des connaissances dans la mémoire. Certains parlent de cadre (Minsky, 1975), d'autres de script (Schank et Abelson, 1977), d'autres de modèle mental (Jonhson-Laird, 1983) d'autres encore de schéma (Rumelhart et Ortony, 1977; Rumelhart, 1984). Cette dernière forme de représentation des connaissances a beaucoup influencé la recherche scientifique et a été l'objet d'un très grand nombre de recherches. Le schéma, comme forme d'organisation des connaissances dans la mémoire, est retenu parce que cette forme semble être la représentation la plus vraisemblable de l'organisation et de la hiérarchisation qui existent dans le système de traitement de l'information de l'être humain. » (Tardif, 1997, p. 201).

D'après Rumelhart et Norman (1983), les schémas seraient des structures de données représentant des concepts génériques stockés en mémoire à long terme. Ces schémas pourraient représenter des objets, des situations, des événements, des actions ou

séquences d'action. Ce serait comme des modèles du monde extérieur. L'individu aurait une connaissance prototypée d'un objet auquel il attribuerait des propriétés 'par défaut' jusqu'à ce que l'expérience lui fasse réviser ces attributs et reconstruire son schéma en fonction des nouvelles données. Par exemple, un chien est un animal de taille moyenne, docile et amical avec son maître, aboyant en présence d'un étranger. Ce schéma sera révisé si l'individu rencontre fréquemment des chiens rebelles et méchants. Les schémas peuvent aussi être partagés par un ensemble d'individus dans une société. Selon D'Andrade (1993), les schémas de connaissances sont très flexibles et s'adaptent aux expériences et réalités de la vie, ils sont donc en constante réorganisation. Nos connaissances, représentées sous forme de schémas, seraient en état d'élaboration constante.

Brien (1996) fait une synthèse du mécanisme de modification des schémas par l'acquisition de nouvelles connaissances. L'information extérieure ne devient connaissance qu'au terme d'un processus d'assimilation / accommodation / restructuration des schémas préexistants en mémoire (Piaget 1959,1966) .D'autre part ce processus pourrait être activé, voire même alimenté par la confrontation avec d'autres collègues ou professeurs.

« Pour bien saisir ce concept de schéma, il faut distinguer entre information venant de l'environnement, schémas et connaissances. Lorsqu'un individu interagit avec son environnement, il reçoit de l'information en vrac de cet environnement. Il assimile alors cette information à ses propres schémas et, de ce processus d'assimilation, naissent les connaissances de l'individu relatives à cet environnement. Lorsque l'individu possède les schémas nécessaires pour assimiler directement l'information qui lui est présentée, comme dans nos conversations de tous les jours, on dit qu'il apprend par "accrétion". Lorsque, pour saisir l'information qui lui est présentée, l'individu doit modifier ou combiner des schémas

qu'il possède déjà, on dit qu'il apprend par "restructuration". Dans ce cas, l'apprenant doit, avant d'assimiler les nouvelles informations, bâtir de nouveaux schémas. C'est surtout ce dernier type d'apprentissage qui caractérise l'école. Dans le processus d'acquisition de connaissances, l'information venant de l'environnement sert d'intrant, les schémas de l'individu sont utilisés pour encoder cette information, et il en résulte, en extrant, des connaissances. Dès lors, on comprend que deux observateurs baignant dans le même environnement puissent former des connaissances différentes s'ils utilisent des schémas différents.» (Brien, 1996, page 3 de 7).

Pour résumer, on peut dégager quatre caractéristiques principales des schémas :

1. ce sont des blocs de connaissances ('chunks') : des unités qui sont d'une part monolithiques et récupérées en mémoire comme telles (Corson, 1987), d'autre part elles seraient autonomes par rapport aux autres connaissances ;
2. les schémas comportent des variables ayant initialement une valeur par défaut;
3. ce sont des objets complexes c'est-à-dire construits à partir d'objets élémentaires, à savoir des concepts, des actions et des relations ou encore des schémas plus généraux. Schank (1982) les appelle MOP (*Memory Organization Packets*);
4. ce sont des structures générales et abstraites qui s'appliquent à différentes notions concrètes.

La manière dont les informations auront été encodées dans la MLT détermine la facilité avec laquelle nous pourrions les récupérer au moment où nous en aurons besoin. Par exemple, le fait de les organiser en réseaux ou en *schémas* diminue la charge cognitive qui incombe à la MCT au moment de leur récupération.

Considérations théoriques

Théorie de la charge cognitive

La théorie de la charge cognitive (Sweller, 1988) s'est intéressée aux facteurs pouvant réduire les contraintes et ainsi augmenter l'efficacité du traitement en MCT. Elle découle du modèle computationnel, c'est-à-dire basé sur une mémoire à court terme (MCT) ou mémoire de travail à capacité limitée dans laquelle ont lieu tous les apprentissages et les pensées conscientes et une mémoire à long terme (MLT) à capacité théoriquement illimitée, possédant entre autres un nombre important de schémas de connaissances.

Cette théorie attribue à la notion de schéma un rôle central dans la résolution de problèmes et l'apprentissage.

Sweller (1988, dans Tricot, 2002) a construit sa théorie en stipulant que les schémas constituent des structures cognitives qui forment la base des connaissances d'un individu. Dans sa théorie, la notion de schéma joue donc un rôle essentiel, car les schémas permettraient d'outrepasser les contraintes associées à la mémoire à court terme : contraintes de capacité, de temps et de concurrence et de traiter des structures de connaissances complexes et généralisées comme des unités simples de mémoire.

« Par exemple, nous pouvons traiter comme une seule unité l'infinie variété des graphies manuelles de la lettre a. Un autre aspect important des schémas est qu'ils peuvent opérer aussi bien dans le domaine de l'activité contrôlée (consciente) qu'automatique. Or, la plupart des tâches d'apprentissage requièrent un effort conscient et un temps considérable pour passer d'un traitement d'abord contrôlé à un traitement automatique. Par exemple, le traitement de la lettre a requiert beaucoup plus d'efforts pour l'enfant qui commence à

apprendre à lire que pour un adulte sachant bien lire. Autrement dit, la plupart des tâches d'apprentissage visant l'acquisition d'un schéma impliquent une charge cognitive... qui va éventuellement gêner l'apprentissage. Sweller (1988) insiste sur le fait que les processus impliqués dans la résolution de problèmes et ceux impliqués dans l'acquisition de schémas sont substantiellement différents. » (Tricot, 2002, ¶ 4).

Nous pouvons supposer que les processus d'acquisition de schéma seraient de l'ordre de l'élaboration et ceux impliqués dans la résolution de problèmes seraient de l'ordre de la récupération. Le travail de la MCT consisterait entre autres, à élaborer ces structures ou schémas en vue de leur stockage dans la MLT. Les structures ainsi élaborées en schéma, permettent de traiter plusieurs éléments comme s'il ne s'agissait que d'un seul élément et permettraient de réduire considérablement la charge cognitive imposée en MCT lors de leur récupération ultérieure dans les situations de résolution de problèmes.

« L'objectif de Sweller et de ses collaborateurs consiste à identifier ce qui augmente la charge cognitive et gêne l'apprentissage et à concevoir différentes techniques pour faire baisser la charge cognitive et faciliter l'apprentissage » (Tricot, 2002).

Théorie du double codage de Paivio

Selon Michel Denis (1984), « Paivio a conféré à l'image un statut majeur dans un modèle du fonctionnement cognitif. De par ses caractéristiques fonctionnelles, et notamment son aptitude à actualiser des représentations de type 'analogique', l'imagerie est désignée comme facteur explicatif décisif dans tout un ensemble de conduites ». En effet, Paivio (1971) dans ses travaux de recherches a constaté que les mots concrets sont plus faciles à mémoriser que les mots abstraits. Ce serait la valeur

d'imagerie (leur capacité à susciter des images mentales) plus élevées qui faciliterait la mémorisation. Il a formulé à partir de ses constatations la théorie du double codage : en plus du code verbal, l'image permet un second type de codage, visuo-spatial.

Le principe du double codage de Paivio stipule que les activités psychologiques de l'individu sont régies par le fonctionnement de deux systèmes de codage, ou modes de représentation symbolique.

- a) Le système de représentations verbales, lié à l'expérience que l'individu a du langage, et supposé moins dépendant du caractère concret ou abstrait de la situation, de sorte que son utilité relative est plus élevée lorsque la tâche devient plus abstraite;
- b) Le système de représentations imagées, dont le développement est lié à l'expérience perceptive de l'environnement concret, et dont la mise en œuvre est d'autant plus probable que la situation dont l'individu doit traiter se réfère à des objets ou à des événements concrets.

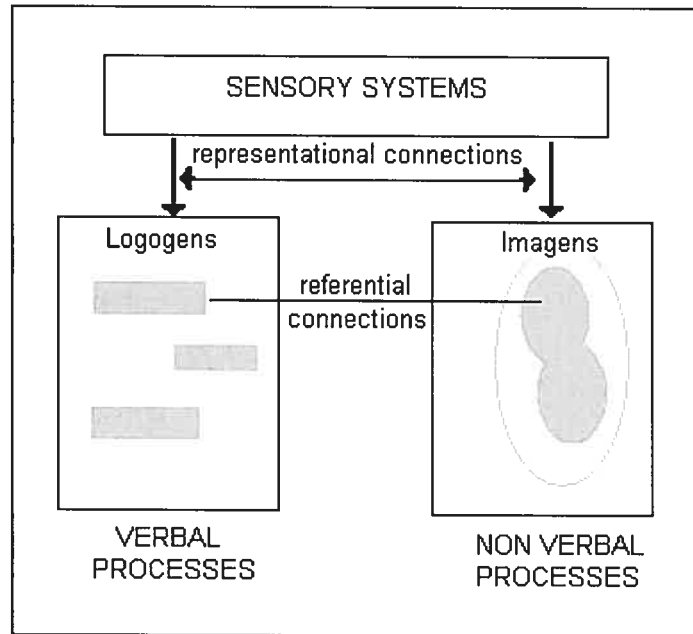


Figure 3. Schéma du double codage de Paivio (1971)

Selon l'hypothèse de Paivio, toute connaissance est codée :

soit de façon verbale ou écrite avec priorité accordée à la sémantique, à la signification des stimuli,

soit de façon visuelle avec accent mis sur certaines caractéristiques telles que la forme, la dimension, la couleur, etc. Le processus de mémorisation est plus efficace lorsque les deux formes d'encodage sont mises simultanément à contribution.

Par exemple, l'utilisation d'une illustration pour appuyer l'information donnée dans un texte semble efficace, tout comme son association avec un texte touffu ou incomplet. De la même manière, l'utilisation d'une légende donne une signification plus précise à une illustration.

Cette hypothèse nous paraît valable de façon intuitive si ce n'est empirique. Paivio a considéré le cas des représentations imagées et verbales, mais qu'en est-il des représentations iconiques de type diagramme, beaucoup plus abstraites que ces deux dernières ? Est-ce que, dans le cas des représentations de l'interaction entre deux variables physiques abstraites et non visualisables (par exemple intensité et tension du courant électrique) le pairage de ces représentations avec une représentation de type verbale est efficace ? Il semblerait que non puisque l'atteinte de l'habileté à 'lire et interpréter un diagramme graphique' n'est réservée qu'à un groupe restreint d'apprenants ayant atteint le stade de pensée formel. « Selon les travaux de Serge Larivée, conformes à d'autres études américaines, chez 40 % de la population ces structures cognitives sont insuffisamment développées pour permettre d'accueillir les contenus scientifiques » (Forum Volume 35 numéro 8, octobre 2000). L'état de la situation était la même lorsque Nonnon (1983) propose une façon de donner du sens à la représentation graphique d'un phénomène physique en l'appariant de façon simultanée au phénomène réel. L'apprenant est alors en contact direct et peut visualiser simultanément ces deux formes de représentations, il a nommé ce concept 'la lunette cognitive' : «L'élève accède ainsi à l'abstraction mathématique et graphique au contact direct de la réalité. Cette façon d'apprendre l'abstraction à partir du concret permet à l'élève de donner un sens aux représentations graphiques qu'il a pu étudier en mathématiques.» (Forum, Volume 35 numéro 2, septembre 2000).

La sémiotique, les représentations et la réduction de la charge cognitive

Développer des environnements d'apprentissage implique que l'on doive communiquer des contenus significatifs aux apprenants. Pour bien comprendre la

nature des représentations mentales et leur fonctionnement lors de l'apprentissage, la psychologie cognitive s'est intéressée à la sémiotique. Bien qu'historiquement ces deux disciplines aient entretenu des rapports conflictuels et d'exclusion, les nouveaux médias de communication utilisés dans les environnements d'apprentissage ont obligé la psychologie cognitive à faire l'étude des représentations figurales et ont permis l'émergence d'une discipline qui articule les deux approches : la sémiotique cognitive. La sémiotique s'intéresse, par définition, aux signes et significations véhiculés par le langage parlé ou écrit, ou par les représentations iconiques (photos, dessins, schémas etc.). Tandis que les recherches en psychologie cognitive s'intéressent aux représentations mentales et à la façon dont est codifiée l'information en mémoire, la sémiotique cognitive tente d'expliquer les liens qui existent entre les représentations matérielles et mentales.

La sémiotique a été définie tout d'abord par Saussure comme « la science qui étudie les signes au sein de la vie sociale dans un contexte socioculturel et historique déterminé » (Saussure, 1915). L'approche de Saussure, basée sur la linguistique, est qualifiée de structurale.

Saussure propose pour le signe deux propriétés (conception duale) soit :

- le signifié qui est ce à quoi le signe fait référence (ce qu'il signifie) et
- le signifiant qui est le signe lui-même ou l'image acoustique.

C'est dans l'association entre ces deux éléments que Saussure voit la fonction essentielle du langage. Pour lui, le signe est arbitraire (il n'existe aucun rapport interne entre le concept représenté et le mot ou la phrase qui le signifie) et abstrait.

C.S. Peirce, sémiologue américain contemporain de Saussure, propose une méthode d'analyse sémiotique différente fondée non plus sur l'opposition signifiant/ signifié ou des oppositions structurales mais sur l'articulation triadique du signe, de l'objet représenté et de l'interprétant (Deledalle, 1979). Le signe, en plus d'être considéré en fonction du concept signifiant/signifié, est abordé dans sa relation avec ceux qui l'interprètent, il est perçu en fonction de sa relation avec l'objet. L'approche de Peirce, qualifiée de pragmatique, stipule qu'un signe n'est un signe que s'il y a un agent (un interprétant) capable de l'exploiter. Le signe est porteur d'information pour un agent cognitif (être humain, animal, programme informatique...)

« La seule façon de communiquer directement une idée est par le moyen d'une icône, et toute méthode indirecte pour communiquer une idée devrait dépendre de l'utilisation d'une icône » (Peirce, cité par Deledalle, 1979).

Dans le cadre du développement d'un environnement multimédiatisé d'apprentissage, l'approche pragmatique de la sémiotique s'impose. Les documents visuels autant que sonores ou linguistiques utilisés sont porteurs de sens et seront interprétés par les apprenants (agents cognitifs). Nous nous pencherons donc particulièrement sur l'approche Peircienne de la sémiotique pour donner du sens à ces signes en les plaçant en contiguïté signifiant/signifié, avec une personne en situation d'apprentissage.

Arnaud distingue quatre postulats peirciens:

« 1. Nous n'avons aucun pouvoir d'introspection, mais toute notre connaissance du monde intérieur est dérivée par un raisonnement hypothétique de notre connaissance des faits extérieurs.

2. Nous n'avons aucun pouvoir d'intuition, mais toute connaissance est logiquement déterminée par des connaissances antérieures.

3. Nous n'avons pas le pouvoir de penser sans signes.

4. Nous n'avons pas de conception de l'absolument inconnaissable »
(Arnaud, 1998, ¶ 2).

Pierce (1978) identifie trois différents types de représentations (icônes) : l'image, le diagramme et la métaphore. Chacun des ces types de représentation possède des fonctions qui lui sont propres :

- L'icône de type 'image' : c'est un signe qui représente un objet parce qu'il possède un ensemble de qualités que possède l'objet. Cette icône n'apporte pas d'informations supplémentaires sur la structure de l'objet.
- L'icône de type 'diagramme' : c'est un signe qui communique les relations entre les objets. C'est, des trois types d'icônes, celle que l'on pourrait qualifier de la plus objective et scientifique. C'est par ce type d'icône qu'on comprend le mieux les objets. Dans cette famille d'icônes, on retrouve les icônes logiques de mathématiques et de sciences expérimentales, les schémas, les graphiques, histogrammes etc.
- L'icône de type 'métaphore' : c'est de loin le type d'icône le plus difficile à manipuler car elle transforme la présentation de l'objet qu'elle doit représenter. Elle est toutefois souvent la seule qui permette

de faire appréhender un objet quasi-inconnu de l'apprenant. Elle aide l'apprenant à mettre en œuvre des processus d'assimilation - accommodation car elle médiatise l'inconnu par du connu qui présente des caractéristiques de l'objet à connaître.

À l'instar de Pierce, la sémiotique cognitive émet comme postulat que la connaissance se développe à travers une hiérarchie de représentations iconiques allant des choses les plus concrètes vers des modèles mentaux de plus en plus abstraits mais toujours iconiques.

Dans notre approche, nous présumons que la présentation simultanée des informations de type iconique (schémas, graphique, analogie) devrait nous permettre d'appréhender l'un par l'autre. Ainsi, nous pourrions appréhender le graphique à partir de la réalité ou de l'analogie si cette réalité est inaccessible. Le graphique deviendrait signifiant et utile pour appréhender une réalité abstraite. Ce sont ces interactions externes entre plusieurs formes de représentations qui favoriseraient l'appréhension et la construction des connaissances de l'apprenant.

Comme on l'a vu, la théorie de double codage de Paivio (1971) stipule que la présentation simultanée d'une même information, de façon visuelle et textuelle, pourrait favoriser la réalisation de tâches de compréhension ou de mémorisation. Suite aux travaux de Paivio, Clark et Chase (1972) ont énoncé que la convergence entre les registres sémiotiques différents pourraient jouer un rôle important dans l'application de la théorie. Par "registre sémiotique" on entend des familles de signes partageant un ensemble des caractéristiques matérielles à partir desquelles se

construit leur signification. On identifie différents grands registres sémiotiques (images, sons, écritures, productions verbales...). Ces registres sémiotiques larges sont subdivisés en registres plus petits et plus précis. Par exemple, dans le large registre des écritures, on peut identifier de nombreux registres sémiotiques tels que textes en langage écrit, écritures mathématiques, écritures logiques, écritures techniques, écritures en langages informatiques, etc.

Selon Clark et Paivio (1991), pour que le double codage soit efficace, il faut que les deux types d'information travaillent de façon collaborative et n'entrent pas en compétition ('collaborative effects'), ou, si l'on veut, qu'elles fassent appel à des registres sémiotiques complémentaires ; il leur faudrait aussi être en interrelation (richly cross-referenced). En effet, les travaux de Sweller et Chandler (1991) montrent que certains formats de présentation combinant à la fois des schémas et des textes écrits sont traités de manière différente. Dans le cas où les informations (schémas et textes) sont associées en complémentarité, elles vont être traitées comme provenant d'une source unique. Dans le cas inverse, lorsque l'articulation entre les schémas et les textes n'est pas directement compréhensible, les informations vont être traitées comme provenant de deux sources différentes augmentant la charge cognitive des sujets. Dans le second cas, il est difficile d'acquérir de nouvelles connaissances puisque la charge cognitive est utilisée pour d'autres activités que l'acquisition de schémas. Il faut donc empêcher les apprenants d'utiliser une stratégie les obligeant à élaborer des modèles d'action en utilisant simultanément différents types de représentations pour accomplir un but, et les aider à se concentrer sur les états d'un

problème, ce qui devrait réduire la charge cognitive externe et faciliter ainsi l'acquisition de schémas.

À cet effet, Salomon (1979) a démontré que le média utilisé influence la façon dont un contenu est présenté et la façon dont celui-ci est encodé par l'apprenant. En fait, la nature des symboles utilisés (textuels, visuels, iconiques, sonores...) pour représenter l'information influence à la fois leur mode de transmission et les habiletés intellectuelles requises pour leur traitement. Dans le modèle cognitiviste, on pourrait supposer que l'encodage extérieur servirait de pré-encodage qui accélérerait le processus d'encodage dans la MCT.

Nous sommes d'accord avec Jacquinot (1997) qui s'interroge sur la place que devrait prendre les différentes 'matières de l'expression' dans les multimédias interactifs.

« ... c'est-à-dire se demander si l'image a une fonction d'illustration, si elle est un support à une information qu'il faut trouver, ou si l'image donne l'information, bref, comment se situe l'exploitation du donné iconographique ». En ce sens, la sémiotique cognitive nous donnera un cadre pour concevoir le découpage des contenus textuels et iconographiques de notre environnement d'apprentissage, leur mode de présentation et leur mode de contrôle.

Les représentations virtuelles graphiques et analogiques d'un phénomène réel devraient être traitées en complémentarité, comme provenant d'une même source (le phénomène réel). Notre pédagogie devra alors se dérouler en deux temps : dans un premier temps, nous aiderons l'élève à se construire une représentation signifiante d'un phénomène réel et dans un second temps, lorsqu'il aura acquis cette

représentation, qu'elle sera signifiante pour lui, nous le placerons dans une situation de résolution de problème dans laquelle il utilisera cette représentation pour appréhender d'autres phénomènes.

Nous retiendrons, dans la conceptualisation de notre environnement d'apprentissage, le fait que le traitement des connaissances en mémoire à court terme serait influencé par le format des représentations à traiter. Les différents types de connaissances présentées dans des formats imagés et propositionnels permettraient un traitement en parallèle de l'information, donc la vitesse de traitement serait améliorée. D'autre part, selon plusieurs auteurs, l'organisation des connaissances en mémoire à long terme se ferait sous forme de schémas. Les schémas étant considérés comme des unités autonomes, on présume qu'ils prennent moins d'espace de traitement en mémoire à court terme et permettent le traitement de plusieurs éléments comme s'il ne s'agissait que d'un seul.

Nous considérerons les schémas comme étant le mode d'organisation des connaissances en mémoire à long terme, et nous présumerons qu'ils constituent les conceptions préalables de l'apprenant, conceptions sur lesquelles nous nous appuierons pour favoriser le processus d'acquisition (assimilation/accommodation/structuration) des nouveaux concepts qui lui seront présentés.

Apprentissage par analogie

L'apprentissage par analogie existe implicitement depuis toujours; en effet on explique depuis toujours le moins connu à partir du plus connu ou du plus familier. Ce type d'apprentissage a été explicité plus récemment par des recherches en psychologie cognitive.

Dans l'apprentissage par analogie, on présente à l'apprenant une situation connue (source) de façon à l'aider à appréhender une situation à connaître (cible). Les processus cognitifs mis en œuvre sont les suivants: encodage de la source et de la cible puis la mise en correspondance, ou comparaison, entre le domaine cible et le domaine source (appariement). La mise en correspondance s'effectue sur la base de traits communs aux deux situations.

Distinction entre exemple, analogie et métaphore

L'exemple, tout comme l'analogie et la métaphore, est utilisé pour aider l'apprenant dans l'apprentissage de nouveaux concepts. L'exemple sert principalement à illustrer le concept par une application pratique plutôt qu'à l'expliquer.

Par contre, les gens utilisent depuis longtemps les analogies et les métaphores de domaines familiers et concrets pour s'aider à comprendre les domaines moins familiers ou abstraits. Lakoff et Johnson (1980) ont documenté une grande quantité de systèmes métaphoriques utilisés dans le langage quotidien. Ces systèmes métaphoriques (pris au sens large, incluant les analogies, combinaisons conceptuelles et métaphores) donneraient à la pensée une assise expérientielle, physique (sensorielle, kinesthésique) qui permet la compréhension et l'assimilation de certains nouveaux concepts abstraits.

Il est toutefois important de distinguer la métaphore de l'analogie de façon à en optimiser l'utilisation dans un modèle d'environnement d'apprentissage. Gentner suggère que les métaphores sont utilisées généralement dans des situations 'expressive-affective'. La poésie, la littérature, la rhétorique et les arts utilisent abondamment la métaphore comme moyen d'expression, (« Sous de certains souffles violents du dedans de l'âme, la pensée est un liquide. Elle entre en convulsions, elle se soulève, et il en sort quelque chose de semblable au rugissement de la vague » Hugo, L'homme qui rit), tandis que les analogies sont utilisées pour faire des comparaisons explicites entre deux domaines de connaissances (par exemple l'analogie du système hydraulique pour expliquer le fonctionnement du système électrique).

Nous parlons souvent de métaphore en sciences, il serait plus précis de parler d'analogie dans les contextes explicatifs. Si les métaphores sont moins utiles dans l'explication, elles seraient par contre plus appropriées dans un premier temps que l'analogie pour soutenir des modèles exploratoires d'explication, car elles peuvent évoquer tout un système de connaissances, par exemple la métaphore de l'ordinateur appliquée à la cognition, la métaphore du système solaire appliquée au système nucléaire, etc.

Caractéristiques de l'analogie

Dans le cadre de notre projet, nous privilégierons l'analogie comme support conceptuel à l'acquisition de nouvelles connaissances. Selon Gentner (1989), Holyoak et Thagard (1989), l'utilisation de l'analogie permettrait à l'apprenant de

s'appuyer sur ses connaissances préalables pour l'aider à construire des nouvelles connaissances. L'analogie, s'il est choisi dans un domaine source (connaissances préalables) présentant suffisamment de similarités avec le domaine cible (connaissance à acquérir) facilite l'appropriation des nouveaux concepts.

Clement et Gentner (1991) considèrent que dans une analogie le fait d'utiliser un domaine familier pour comprendre un nouveau domaine et d'en souligner des similitudes importantes permettrait de faciliter les mécanismes d'assimilation – accommodation de l'apprenant. Ils s'accordent pour identifier les mécanismes suivants dans le raisonnement par analogie :

- construction d'une représentation de la situation-cible
- génération/recherche d'une source
- compréhension de la source
- utilisation de la source pour traiter la situation-cible

Glick et Holyoak (1983) considèrent que l'analogie utilisée pour engendrer des connaissances applicables à un domaine cible facilite le transfert des connaissances d'un domaine source qui est mieux compris, vers le domaine cible.

Selon Gentner (1983), le mécanisme qui sous-tend l'analogie est l'alignement structurel (*structure mapping*). L'alignement structurel est un processus d'appariement systématique entre les structures d'un domaine cible (à connaître) à celles d'un domaine source (connu). Les trois principales composantes de l'alignement structurel sont :

1. la correspondance 1 à 1, qui propose que le processus de comparaison suppose l'isomorphisme entre les éléments des deux domaines (circulation de l'eau dans un tuyau et 'circulation' du courant dans un fil) ;
2. la connectivité parallèle qui suppose que si 2 affirmations sont pairées alors leurs arguments peuvent être mis en correspondance (l'eau circule dans un tuyau, le courant (les électrons) circule dans le fil) ;
3. la systématique suppose que les pairages partagés par de plus larges systèmes sont préférables aux petits systèmes de pairages, aux pairages isolés.

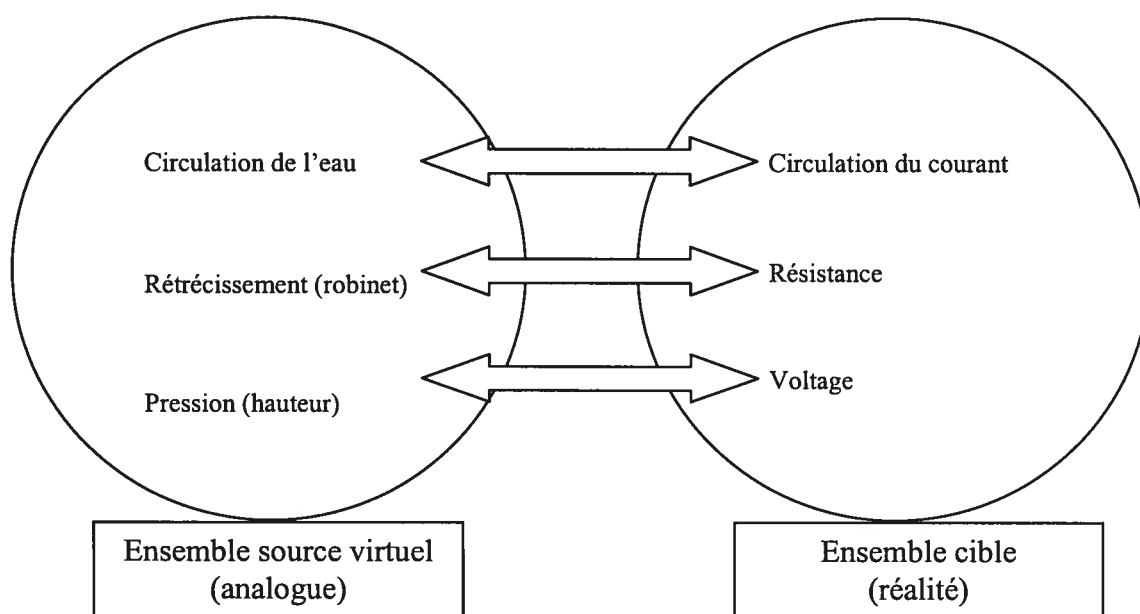


Figure 4. Correspondance un-à-un entre la situation cible et l'analogue

L'effet de transfert est plus important lorsque les sujets ont été exposés à deux situations sources que lorsqu'ils sont exposés à une seule. Par ailleurs, l'effet de transfert est plus important lorsqu'on suggère aux sujets de comparer les deux

situations. Notons que dans notre projet ces deux suggestions sont explicites puisque les situations sont présentées simultanément. Ces résultats ont amené les auteurs à avancer l'idée que la construction d'un schéma général de la situation source est la condition du transfert analogique.

La présentation d'analogues dans la construction de la connaissance pourrait faciliter le transfert de cette connaissance. En effet, Perkins et Salomon (1989) soulignent que les transferts s'effectuent sous certaines conditions dont les suivantes : a) qu'on ait montré aux apprenants comment certains problèmes se ressemblent (ce qui implique une connaissance des deux champs considérés et qu'on parvienne à construire une analogie entre eux) ; b) qu'on attire l'attention des apprenants sur les finalités sous-jacentes à des problèmes comparables ; c) que les apprenants connaissent les situations en jeu ; d) qu'on joigne aux exemples de transferts des règles appropriées quant à la manière de les effectuer ; e) que l'apprentissage s'effectue dans un contexte social où les principes généraux seront valorisés.

L'analogie comme outil conceptuel comporte des avantages et certaines limites qu'il faut prendre en considération.

Avantages de l'analogie :

- elle permet les changements conceptuels ;
- elle utilise les conceptions préalables pour favoriser l'apprentissage de nouveaux concepts ;

- elle facilite la compréhension de l'abstrait par l'utilisation d'analogues concrets ;
- elle donne accès à un schéma général de résolution pour une classe de problèmes ;
- elle peut induire l'intérêt et la motivation chez l'apprenant .

Limites de l'analogie

- Une analogie ne repose jamais sur une similitude totale entre le domaine-analogue et le domaine-cible. Les différences peuvent induire chez l'apprenant des conceptions erronées. Le recours à l'analogie comme support à l'apprentissage de nouveaux concepts doit donc être guidé ;
- Gentner, D. et Gentner, D.R. (1983) ont demandé à des sujets de résoudre des problèmes portant sur l'électricité, les groupes ont été formés en fonction du modèle analogique sur la base duquel ils conçoivent l'électricité (modèle de l'écoulement d'un fluide ou modèle d'une foule en mouvement). Ces expériences ont montré que les inférences faites par les sujets dépendent du modèle qu'ils adoptent, celui-ci restreignant les possibilités : la métaphore projetée sur le domaine cible met en valeur certains aspects mais peut aussi en masquer d'autres (effets de masquages).

De façon à prévenir les fausses conceptions pouvant émerger du choix d'un analogue, quel qu'il soit puisque aucun analogue ne peut présenter une correspondance parfaite avec la cible, il est primordial, dans une activité d'enseignement, de guider l'apprenant en l'aidant à faire les correspondances

structurelles pertinentes à la compréhension de la cible. On permettra de ce fait à l'apprenant d'avoir une attitude prudente dans le choix des analogies spontanées qu'il peut évoquer de façon autonome pour comprendre une situation.

Il faut choisir les analogues en ayant soin de respecter les critères pouvant influencer l'activité d'inférence et d'acquisition de connaissance qu'elles produisent. En effet, la systématisation et la consistance structurelle influencent l'interprétation des analogies :

- La systématisation influence l'inférence et induit des catégories
- La consistance structurelle influence l'inférence

Analogie et raisonnement scientifique

Dumbar (2001) a centré ses recherches sur le mode de raisonnement des scientifiques. À la suite d'observations systématiques de groupes de scientifiques verbalisant leur processus de résolution de problèmes, il a constaté que la pensée analogique était la composante principale de tous les aspects de leur raisonnement, de la génération des hypothèses à la conception du design expérimental, l'interprétation des données et les explications. Il conclut même que « l'analogie n'imprègne pas seulement tous les aspects de la pensée scientifique, mais c'est une composante clé de la façon dont les scientifiques raisonnent lors de leurs découvertes inattendues » (p. 314).

Toujours selon Dumbar, les analogies semblent servir principalement trois buts : la formulation de théories, le design des expériences, et l'explication donnée aux autres

scientifiques. Dans l'analyse de contenu qu'il a effectué sur le raisonnement de ces scientifiques, il tire les observations suivantes:

« Nous avons aussi codé la distance entre la source et la cible et avons trouvé que très peu d'analogies se font lorsque la source et la cible sont radicalement issues de domaines différents, même quand les théories sont formulées. En fait, nous avons découvert que la plupart des analogies étaient issues de domaines très similaires, ou de domaines de catégories communes (par exemple un type de virus à un autre type de virus). Nous avons trouvé que quand les scientifiques essayaient de résoudre des problèmes expérimentaux, ils tendaient à utiliser des analogies *locales*, -analogies à des expériences ou organismes très similaires, mais quand les scientifiques essayaient de formuler des nouveaux modèles ou concepts, ils tendaient à faire des analogies avec des concepts d'autres domaines reliés. Notons que même les analogies qui étaient similaires à d'autres expériences ou au même organisme étaient dépendantes des relations d'ordre supérieur ou de similarités structurales plutôt que de similarité de surfaces (caractéristiques superficielles). En effet, si nous analysons toutes les analogies utilisées en termes des similitudes qu'elles partagent littéralement, nous trouvons environ 25% des analogies qui recourent à l'appariement des caractéristiques superficielles»(Dumbar, 2001 p.316 traduction personnelle).

Par contre, les analogies utilisées sont plus distantes du domaine lorsque les résultats obtenus sont inattendus et ce de façon persistante.

L'utilisation de l'analogie est ou pourrait être un facteur de créativité scientifique.

Elle permet de se représenter une interaction entre des variables, d'intuitionner une relation de causalité, de formuler une hypothèse inférée de l'appariement entre la situation cible et l'analogie. Dans l'exemple mentionné plus haut entre l'électricité et l'hydraulique, l'appariement des variables pression, débit, action de la valve, avec voltage, courant, résistance, nous permet d'imaginer, à partir de cet analogue, l'effet de la valve sur le débit d'eau et de l'assimiler à l'effet de la variation de résistance (potentiomètre) sur le courant électrique.

Notre environnement vise à permettre à l'apprenant d'effectuer une démarche cognitive active dans l'élaboration de concepts abstraits. Pour ce faire, l'analogie sera provoqué et servira principalement d'outil facilitant chez l'apprenant l'élaboration active des liens existant entre le phénomène réel et sa représentation abstraite. L'analogie devra donc reproduire les principales caractéristiques structurelles du phénomène et ses paramètres devront varier en fonction et en même temps que ceux de la situation réelle. Il devra agir comme agent de structuration dynamique des concepts abstraits à acquérir.

Dans notre modèle d'action, l'apprenant n'aura pas à se construire lui-même ou à invoquer un analogue. Nous imposerons une analogie qui sera présentée en temps réel et de manière virtuelle ce qui évitera les contraintes didactiques associées normalement à l'apprentissage par analogie. Cette façon de faire serait préalable à la conception et la construction d'analogie par l'apprenant.

Apprentissage situé, flexibilité cognitive

En plus de prendre appui sur l'approche cognitiviste computationnelle de l'apprentissage et sur les recherches empiriques réalisées sur la charge cognitive, les représentations et l'analogie, nous tiendrons compte dans l'élaboration de notre environnement d'apprentissage de plusieurs autres théories exploratoires issues du domaine de l'apprentissage et la cognition. Parmi celles-ci, mentionnons la théorie de l'apprentissage en situation ('situated learning') et de la flexibilité cognitive ('cognitive flexibility'). Cette théorie justifie principalement notre choix de réaliser

un apprentissage en laboratoire plutôt que par des cours magistraux, sur des activités réelles plutôt que simulées.

Deux notions fondamentales émergent du courant dit de l'apprentissage situé (Brown, Collins & Lugud, 1989) : le contexte ('learning in context') et l'activité de l'apprenant ('cognitive apprenticeship'). Dans l'apprentissage situé, on stipule que les connaissances ne doivent pas être séparées de leur contexte et *in extenso* des activités dans lesquelles elles sont impliquées (situées), la dimension collaborative apparaît dès lors comme très importante. Pour apprendre efficacement ce paradigme propose que l'on place l'apprenant (et plus globalement les apprenants afin de créer une collaboration) en contexte, dans des activités réelles du domaine d'apprentissage ('authentic activities'). Cette méthode vise à ancrer l'acquisition des connaissances dans les activités du domaine par un processus d'enculturation. Cette théorie est consistante avec la notion 'd'effets de contextes' abordée au début de ce mémoire, postulant que la contextualisation des apprentissages améliore le rappel et la récupérations des connaissances en mémoire à long terme. Notre environnement d'apprentissage suppose de facto un 'apprentissage situé' puisque les apprenants sont placés en situation réelle d'expérimentation. Le matériel proposé à l'apprenant est ainsi constitué de cas concrets, comme la mesure de l'intensité lumineuse par une cellule photorésistive.

La théorie de la flexibilité cognitive est mise en évidence dans des environnements complexes, peu ou mal structurés. Selon les auteurs la flexibilité cognitive consiste en l'habileté à restructurer spontanément la connaissance, de différentes manières, par l'adaptation de l'individu aux changements de situations. Cette restructuration se

fait à la fois en fonction de la façon dont la connaissance est représentée en mémoire et en fonction du processus impliqué dans l'élaboration des représentations mentales. À l'instar de Barsalou et Medin (1986) la théorie de la flexibilité cognitive soutient que la récupération et l'utilisation de blocs de connaissances intacts n'est pas appropriée. Plutôt, il faut d'abord pouvoir puiser et récupérer des connaissances dans les diverses structures et dans les représentations mentales existantes pour en faire un nouvel assemblage en fonction du besoin immédiat. C'est à l'aide de la nouvelle structure que l'apprenant construirait ses connaissances. (...). Cette théorie stipule que l'acquisition et surtout le transfert de connaissances sont meilleurs si l'on utilise un apprentissage permettant de présenter l'information dans différentes perspectives. De plus, en soutenant que l'apprentissage est plus efficace dans les environnements contextualisés, les auteurs rejoignent les conclusions de la théorie de l'effet de contexte (Spiro suggère d'utiliser une approche par étude de cas très contextualisés). Pour créer un environnement permettant la mise en œuvre de cette théorie, cela implique : (1) l'utilisation de multiples représentations des connaissances, (2) la mise en relation des concepts abstraits dans différentes situations significatives, (3) la démonstration de l'interconnexion des concepts à l'intérieur d'un domaine complexe de connaissances, (4) la mise de l'accent sur l'assemblage de la connaissance plutôt que sur la reproduction de connaissances, (5) la valorisation de l'apprentissage par l'action.

En ce qui concerne notre environnement d'apprentissage, cette théorie nous amène à confronter l'apprenant à des problèmes du domaine, situés dans un contexte particulier. Ces situations pouvant être considérées comme significatives puisque

provenant directement d'expériences de laboratoire en sciences expérimentales (il s'agit bien d' 'authentic activities' où l'apprentissage par l'action est valorisé).

L'apprenant aura ainsi plusieurs perspectives différentes sur le même contenu. .

D'autre part, la théorie de la flexibilité cognitive nous permettra d'opérationnaliser la notion de profondeur de traitement de l'information selon Craik et Lockhart (1972).

En effet, l'utilisation de multiples représentations des connaissances, l'utilisation de l'analogie dans la mise en relation des concepts abstraits et/ou nouveaux et de concepts contenus en mémoire, la démonstration de l'interconnexion des concepts à l'intérieur d'un domaine complexe de connaissances, nous permettront de favoriser le traitement en profondeur de l'information.

Environnements multimédiatisés, cognition et technologie de l'apprentissage

Dans le cadre de notre projet, l'environnement d'apprentissage doit prendre en compte de façon simultanée les présentations de type multimédia (image, graphique, son, etc.), et la situation réelle d'expérimentation. Nous laisserons l'apprenant assumer le rôle de gestionnaire des ressources qui seront disponibles dans son environnement, tant réel que multimédiatisé (pilotage de l'expérience via un logiciel d'acquisition de données, accès en ligne et en temps réel à des présentations sous forme d'images animées du phénomène réel, accès aux diverses représentations graphiques). Dans cette optique, et du fait que notre environnement d'apprentissage s'adresse à un groupe cible précis (apprenants en sciences expérimentales, engagés dans l'acquisition de compétences), il nous paraît intéressant d'opter pour une

approche minimaliste lors du développement de l'environnement multimédiatisé d'apprentissage. Cette approche minimaliste (Carroll, 1990) s'arrime à la perspective cognitiviste en nous permettant entre autres d'atteindre les objectifs de réduction de la charge cognitive (Sweller, 1988) tout en privilégiant un apprentissage actif conforme avec les approches cognitivistes d'élaboration dynamique des schémas de représentation de la connaissance (D'Andrade, 1995).

La théorie minimaliste de Carroll

La théorie minimaliste, principalement développée par Carroll (1990) pour la conception d'environnements informatisés d'apprentissage, stipule que l'on doit considérer l'apprenant comme agent actif dans l'environnement d'apprentissage. Les principes de base du design minimaliste énoncés par Carroll sont les suivants :

1. Permettre à l'apprenant de commencer rapidement sur des tâches concrètes et significatives.
2. Minimiser les informations passives (documentation élaborée, procédures explicites...) de façon à permettre à l'apprenant de travailler activement à l'appropriation du savoir, en faisant des essais et des erreurs, en rectifiant ses erreurs, en explorant et en réfléchissant.
3. Exploiter ses connaissances préalables.
4. Éviter de canaliser la démarche de l'apprenant, privilégier une approche modulaire où chaque élément d'information est autonome et complet en soi.
5. Prévoir l'accès à l'information lorsque celle-ci est nécessaire et utile ('just in time'). Par exemple, inclure de courts commentaires contextualisés

accessibles sur demande, mettre l'accent sur le rôle de guide que l'enseignant doit assumer.

En capitalisant sur son expérience, ses conceptions antérieures, ses habiletés existantes, l'approche minimaliste nous permettra d'engager rapidement l'apprenant dans une démarche active de résolution de problèmes via l'expérimentation qu'il effectue. Le fait qu'il doive partager son attention simultanément entre le phénomène réel (concret), sa représentation graphique (abstrait) et une représentation analogique, nous emmène à réduire toute documentation trop lourde qui l'obligerait à suspendre son action. L'aide sera alors fournie sur demande ('just-in-time'), les informations complémentaires seront présentées sous forme de modules autonomes, accessibles au besoin, évitant ainsi de ralentir ou de canaliser la démarche d'apprentissage tout en nous permettant de focaliser son attention sur les éléments clés de son apprentissage, c'est-à-dire la combinaison des représentations en temps réel du phénomène à l'étude.

Cette approche n'est pas en contradiction avec la nécessité de permettre à l'apprenant un traitement approfondi des connaissances à acquérir (Craik et Lockhart, 1972). Ici, il s'agira de placer l'apprenant en contact direct avec trois sources complémentaires et synchrones de représentations de la connaissance à acquérir, réelles, imagées et graphiques (diagramme). Le traitement cognitif sera effectué grâce à des va-et-vient fréquents entre ces différentes représentations, de façon à élaborer activement des liens entre le concret et l'abstrait, l'analogie agissant comme matériel pré-encodé de compréhension et de structuration des concepts à assimiler.

R M Gagné et l'apprentissage par l'enseignement

Dans sa théorie d'apprentissage, Gagné (1974) a tenté de faire le lien entre le modèle du traitement de l'information et les processus d'apprentissage. Selon lui, plusieurs processus internes sont influencés par une grande quantité d'événements externes.

L'agencement des événements externes est organisé dans le but d'activer et de soutenir ces processus internes. Ils constituent la base de l'activité d'enseignement.

« l'apprentissage est le résultat de l'interaction entre l'apprenant et son environnement. Nous savons que l'apprentissage a eu lieu lorsque nous observons un changement de performance chez l'individu » (Brien, 1976)

Les conditions externes planifiées de façon à affecter le processus d'apprentissage sont ce que Gagné appelle les événements d'apprentissages. L'acte d'apprentissage pour Gagné est constitué de séquences d'événements qui font intervenir des processus internes liés aux récepteurs sensoriels, à la mémoire à court et à long terme et au générateur de réponses. Les processus externes permettent d'activer les principaux processus internes.

Gagné (Brien, 1976) divise l'acte d'apprendre en huit phases où chaque phase est susceptible d'activer un processus interne :

Phases	Processus interne
1. Motivation (<i>Signal Learning</i>)	Expectative
2. Appréhension (<i>Stimulus-Response Learning</i>)	Attention, perception sélective
3. Acquisition (<i>Chaining</i>)	Codification : entrée en mémoire
4. Rétention (<i>Verbal Association</i>)	Emmagasinage en mémoire

5. Rappel (<i>Discrimination Learning</i>)	Repérage et retrait
6. Généralisation (<i>Concept Learning</i>)	Transfert
7. Performance (<i>Principle Learning</i>)	Réponse
8. Feed-back (<i>Problem Solving</i>)	Renforcement.

Le produit de l'apprentissage prend la forme de 'capacités' (capability) qui peuvent être observées et classifiées. Ces capacités sont des 'états permanents', c'est-à-dire des états qui rendent l'individu capable de certaines performances. Gagné distingue cinq classes de 'capacités' apprises (Gagné, 1972, dans Brien 1976) « 1) information verbale, 2) habileté intellectuelle, 3) stratégies cognitives, 4) attitudes et 5) habiletés motrices ». Ces capacités, si elles sont acquises, produisent des résultats observables.

Le tableau suivant, tiré de Brien (1976) donne un exemple pour chaque produit d'apprentissage :

Produit d'apprentissage	Exemple de performance rendue possible par la capacité apprise
Information verbale	Énoncer
Habiletés intellectuelles : <ul style="list-style-type: none"> • Discrimination • Concept concret • Concept défini • Règle Règle d'ordre supérieur	Montrer comment faire ce qui suit : <ul style="list-style-type: none"> • Distinguer • Identifier • Classifier • Démontrer • Générer
Stratégie cognitive	Inventer
Attitude	Choisir
Habileté motrice	

Tableau 2 Exemple de produit d'apprentissage selon Brien (1976)

Gagné (1985) suggère neuf étapes permettant de créer les conditions externes optimales de l'apprentissage permettant d'activer les principaux processus internes chez l'apprenant. Ces neuf événements d'apprentissages sont conçus en tenant compte du type de capacité à enseigner, des prérequis dans la hiérarchie d'apprentissage et des médias appropriés. Les 'capacités' (habiletés ou compétences) à enseigner sont décrites sous forme d'objectifs de performance et leur type d'apprentissage est identifié. L'analyse de tâche est utilisée pour identifier les prérequis et les événements d'apprentissages sont ensuite conçus pour chaque objectif de performance.

Les neuf événements d'enseignement susceptibles de favoriser l'apprentissage selon Gagné (1985) :

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1. Capter l'attention | Présenter la situation problème |
| 2. Présenter l'objectif | Déterminer l'objectif à atteindre |
| 3. Réactiver les pré requis | Rappeler les connaissances déjà acquises permettant de résoudre le problème et atteindre l'objectif |
| 4. Présenter la matière | Présenter, les informations pertinentes reliées à la matière, utiliser les formats appropriés (graphiques, simulations, images etc.) |
| 5. Guider l'étude | Guider par des exemples, des informations complémentaires pertinentes |

- | | |
|----------------------------------|---|
| 6. Faire produire la performance | Pratiquer l'habileté, appliquer la connaissance nouvellement acquise au moyen d'exercices ou activités de consolidation pertinentes |
| 7. Assurer le feed-back | Donner de l'information sur la performance de façon à reconnaître les erreurs, aider à l'identification et proposer une démarche pour corriger les erreurs |
| 8. Évaluer la performance | Créer des situations permettant l'évaluation formative de la performance |
| 9. Mémoriser et transférer | Présenter des situations ou problèmes similaires. Reformuler, faire des synthèses, des rappels, des résumés, récupérer l'information apprise et l'organiser en fonction d'une réponse nouvelle à donner |

Avec son modèle d'événements d'apprentissages qui prennent en compte les processus internes d'apprentissage chez l'apprenant et favorisent le changement dans les structures cognitives, Gagné a permis d'encadrer de façon théorique la conception de séquences d'enseignement. En effet, la complexité de certaines tâches ou de certains concepts, la multitude des savoirs impliqués pour maîtriser certains domaines de connaissances, nous obligent à en décomposer le processus d'acquisition en étapes. Ces séquences articulées autour de hiérarchies consistant en des descriptions d'habiletés et de leurs relations dans l'exécution d'une tâche en partant de la plus simple jusqu'à la plus globale devraient favoriser selon Gagné un apprentissage efficace.

Plusieurs méthodes (White et Frederiksen, 1985; Mendelsohn et Dillenbourg, 1991)

traitent plus ou moins directement du découpage du savoir dans un environnement d'apprentissage, de la notion implicite de stade de développement et, dans une perspective plus didactique, de la méthode pédagogique indispensable à la maîtrise progressive des connaissances complexes.

L'approche de Gagné est un excellent compromis entre un enseignement planifié par le pédagogue et l'activité d'apprentissage géré par l'apprenant. Gagné propose un contexte d'enseignement qui tient compte des processus internes de la cognition et donne aux enseignants les outils leur permettant de créer des balises afin de guider efficacement les apprenants dans leur démarche d'apprentissage.

L'approche de Gagné nous permettra de créer les modules complémentaires en prenant en compte les différentes capacités (habiletés ou compétences) visées dans l'activité de laboratoire. L'analyse de tâche telle que conçue par Gagné nous permettra de cerner les principales tâches impliquées dans notre environnement multimédiatisé d'apprentissage; ces tâches seront conçues afin d'appuyer activement les apprenants dans leur travail et leur démarche d'apprentissage, tout en nous dissociant d'une structure hiérarchique risquant de canaliser étroitement sa démarche cognitive. Il s'agira de créer des modules 'ressources', des modules programmés et disponibles juste à temps, correspondant principalement aux événements d'enseignement suivants : réactiver les prérequis, présenter la matière, guider l'étude, mémoriser et transférer, que l'apprenant devra gérer et appeler au besoin.

Considérations pédagogiques

La réforme du système de l'éducation au Québec

Bien qu'on pense en général qu'elle s'impose, la réforme de l'éducation laisse perplexe un grand nombre d'acteurs du milieu. Pour peu que l'on soit impliqué dans le système éducatif, on sait que le passage de l'enseignement de connaissances à l'apprentissage par compétences suppose un changement de fond dans la pratique éducative. Pourtant, peu de gens semblent capables de dire *comment* ce changement devra s'effectuer.

À partir d'une définition qui fait consensus sur l'apprentissage par compétences, nous établirons les critères dont notre environnement d'apprentissage devra tenir compte pour concrétiser l'approche par compétences.

Pour ce faire, nous identifierons, dans un environnement donné comme l'étude d'un circuit électrique, les principaux paramètres éducatifs qui sont touchés par la réforme. Nous tenterons de répondre aux interrogations qui se posent lors de la mise en place d'un nouveau système : comment pourra-t-on situer les anciens paramètres éducatifs dans ce nouveau système? Seront-ils en rupture? Représenteront-ils plutôt des éléments indispensables qu'il faut replacer dans un autre contexte? Sur quoi pourra-t-on s'appuyer pour aborder la réforme sans pour autant faire table rase d'un système qui avait, malgré tout, ses forces et ses qualités (ne sommes-nous pas pour beaucoup d'entre nous issus de ce système d'enseignement tant décrié maintenant)? Quels sont les moyens dont nous disposons pour soutenir et concrétiser le développement de cette nouvelle approche pédagogique ?

Enseignement de connaissances vs Apprentissage par compétences

L'enseignement par objectifs de performance repose sur l'atteinte d'objectifs d'apprentissage précis, pouvant être mesurés par le biais de comportements observables. Cette approche laisse peu d'ambiguïté dans les buts d'apprentissages poursuivis, elle permet l'évaluation précise de l'efficacité à court terme de l'apprentissage ciblé et de l'enseignement dispensé. L'apprenant est informé sur le contenu d'apprentissage, les moyens dont il dispose pour y parvenir et les critères qui serviront à son évaluation, généralement limité au contenu, de cet apprentissage. Dans ce système, le contenu d'apprentissage était souvent choisi en fonction de la possibilité de mesurer celui-ci par l'évaluation d'un comportement directement observable. Le contenu d'apprentissage était en général fortement décontextualisé, on supposait alors que cette décontextualisation favoriserait le transfert.

Les paramètres les plus importants de cette approche étaient :

- des objectifs d'apprentissage disciplinaires précis et morcelés
- une évaluation en terme de comportements directement observables
- des contenus d'apprentissage décontextualisés
- les processus d'apprentissages et leur organisation étaient entièrement gérés par l'enseignant

Ce système posait plusieurs problèmes : le contenu d'apprentissage était morcelé, découpé en fonction d'une progression supposée optimale de l'apprentissage, ce qui avait comme conséquence première que l'apprenant perdait de vue la finalité globale de l'ensemble des apprentissages, qu'il privilégiait un apprentissage à court terme, basé sur l'atteinte d'objectifs spécifiques. Étant donné que l'on voulait obtenir des

objectifs de connaissances qui soient observables et évaluables avec précision, on tenait peu compte des stratégies cognitives et métacognitives de l'apprenant car elles rencontraient difficilement ces critères. De plus, les contenus étant fortement décontextualisés, les apprentissages étaient peu significatifs (trop abstraits) et perdaient peu à peu de leur sens, au point où l'apprenant avait de la difficulté à les transférer dans la pratique quotidienne.

L'apprentissage par compétences suppose un changement de fond dans l'approche pédagogique. D'un enseignement jusqu'ici centré sur les savoirs disciplinaires, nous tenterons d'instaurer un enseignement visant à produire des compétences chez l'apprenant.

Pour bien mesurer l'ampleur du changement auquel nous sommes confrontés, voyons ce qu'implique l'apprentissage par compétences.

Perrenoud (1997) définit l'apprentissage par compétences comme suit : « c'est la capacité de mobiliser à bon escient, en temps utile, de multiples ressources dont les savoirs théoriques, professionnels et expérientiels, dans une situation de travail ». Il s'agirait donc d'apprentissage de « savoir-faire de haut niveau qui exigent l'intégration de multiples ressources cognitives dans le traitement de situations complexes ».

De cette définition qui, à peu de choses près, fait consensus dans le domaine de l'éducation, nous pouvons dégager certains paramètres nécessaires à une approche par compétences :

- la mobilisation par l'apprenant de ressources (savoirs, savoir-faire, savoir-être)
- des tâches contextualisées
- des situations complexes
- un processus d'apprentissage et son organisation qui soient aux mains de l'apprenant
- un environnement multimédiatisé d'Ex.A.O. qui facilite la prise en charge par l'apprenant du processus d'acquisition des connaissances

Dans cette approche, l'apprenant est placé au centre de son apprentissage : il doit mobiliser les ressources nécessaires à l'accomplissement d'une tâche s'inscrivant dans un contexte réaliste ou, à tout le moins, cohérent avec la nature de l'apprentissage visé.

Cette approche l'oblige à comprendre le sens de ses apprentissages en lui permettant d'utiliser ses savoirs théoriques et expérientiels, ses savoir-faire et savoir-être dans l'accomplissement d'une tâche. Elle lui donne l'occasion de situer et d'utiliser ses apprentissages dans une famille de contextes dans lesquels ses habiletés et ressources sont requises.

Points communs et divergences des deux systèmes éducatifs

Plusieurs points restent communs aux deux systèmes : les savoirs théoriques disciplinaires identifiés et définis dans les programmes d'un enseignement basé sur la performance demeurent des finalités de base, toutefois leur apprentissage ou

appropriation par l'apprenant devra se réaliser dans un environnement qui l'engagera à la recherche de ces savoirs. L'évaluation précise de l'acquisition de ces savoirs, bien que limitative, reste importante à utiliser car elle devra donner des points de repères à l'apprenant tout au long de sa démarche d'apprentissage. Cette évaluation dans un système d'expérimentation assistée par ordinateur doit nous permettre de réorienter l'apprenant au moment précis où il en a besoin. Les savoirs théoriques et surtout méthodologiques comme l'utilisation du graphique ou de l'analogie, doivent être enseignés dans le but de mettre à la disposition des apprenants des outils qui seront réutilisés au besoin lors de la réalisation d'une tâche et non plus dans le seul but d'évaluer la quantité de connaissances acquises lors de l'apprentissage.

L'évaluation sera donc fonction de l'utilisation pertinente et efficace des outils qu'il mobilisera lors de l'accomplissement d'une tâche. De plus, la contextualisation des apprentissages est essentielle pour rendre ceux-ci signifiants. Ils seront alors plus transférables lorsque l'apprenant les mobilisera pour résoudre les problèmes suscités par de nouvelles situations quotidiennes ou professionnelles.

Comme nous l'avons vu précédemment, l'approche cognitiviste nous incite à centrer notre action éducative sur l'apprenant, en lui offrant une grande variété de stimuli contextualisés que l'apprenant gère de façon à élaborer activement ses structures cognitives. La gestion et le processus de l'activité d'apprentissage sont donc laissés, idéalement, aux soins de l'apprenant, ce qui ne nous dispense pas pour autant de la tâche d'enseignement. À ce niveau, nous aurons recours aux théories de Gagné lors de la conception des ressources mises à la disponibilité des apprenants dans notre environnement d'apprentissage, pour répondre aux besoins de l'apprenant.

Résumé synthèse

Dans ce chapitre nous avons pris en considération différentes théories qui permettent de situer notre idée dans le champ de l'apprentissage cognitiviste. En privilégiant l'approche computationnelle, nous avons porté notre attention sur la représentation des connaissances en mémoire afin de justifier l'utilisation de représentations externes et en temps réel par la réduction de la charge cognitive en mémoire. Par ce moyen, on voudrait libérer la mémoire à court terme, ou mémoire de travail, en utilisant le moins possible les processus cognitifs de récupération de l'information en mémoire à long terme afin de laisser plus de place aux processus cognitifs affectés à la résolution de problèmes. Notre idée de recherche s'inscrirait alors très bien dans le modèle des théories de l'information qui nous disent que cette activité de récupération est gérée par la mémoire à court terme. Ce qui appuie notre idée en nous permettant de penser qu'un support externe comme l'écran de l'ordinateur qui présenterait l'information sous forme imagée et graphique (diagramme) utiliserait directement les registres sensoriels sans solliciter la mémoire à court terme puisqu'elle n'aurait pas à rechercher cette information, à l'évoquer ou à la formaliser.

Chapitre 4
Élaboration de l'idée
Modèle d'action

Élaboration de l'idée

Notre environnement d'apprentissage multimédiatisé repose principalement sur les systèmes d'Expérimentations Assistées par Ordinateur. L'ExAO permet de réaliser des expériences scientifiques réelles avec l'aide d'un ordinateur, muni de logiciels de visualisation et de traitement de données, connecté à un dispositif technologique constitué minimalement, d'une interface électronique d'acquisition de données et de capteurs. L'ExAO permet la réalisation rapide et précise d'expérimentations scientifiques en physique, chimie, biologie ou technologie. L'interface est connectée à l'ordinateur par une ligne série.

Les systèmes d'ExAO fonctionnent tous sur le même principe : les capteurs prennent la mesure des grandeurs physiques provenant de l'environnement. Il existe différents capteurs pour différentes mesures : des capteurs d'intensité, de tension électrique, de pH, de température, de distance, de rythme cardiaque etc. Les grandeurs physiques mesurées par les capteurs sont transmises sous forme de signaux électriques analogiques à l'interface électronique qui les transforme en signaux numériques pouvant être codés et traités par l'ordinateur. Le logiciel d'acquisition de données permet de traiter et de présenter simultanément les données converties par l'interface sous différentes formes (vumètre, graphique, tableur, équation mathématique). Le logiciel, en plus de piloter l'interface et de présenter les résultats sous ces différentes formes, pourrait exploiter des présentations virtuelles ou des représentations sous forme d'analogie du phénomène et ce, simultanément lors du déroulement de l'expérience.

Cet environnement permet à l'apprenant de se dégager des manipulations incontournables dans les laboratoires traditionnels liées à la collecte manuelle des résultats et au traitement différé de ceux-ci. Ces manipulations dans un laboratoire traditionnel décentrent l'apprenant du but principal de l'expérimentation en lui imposant une attention constante sur la prise de mesure méticuleuse, cette phase devient une source d'erreur potentielle pouvant fausser les résultats. D'autre part, la distance temporelle imposée entre l'observation, la prise de mesure et le traitement des données, qui sont fait le plus souvent de façon manuelle et hors contexte, augmente la difficulté pour l'apprenant de se représenter le phénomène de façon globale et dynamique. L'ExAO, en permettant la réalisation de ces trois étapes en une seule présente plusieurs avantages :

1. elle centre l'apprenant sur le phénomène à l'étude puisque les aspects triviaux de la mise en œuvre de l'expérience sont marginalisés,
2. elle permet la réalisation rapide de plusieurs expériences sur le même phénomène, donc donne l'opportunité à l'apprenant de tester la reproductibilité du phénomène, d'énoncer et de tester rapidement plusieurs hypothèses connexes,
3. elle permet le transfert des habiletés cognitives et opératoires car le système est identique pour les expérimentations dans différents domaines : physique, chimie, biologie, technologie.

Lors de la mise en œuvre d'une expérimentation assistée par ordinateur, l'apprenant mobilise tout à la fois ses savoirs théoriques, savoirs méthodologiques, savoir-être et savoir-faire pour réaliser une tâche concrète de résolution de problème. En effet, la

démarche expérimentale, soutenue par un dispositif rendant triviale les aspects les plus lourds et parfois marginaux de la préparation de l'expérience, permet à l'apprenant de se centrer sur la tâche à réaliser. Ce dispositif devrait faciliter l'acquisition de ses compétences et l'intégration de ses savoirs. Il peut répéter plusieurs fois en peu de temps la démarche expérimentale, émettre plusieurs hypothèses à l'intérieur d'une catégorie de situations, et les soumettre au processus de la preuve expérimentale. La répétitivité du geste expérimental devrait permettre l'acquisition de compétences méthodologiques, tandis que la génération de multiples hypothèses devrait permettre l'intégration des savoirs théoriques.

Dans une optique cognitiviste, pour libérer la mémoire à court terme (ou de travail) pendant l'activité d'apprentissage ou de résolution de problème, l'ExAO nous permet d'utiliser un support externe à la mémoire (l'écran de l'ordinateur) où sera conservé l'information sous forme iconique (diagramme graphique et image). Nous espérons ainsi pallier aux contraintes de capacité de la mémoire à court terme et faciliter l'acquisition de stratégies cognitives liées à l'apprentissage de concepts abstraits ou complexes.

Plus spécifiquement, dans notre projet, nous voulons profiter du support informatique pour permettre à l'apprenant de visualiser en même temps le phénomène réel, graphique et une représentation analogique de type image animée dont les paramètres structurels principaux réagiront simultanément au phénomène réel.

Depover et al. (1998) citent les travaux de Salomon qui nous paraissent appuyer notre 'idée' voulant que la médiation du phénomène réel par l'analogie représentée

sous forme d'image animée présentée en temps réel pour mieux permettre à l'apprenant d'assimiler la représentation abstraite (diagramme):

« Il serait possible selon Salomon (1974, 1979) de modifier de manière profonde certaines stratégies de prise d'information en amenant, par exemple, des sujets qui privilégient les aspects globaux d'une situation à s'intéresser à certains détails pertinents. Ainsi la présentation d'animations qui simulent la transformation de structures visuelles complexes a entraîné des modifications significatives des résultats des sujets à un test de style cognitif (dépendance-indépendance de champ). Selon l'auteur, les sujets ayant participé à ce type de recherche paraissent avoir internalisé les transformations réalisées par le film à travers le système symbolique dynamique qu'il met en œuvre et sont capables de les utiliser par la suite sans l'aide d'un support externe à l'exploration. Pour désigner cette possibilité associée à certains médias, Salomon parle de supplantation: les médias permettent de suppléer à certaines stratégies déficientes chez l'apprenant ou de modifier certaines stratégies inadaptées à la situation à traiter »(Depover , Giardina et Marton. 1998, p.18).

Environnement multimédiatisé d'apprentissage et approche par compétence

Par le support technologique qu'il utilise, l'environnement multimédiatisé d'apprentissage proposé permet une approche pluridisciplinaire des sciences et technologie. Par le degré d'autonomie qu'il laisse aux apprenants, il permet le changement de paradigme enseignement/apprentissage. En effet, l'apprenant peut prendre en charge l'ensemble de l'activité d'apprentissage, l'enseignant devenant une ressource qu'il doit consulter pour guider son apprentissage.

Le fait qu'il s'appuie sur un dispositif technologique comme l'ExAO pour assurer la démarche scientifique de l'apprenant présente de nombreux avantages dans un système axé sur l'acquisition de compétences. Il permet de développer et/ou d'utiliser différents savoirs, savoir-faire, et savoir-être. De plus, et ce qui est novateur dans

- la mise en œuvre rapide des conditions expérimentales grâce à l'ordinateur permet une répétitivité qui favorise l'intégration des savoirs et le développement de compétences méthodologiques ;
 - l'environnement devrait favoriser l'apprentissage par essais et erreurs ;
 - les composantes communes de l'environnement d'expérimentation devrait permettre à l'apprenant de transférer rapidement ses compétences méthodologiques à différents domaines d'expérimentation (physique, chimie, biologie) ;
- Savoir-être :
 - l'élaboration de protocoles expérimentaux pour tester ses hypothèses obligeront l'apprenant à développer des habitudes de travail méthodique et rigoureux ;
 - l'ExAO permet à l'apprenant de développer une plus grande autonomie ;
 - l'élaboration et la vérification de ses propres hypothèses permet à l'apprenant de développer son initiative et sa confiance en lui ;
 - le travail coopératif sera favorisé par les discussions post-laboratoire et pourra être élargi à une communauté virtuelle.

Ce projet nous permettra de donner une extension au concept de 'lunette cognitive' (Nonnon, 1986) appliquée à des phénomènes physiques concrets, directement

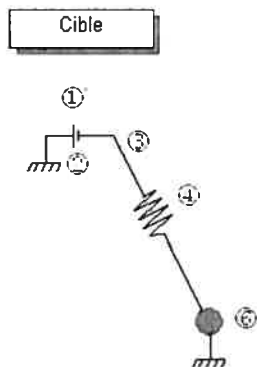
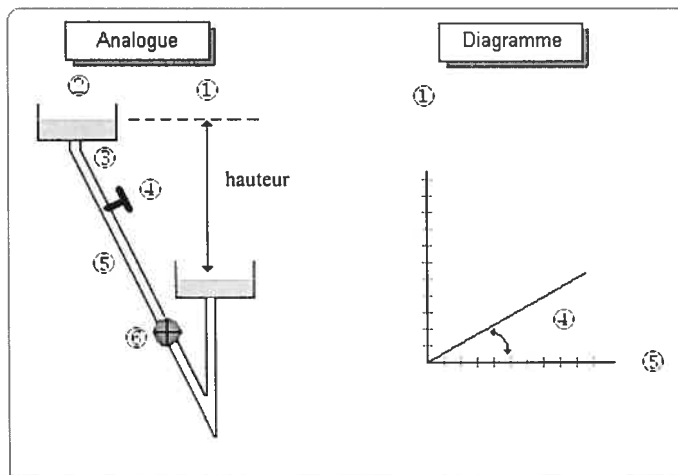
observables en l'étendant à l'étude de phénomènes plus abstraits, non observables comme l'électricité. Nous avons proposé et justifié théoriquement l'utilisation d'un analogue sous forme d'animations virtuelles en temps réel comme outil de médiation entre un phénomène réel mais invisible, et des représentations graphiques abstraites (diagrammes).

Nous allons maintenant décrire sommairement notre modèle d'action qui résumera l'ensemble de notre idée de recherche et de développement et tracera les grandes lignes de la conceptualisation de cet environnement d'apprentissage multimédiatisé.

Modèle d'action

Dans cette recherche, on se propose d'élaborer une nouvelle manière de réaliser une connexion efficace entre les concepts abstraits et les phénomènes scientifiques par l'introduction d'animations virtuelles dans le processus expérimental. Cela nous permettra de bonifier les bénéfices didactiques obtenus dans le contexte de l'ExAO en ayant recours à une imagerie virtuelle en temps réel qui représentera en animation le phénomène. Nous postulons alors que l'élève appréhendera la représentation graphique au contact sensible de cette animation virtuelle, rendant cette représentation plus signifiante, avant de l'utiliser comme outil cognitif pour appréhender le phénomène à l'étude, réel mais invisible. Ainsi, cette imagerie virtuelle servirait d'intermédiaire plus concret pour aider l'apprenant dans l'apprentissage des fonctions graphiques. C'est à ce titre que l'imagerie virtuelle, insérée dans le processus d'apprentissage, deviendrait un outil cognitif de médiation entre le phénomène réel et sa représentation graphique.

RÉALITÉ

REPRÉSENTATION
SUR ÉCRAN D'ORDINATEUR

1. Voltage
2. Pile
3. Fil conducteur
4. Résistance
5. Courant
6. Vitesse du moteur

- Pression d'eau = $f(\text{hauteur})$
 Citerne
 Tuyau
 Valve
 Débit d'eau
 Vitesse de la turbine

- Voltage (Pression)

 Résistance (pente)
 Intensité (débit)

Réalité

Sur le montage, la pression électrique exercée par la pile provoque un courant électrique visualisé par la vitesse du moteur. Ce courant électrique peut être diminué ou augmenté en agissant sur la résistance variable.

Analogue

Sur l'analogue, la pression hydraulique exercée par la différence de hauteur des réservoirs provoque un courant d'eau visualisé par la vitesse de la turbine. Ce courant d'eau peut être diminué ou augmenté en agissant sur la valve.

Diagramme

Sur le diagramme, le voltage est présenté en ordonnée, lorsqu'il augmente, on peut voir le courant électrique augmenter en abscisse. Lorsque la pente de la courbe augmente (résistance), pour un même voltage, le courant correspondant va diminuer en abscisse.

Figure 5. Correspondance un-à-un entre la situation cible et ses représentations

Le tableau 3 nous montre comment cet environnement informatisé d'apprentissage devra réagir aux manipulations de l'apprenant en lui permettant de visualiser en même temps les effets de son action sur le montage réel et à l'écran de l'ordinateur sous forme d'animations virtuelles analogiques et de diagramme graphique.

RÉALITÉ	REPRÉSENTATION SUR ORDINATEUR	
Action réelle	Analogue	Graphique
Lorsqu'on augmente le voltage, on pourra voir simultanément :	la pression augmenter dans le bassin (hauteur d'eau dans le bassin)	la position du voltage augmenter en ordonnée sur le diagramme
Réaction, le courant électrique augmenter (le moteur tourne plus vite)	le débit d'eau augmenter (la turbine tourne plus vite) la valve ne bouge pas	l'intensité du courant en abscisse augmente la pente reste constante.
Action réelle	Analogue	Graphique
Lorsqu'on augmente la résistance, on peut voir simultanément :	la valve tourner dans le sens des aiguilles d'une montre pour se fermer	la pente de la courbe diminuer
Réaction le courant électrique diminue (le moteur ralentit)	le débit d'eau diminue (la turbine ralentit) la pression ne change pas (la hauteur du bassin reste à la même hauteur)	la pente diminue le courant augmente sur l'abscisse

Tableau 3. Exemple des représentations simultanées générées par l'action réelle de l'apprenant

Notre modèle d'action consistera à concevoir concrètement cet environnement multimédiatisé pour l'apprentissage de l'électricité (le déplacement des électrons dans le circuit est un phénomène invisible, donc très abstrait pour l'apprenant). Au moyen d'une interface électronique et de capteurs qui mesureront les variables voltage et courant d'un circuit électrique réel, nous présenterons simultanément (en temps réel) sur l'écran d'un ordinateur, les modifications de chacune de ces variables sur le diagramme et sur la représentation imagée de l'analogie hydraulique du phénomène

de manière à faciliter l'appariement un à un des variables liées à l'électricité avec les variables du circuit hydraulique (voir fig.7 p.49). Ce procédé sera réalisé par :

- un système d'acquisition de données munie de capteurs;
- ce système sera relié à un ordinateur par une voie série;
- le logiciel d'acquisition des données expérimentales analysera et présentera les données en temps réel sous forme de diagramme graphique;
- un logiciel d'animation sera programmé pour permettre de contrôler et paramétrer cette animation virtuelle à partir des données directes ou transformées issues des capteurs;
- l'animation virtuelle et le diagramme graphique seront présentés sur le même écran;
- la visualisation de l'animation virtuelle et du diagramme graphique s'effectuera en temps réel avec le phénomène à l'étude.

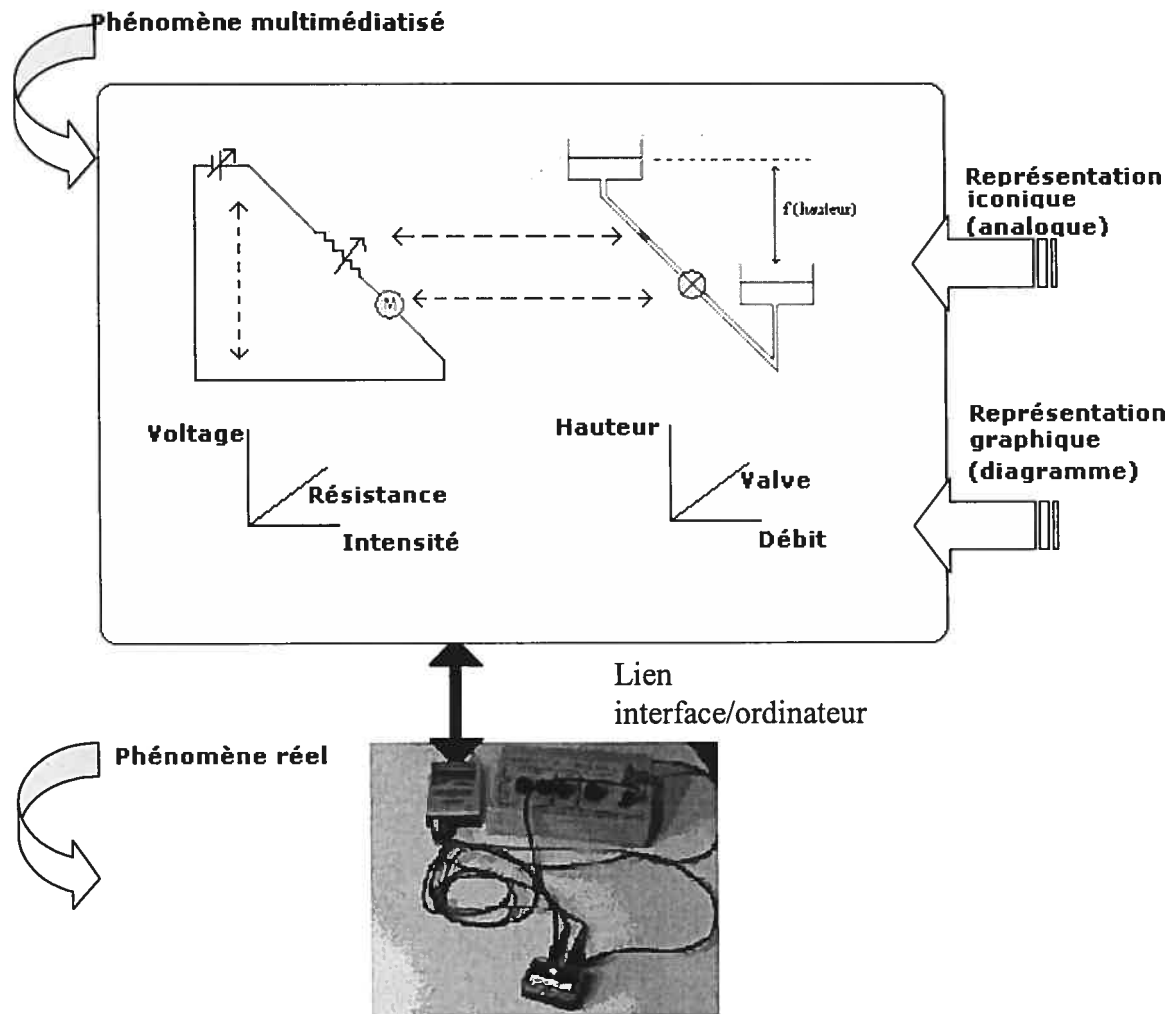


Figure 6 Représentation schématisée des principaux éléments de l'environnement d'apprentissage

L'évaluation de ce système devra porter sur la manière dont l'apprenant appréhende la fonction graphique (abstraite) à l'aide de cet environnement où celui-ci est présenté en contiguïté avec une animation virtuelle.

Ce processus ainsi évalué est une extension pratique du concept de lunette cognitive. Inséré dans une activité d'ExAO, il devrait permettre aux apprenants une meilleure

utilisation du langage de codage graphique pour appréhender et interpréter des phénomènes en science expérimentale et en technologie, particulièrement lorsque ces phénomènes ne sont pas directement observables.

Chapitre 5
Conclusion

Nous avons vu que l'approche cognitive conçoit l'apprentissage comme un processus interne actif permettant à l'apprenant d'élaborer des représentations mentales du monde extérieur, d'organiser ces représentations sous formes de schémas de représentations. L'apprentissage consisterait à modifier ces schémas, lors de l'intégration et de l'assimilation de nouvelles connaissances, et les rendre disponibles pour une utilisation ultérieure. La mémoire à court terme, aussi appelée mémoire de travail, assume la plus grande partie du traitement de l'information (représentée sous forme de schémas transitoires) avant son entrée en mémoire à long terme (représentée sous forme de schémas stabilisés)

Comme nous l'avons vu, les recherches stipulent que les représentations analogiques, sous forme visuelle, permettent d'atteindre trois objectifs importants soit :

1. La forme imagée de la présentation d'un analogue nous permet de réduire la charge mentale de l'apprenant en présentant l'information sous un format plus économique, plus synthétique, rendant ainsi possible l'appréhension de l'information en un seul bloc,
2. L'analogue lui-même, choisi dans un domaine connu de l'apprenant, permet de faire le lien entre les représentations initiales et le domaine cible plus abstrait,
3. Certaines théories cognitivistes supposent que les schémas cognitifs de représentation sont en réorganisation dynamique et se forment au moment où les situations le requièrent ; l'utilisation de l'analogue via un système

d'expérimentation où les informations réelles, symboliques et analogiques sont présentées en temps réel, en contiguïté avec le phénomène à l'étude, devrait augmenter l'efficacité de l'activité de création de schémas cognitifs pertinents à l'apprentissage.

Les développements technologiques nous permettent de concevoir des environnements informatisés virtuels interagissant en temps réel avec l'environnement physique et son utilisateur. La puissance de traitement de l'ensemble des nouveaux ordinateurs jointe à leur grande capacité de stockage des informations nous permet de travailler rapidement avec des environnements traitant des images sophistiquées. Les supports logiciels actuels qui nous sont offerts pour la conception d'animations virtuelles, rend accessible le développement d'un environnement multimédia travaillant en interaction et en temps réel avec un environnement d'ExAO.

L'approche par compétences semble bien engagée et sera mise en place graduellement dans les établissements scolaires. Cette approche prend appui sur les recherches théoriques inscrites dans les courants cognitivistes et constructivistes. Les environnements multimédiatisés d'apprentissage sont particulièrement bien adaptés à cette approche pédagogique. Il devient alors réaliste d'envisager ce changement de paradigme si l'on considère que l'utilisation de l'ordinateur en sciences expérimentales pour appuyer l'apprenant dans sa démarche d'apprentissage, le rendra beaucoup plus autonome qu'auparavant, en lui fournissant un environnement propice à la découverte, à l'observation, à l'expérimentation. Nous avons proposé ici d'enrichir cet environnement en utilisant des analogies sous forme d'animations

virtuelles qui faciliterait la compréhension et l'utilisation de représentations abstraites pour mieux appréhender et modéliser les phénomènes scientifiques.

Bibliographie

- Abram A. (1989). *Behaviorism, neobehaviorism, and cognitivism in learning theory: historical and contemporary perspectives*, Hillsdale, N.J., L. Erlbaum Associates
- Arnaud, G. (1998). *Pierce et le pragmatisme*, date de consultation : septembre 2002, source : <http://perso.wanadoo.fr/a/a/Peirce/pragmatisme.htm>
- Atkinson, R.C., & Shiffrin, R.M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. Dans K.W. Spence (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* Vol. 2 (pp. 89-195). New York: Academic Press.
- Barsalou, L.W. (1982). Context-independent and context-dependent information in concepts. *Memory & Cognition*, 10, 82-93.
- Barsalou, L.W., Medin, D.L. (1986). Concepts: Static definitions or context-dependent representations? *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 6, 187-202.
- Barsalou, L.W. (1991). *Deriving categories to achieve goals*. In G.H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 27, pp. 1-64). San Diego, CA: Academic Press.
- Barsalou, L.W., Yeh, W., Luka, B.J., Olseth, K.L., Mix, K.S., & Wu, L. (1993). *Concepts and meaning*, dans K. Beals, G. Cooke, D. Kathman, K.E. McCullough, S. Kita, & D. Testen (Eds.), *Chicago Linguistics Society 29: Papers from the parasession on conceptual representations* (pp. 23-61). University of Chicago: Chicago Linguistics Society.
- Boswell, D. L., & Picket, J. A. (1991). A study of the internal consistency and factor structure of the Verbalizer-Visualizer Questionnaire. *Journal of Mental Imagery*, 15, 33-36.

- Brien, R. (1976) *Les principes fondamentaux de l'apprentissage, application à l'enseignement*. Éditions HRW, Montréal.
- Brien, R. (1996). *Apport des sciences cognitives à la technologie éducative*, date de consultation : septembre 2002, source
[Http://www.fse.ulaval.ca/fac/ten/reveduc/html/vol1/no1/scco.html](http://www.fse.ulaval.ca/fac/ten/reveduc/html/vol1/no1/scco.html)
- Brien, R. (1998), *Texte 3 : Applications de la psychologie éducative en éducation*, date de consultation : septembre 2002
(http://www.uqtr.ca/act_physique/Psycho/texte3.pdf)
- Brown, J.S., Collins, A., Lugud, P. (1989) Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher* 18 (1), pp.32-42
- Bruner J.S. et al. (1966). *Studies in cognitive Growth*, New-York, Wiley.
- Bruner J.S., (1966). *Towards a theory of instruction*, New-York, W.W Norton.
- Brutsche et Tiberghien in Tiberghien G. et Lecoq P. (1983). *Rappel et Reconnaissance*, Presses Universitaires de Lille éd., Lille.
- Carroll, J.M. (1990). *The Nurnberg Funnel*. Cambridge, MA: MIT Press
- Carroll J.M. (1995). Principles and heuristics for designing minimalist instruction, *Technical Communications*, 42(2), 243-261.
- Cheek, D. (1980). Cité dans , Yuille, J. C., Davies, G., Gibling, F., Marxsen, D., & Porter, S. (1994). Eyewitness memory of police trainees for realistic role plays. *Journal of Applied Psychology*, 79 (6), 931-936.
- Chomsky, N. (1980). *Rules and representations*. New York, Columbia University Press.
- Clark, H. H., Chase, W. G. (1972). On the process of comparing sentences against pictures. *Cognitive Psychology*, 3, 472-517.

- Clark, J.M., Paivio, A. (1991). Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review*, 3, 149-210.
- Clark, R. E., Salomon, G. (1986). Media in teaching. In M. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* Vol. 3, pp. 464-478. New York, NY: Macmillan.
- Clement, C.A., Gentner, D. (1991). Systematicity as a selection constraint in analogical mapping. *Cognitive Science* Vol: 15, 89-132.
- Corson, Y. (1987). Récupération en mémoire d'informations thématiquement liées *Cahiers de Psychologie cognitive European Journal of Cognitive Psychology*, 1987, 7, 1, 35-55
- Craik, F.I.M., Lockhart, R.S. (1972). Levels of processing: a framework for memory research. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 11, 671-684.
- D'Andrade, R. (1995). *The Development of Cognitive Anthropology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Davies, G.M., Thomson, D.M.(1988) *Memory in context: Context in memory*. Chichester: Wiley.
- Deledalle, G. (1979). *Théorie et pratique du signe : introduction à la sémiotique de Charles S. Peirce / Gérard Deledalle avec la collaboration de Joëlle Réthoré*. Paris: Payot
- Deledalle, G. (1995). *John Dewey* 1re éd. Paris : Presses universitaires de France
- Denis, M. (1984). *Imagery and prose: A critical review of research on adults and children*. *Text*, 4, 381-401.
- Denis, M. (1989). *Image et cognition*. Paris: Presses Universitaires de France.

- Depover C., Giardina M., Marton P. (1998). *Les environnements d'apprentissage Multimédia, Analyse et conception*. Paris, L'Harmattan.
- Depover, C., QUINTIN, J-J, DE LIÈVRE, B. (2000). La conception des environnements d'apprentissage : de la théorie à la pratique/de la pratique à la théorie. *ALSIC*, Vol. 3, Numéro 1, juin 2000 pp 3 – 18.
- Document de réflexion de la commission européenne. *Utiliser pleinement les possibilités offertes par les technologies de l'information*, date de consultation : septembre 2002, *source* : <http://europa.eu.int/comm/education/reflex/fr/c5-fr.doc>
- Dunbar, K. (2001). The analogical paradox: why analogy is so easy in naturalistic settings, yet so difficult in the psychological laboratory. In D Gentner, KJ Holyoak, & B.N. Kokinov (Eds.), *The analogical mind*. Cambridge, MIT Press
- Gagné, R. M. (1974). *Essentials of learning for instruction*. (2nd ed.). Hinsdale, IL: The Dryden Press.
- Gagné, R. M. (1985). *The Conditions of Learning and Theory of Instruction*. New York: CBS College Publishing
- Gentner, D (1983). Structure Mapping: A Theoretical Framework for Analogy. *Cognitive Science*, 7.
- Gentner, D., & Gentner, D. R. (1983). Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 99-129). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning in: S. Vosniadou and A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning*, p. 199-241, Cambridge University Press.

- Giardina, M. (1997). *Dans Points de vue sur le multimédia interactif en éducation*, Entretien avec Max Giardina, sous la direction de Claire Meunier, Chenelière McGraw-Hill, Montréal, Toronto, p. 196-214.
- Glick, M. L., and K. J. Holyoak. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology* 15:1-38.
- Gréco, P., Piaget, J. (1959). *Apprentissage et connaissance*, Paris, Presses universitaires.
- Guthrie, E.R. (1935). *The psychology of learning*. New York: Harper & Brothers
- Holyoak, K. J., Thagard, P. (1989) Analogical Mapping by Constraint Satisfaction, *Cognitive Science* 13, , p. 295-355.
- Jacobson M J, Maouri C., Mishra P., Kolar C. (1995). Learning with Hypertext Learning Environments: Theory, Design and Research. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 4.
- Jacquinot, G. (1997). *Dans Points de vue sur le multimédia interactif en éducation*, Entretien avec Geneviève Jacquinot, sous la direction de Claire Meunier, Chenelière McGraw-Hill, Montréal, Toronto, p. 76-93.
- Johnson-Laird P.N. (1983). *Mental Models*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Kosslyn, S. M. (1986). *Mental representation : A dual coding approach*, New York, Oxford University.
- Lakoff et Johnson (1980). *Metaphors We Live By*. University of Chicago Press, 1980.
- Mendelsohn P. et Dillenbourg P. (1991): *Le développement de l'enseignement intelligemment assisté par ordinateur dans Intelligence Naturelle et Intelligence Artificielle*, Paris: Presses Universitaires de France, pp. 231-256.

- Mendelsohn P. et Dillenbourg P. (1996) *Les environnements d'apprentissage*, document électronique, date de consultation : mars 2003
source :<http://tecfa.unige.ch/tecfa/research/pnr33/report/nti-ch-27.html>
- Minsky, M. (1975). *A framework for representing Knowledge in The Psychology of Computer Vision* , P.H. Winston (editor), McGrawHill.
- Nonnon, P. (1986). *Laboratoire d'initiation aux sciences assisté par ordinateur*, Université de Montréal.
- Nonnon, P. (1993). *Proposition d'un modèle de recherche de développement technologique en éducation*, Regards sur la robotique pédagogique. Technologies nouvelles et éducation. Publication du service de technologie de l'éducation de l'Université de Liège et de l'institut national de recherche pédagogique, Paris, pp. 147-154.
- Ormrod, J.E. (1995). *Human Learning* (2nd Ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Paivio, A. (1971). *Imagery and Verbal Processes*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Paivio, A. (1986). *Mental representation: A dual coding approach*, New York, Oxford University Press.
- Peirce, C.S. (1978) *Écrits sur le signe*. Paris : Seuil (coll. :L'ordre philosophique), Rassemblés, traduits et commentés par Gérard Deledalle.
- Perkins D., Salomon G. (1989). Are cognitive skills context-bound . *Educational researcher*, 1989 february, pp. 16-25
- Perrenoud, Ph. (1997) *Construire des compétences dès l'école*, Paris, ESF (2e éd.1998).

- Piaget J. (1959). *La formation du symbole chez l'enfant* Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- Piaget, J. (1966). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. (5e éd.) Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- R. Langacker, (1987). *Foundations of Cognitive Grammar*. Stanford University Press.
- Rieder, R. W. (1997). *Collected works of L.S. Vygotsky*. Vol.4: The history of the development of higher mental functions. New York, NY: Plenum Pub
- Rumelhart, D. E. (1984). Schemata and the Cognitive System, dans *Handbook of Social Cognition*, sous la direction de R. Wyer et T. Srull, Hillsdale (N.J.), Lawrence Erlbaum Associates.
- Rumelhart, D.E et Norman, D.A. (1983) *Representation in memory*. Univ. of California: Center for human information processing.
- Rumelhart, D.E. & Norman, D.A. (1978). Accretion, tuning and restructuring : three modes of learning. In R.C. Anderson, J.W. Cotton & R. Klatzky (Eds.), *Semantics factors in cognition*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.
- Rumelhart, D.E., Ortony, A. (1977). *The representation of knowledge in memory, Schooling and the Acquisition of Knowledge*, Hillsdale, New Jersey: Erlbaum Associates.
- Salomon, G. (1979), *Interaction of media, cognition, and learning* : [an exploration of how symbolic forms cultivate mental skills and affect knowledge acquisition] San Francisco, Calif. : Jossey-Bass
- Saussure, F. (1915). *Course in general linguistics*. New York: McGraw-Hill
- Schank, R. (1982). *Dynamic Memory*. Cambridge Univ. Press.

- Spiro, R.J. (1988). *Cognitive flexibility theory: Advanced knowledge acquisition in ill-structured domains*. Hillsdale, NJ, Erlbaum.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- Sweller, J., Chandler, P. (1991). Evidence for cognitive load theory. *Cognition and Instruction*, 8, 351-362.
- Tardif, J. (1997). *Pour un enseignement stratégique*. Montréal, Les éditions logiques.
- Tiberghien, G. (1991). Psychologie de la mémoire humaine. In M. Van Der Linden & R. Bruyer (Eds.). *Neuropsychologie de la mémoire humaine* (pp. 9-37). Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble.
- Tricot, A. (2002) *Charge cognitive et apprentissage, une présentation des travaux de Sweller*, date de consultation : septembre 2002, source : <http://tecfa.unige.ch/~mireille/A.Tricot-Sweller.html>
- Van der Maren, J.M. (1998). La recherche pédagogique, introduction aux recherches appliquées en enseignement. *Document de référence* pour le cours ETA 6031, Université de Montréal.
- Wadsworth, B. J.(1984). *Piaget's theory of cognitive and affective development* / Barry J. Wadsworth ; with drawings by the author, New York : Longman, 3rd ed.
- White, B.Y. and Frederiksen, J.R. (1985) - QUEST: Qualitative Understanding of Electrical System Troubleshooting. *ACM Newsletter*, 93, 34-37.