

# Logiciels de construction de cartes de connaissances : des outils pour apprendre

Auteur(es) : Béatrice Pudelko, Josianne Basque

## Résumé

---

Ce dossier traite des usages possibles de logiciels de construction de cartes de connaissances à des fins d'apprentissage dans un cadre de formation universitaire ou de formation continue. Ces logiciels permettent à l'étudiant de représenter graphiquement un ensemble de connaissances sous forme d'un réseau de nœuds et d'arcs. Le dossier présente quelques logiciels dédiés à la construction de cartes de différents types, mais surtout une revue de stratégies d'enseignement intégrant ces outils ainsi que quelques conseils pour les planifier. Enfin, il résume les principaux avantages et difficultés de la construction des cartes de connaissances au plan cognitif.

## Abstract

---

This article examines the possible uses of concept mapping software in a university or continuing education context. Concept mapping applications allow the student to graphically represent compiled information as a network of nodes and vectors. The article looks at several applications that may be used to make different kinds of maps, but mainly reviews teaching strategies that incorporate these tools as well as providing a number of planning pointers. It also summarizes the main advantages and difficulties at a cognitive level in constructing concept maps.

## Définition

---

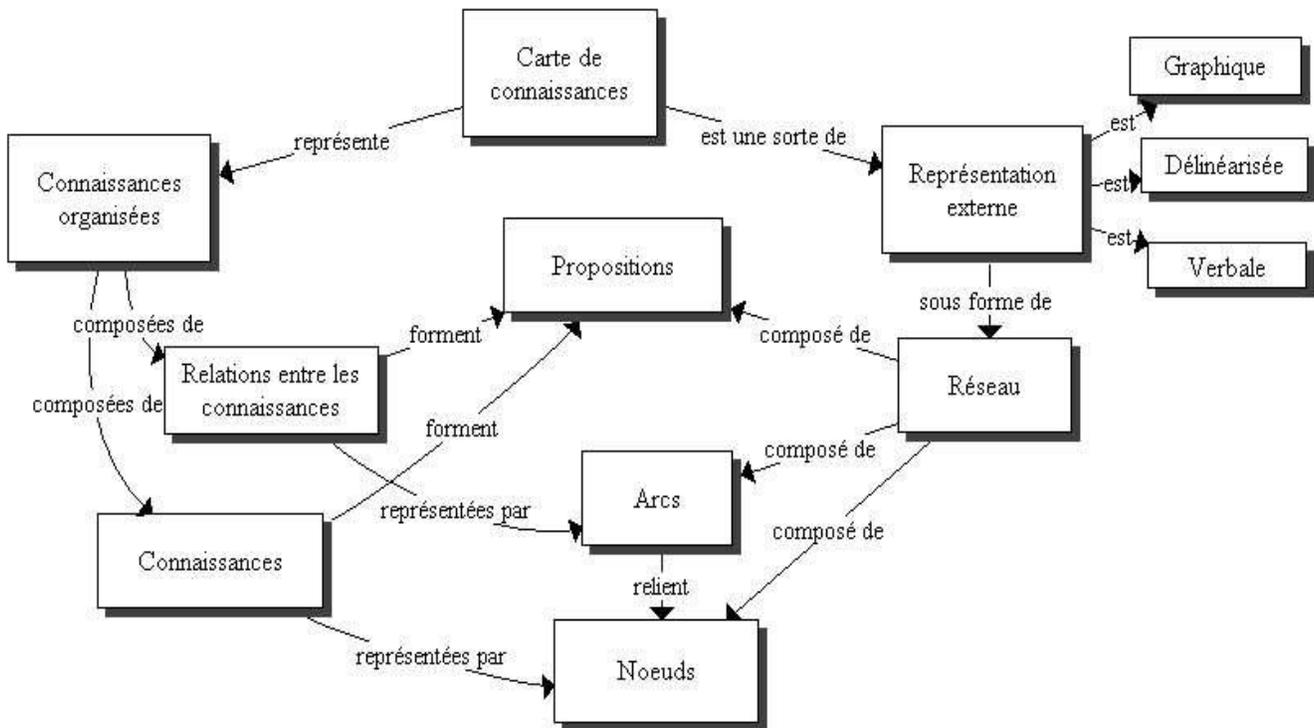
Une carte de connaissances est une représentation graphique d'un ensemble de connaissances d'un domaine. Elle se différencie d'une représentation textuelle par sa structure délinéarisée, qui prend la forme d'un réseau graphique. En effet, dans une carte de connaissances, les connaissances sont représentées de manière schématique et bidimensionnelle sous la forme d'un réseau de *nœuds* et d'*arcs*. Les nœuds représentent les idées importantes ou les connaissances, et les arcs, les relations (ou liens) que le concepteur de la carte établit entre les connaissances.

Les connaissances (ou nœuds) sont représentées au moyen d'un mot ou d'un ensemble de mots, alors que les relations (ou arcs) sont représentées au moyen de traits simples ou fléchés de manière à donner une direction aux relations établies. On peut aussi placer des étiquettes textuelles sur les traits, de manière à spécifier davantage la nature des liens établis entre les connaissances.

La triade « nœud-arc-nœud » forme ce que l'on appelle une proposition. La proposition est l'unité de signification de base d'une carte de connaissances. Celle-ci peut être jugée valide ou non valide dans un contexte donné. Par exemple, un lien portant l'étiquette *est une sorte de* pourrait lier une connaissance appelée *carte de*

connaissances à une autre connaissance appelée *représentation externe des connaissances* ; la triade « *carte de connaissance - est une sorte de - représentation externe des connaissances* » constitue alors une proposition. Cette proposition s'avère valide (alors que la proposition inverse serait non valide).

On retrouve cette proposition dans la Figure 1 qui présente une carte de connaissances représentant le domaine... des cartes de connaissances !



**Figure 1 : Une carte de connaissances représentant le domaine des cartes de connaissance (réalisée avec le logiciel *MOT*)**

Un tel type de représentation de connaissances est désigné par des termes variés : carte conceptuelle (*concept map*) (sans doute le terme le plus utilisé à ce jour), carte ou réseau sémantique (*semantic map, semantic network*), réseau de connaissances (*knowledge network*) ou encore modèle de connaissances (*knowledge model*). Il existe certaines nuances entre ces représentations mais nous adoptons, pour notre part, l'expression plus générique de *carte de connaissances* que nous définissons ainsi : « **Une carte de connaissances est une représentation d'un domaine de connaissances prenant la forme d'un réseau d'objets graphiques, élaboré selon une convention de représentation préalable** ».

On peut réaliser des cartes de connaissances sans recourir aux outils informatisés, en les traçant au crayon directement sur une feuille de papier ou en utilisant des feuillets adhésifs (*post-it*). On peut aussi construire des cartes de connaissances avec des logiciels tels que Word, Visio ou PowerPoint ou avec des logiciels de dessin. Mais les outils informatisés dédiés spécifiquement à cette fin (*computer-supported concept*

*mapping*) dont il est question dans ce dossier offrent des avantages évidents : facilité de création et de modification de la carte, possibilité de stockage, modes variés de visualisation de la carte, fonctions de recherche, possibilité de création de sous-cartes, rattachement de textes, images ou clips vidéo aux noeuds et aux liens, construction collaborative d'une carte à distance, évaluation automatisée des cartes, conversion des cartes en liste textuelle ou tableau, etc.

Dans ce dossier, nous traitons de l'usage qu'il est possible de faire de ces logiciels de construction de cartes de connaissances en contexte d'apprentissage et plus spécifiquement d'activités d'apprentissage intégrant la construction de cartes de connaissances, destinées essentiellement à une clientèle adulte dans un cadre de formation universitaire ou de formation continue. Ces logiciels constituent des « outils métacognitifs » car ils supportent et favorisent, chez les étudiants, la réflexion sur leurs propres processus cognitifs et sur leur démarche d'apprentissage dans un domaine de connaissances (Lin, Hmelo, Kinzer et Secules, 1999), et ce, quel que soit le domaine d'apprentissage.

## **Forme**

---

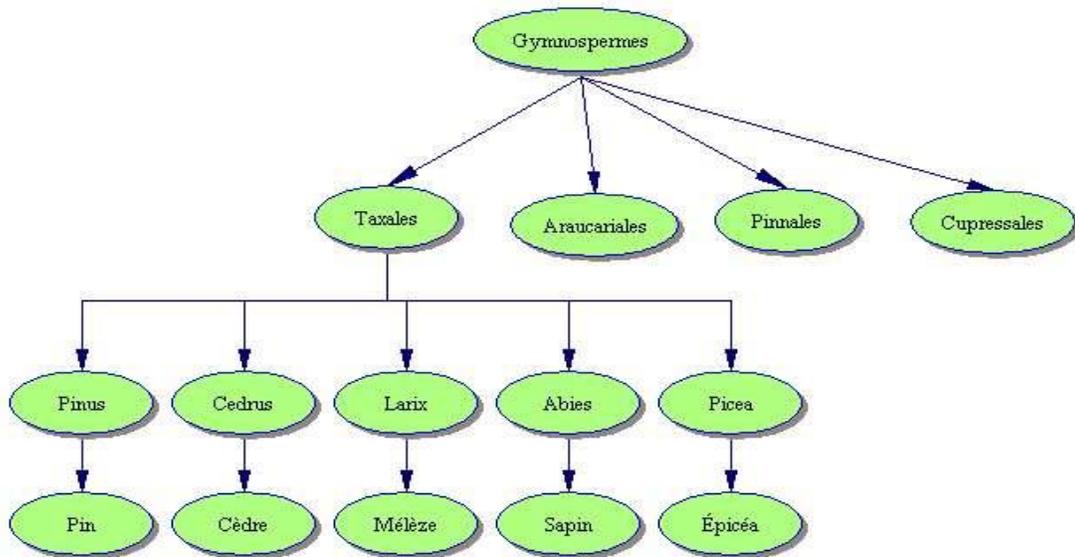
Les cartes de connaissances peuvent varier en fonction : (1) de leur structure générale, (2) du mode de représentation des noeuds (connaissances), et (3), du mode de représentation des arcs (relations). Les logiciels de construction de cartes de connaissances se distinguent notamment par la façon dont ils déterminent ou structurent ces différents aspects.

### **1) Types de structures des cartes de connaissances**

Certains logiciels imposent un type spécifique de structure à la carte, alors que d'autres permettent d'élaborer différentes structurations de connaissances, au choix de l'utilisateur. On distingue notamment les structures suivantes :

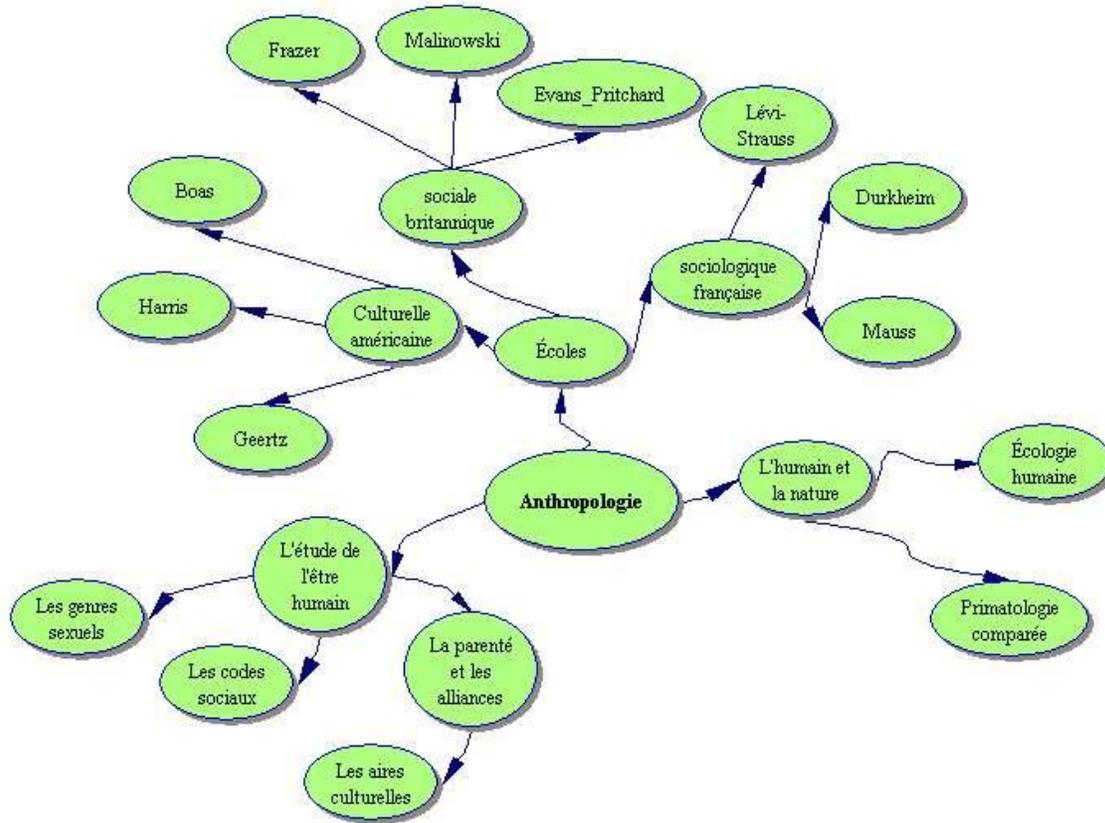
- une structure en *arbre* hiérarchique. Ce type de carte est particulièrement approprié pour représenter des ensembles de connaissances structurés selon une

hiérarchie d'inclusion de classes, tels que des classifications (voir la Figure 2).



**Figure 2 : Un exemple de carte de connaissances structurée en « arbre » (élaborée avec le logiciel *Inspiration*)**

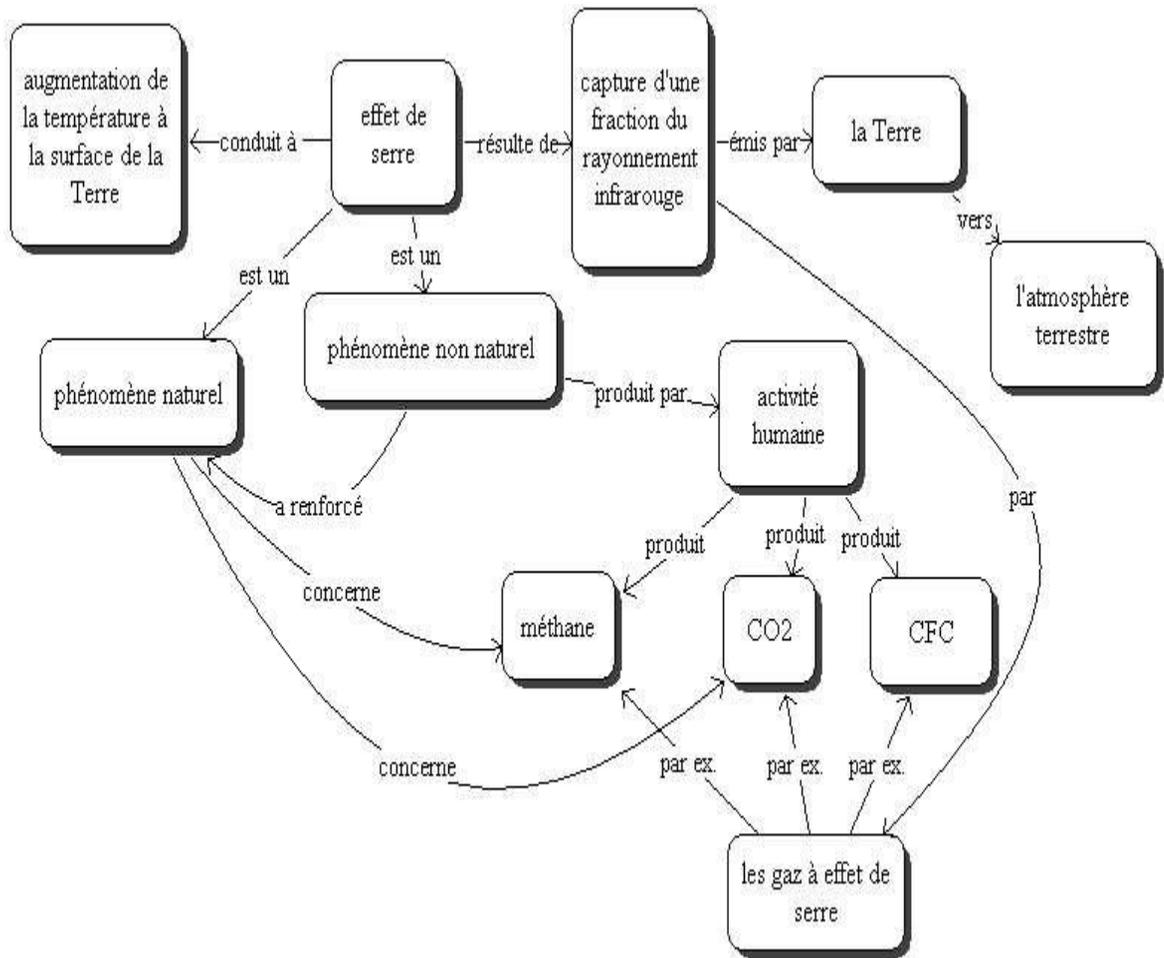
- Une structure en *étoile*. La carte contient un concept central à partir duquel se ramifient les autres connaissances de façon non hiérarchisée (voir la Figure 3).



**Figure 3 : Un exemple de carte de connaissances structurée en « étoile »  
(élaborée avec le logiciel *Inspiration*)**

- Une structure en *réseau*. Dans ce type de structure, les liens tiennent une place prédominante (voir la Figure 4). Ainsi, une connaissance peut être reliée à plusieurs autres connaissances ou bien deux connaissances peuvent être reliées par plus d'un lien. Par conséquent, il devient important d'attribuer une signification à chaque lien, ce qui peut se faire soit en nommant soi-même le lien (habituellement avec un verbe), soit encore en sélectionnant une étiquette parmi une liste de relations prédéfinies dans le

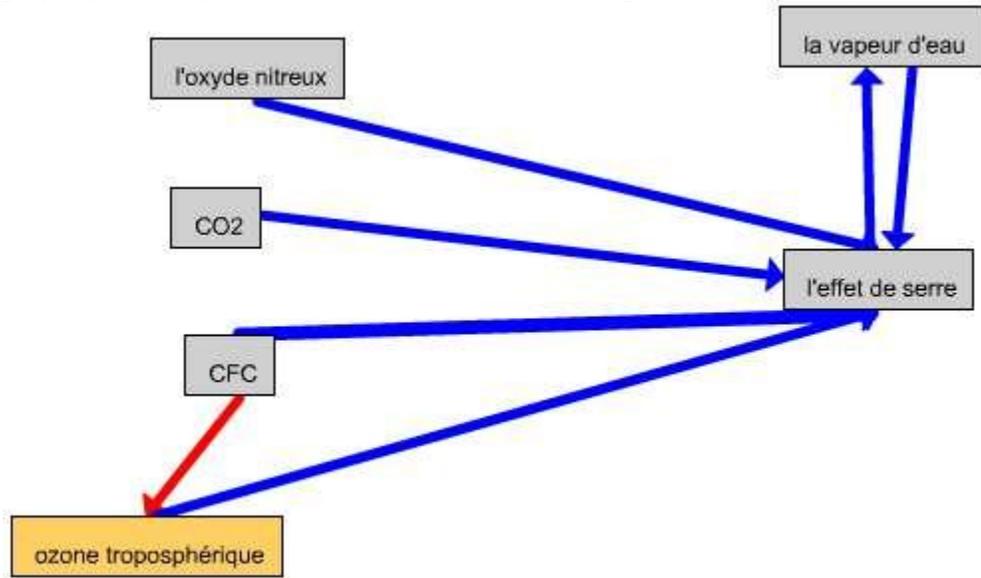
logiciel.



**Figure 4 : Un exemple de carte de connaissances structurée en « réseau »  
(élaborée avec le logiciel *MOT*)**

- Une structure *causale*. Ce type de structure met l'accent sur la représentation des relations causales qui sont représentées au moyen de liens fléchés, étiquetés ou non. L'importance plus ou moins grande du facteur causal peut être représentée

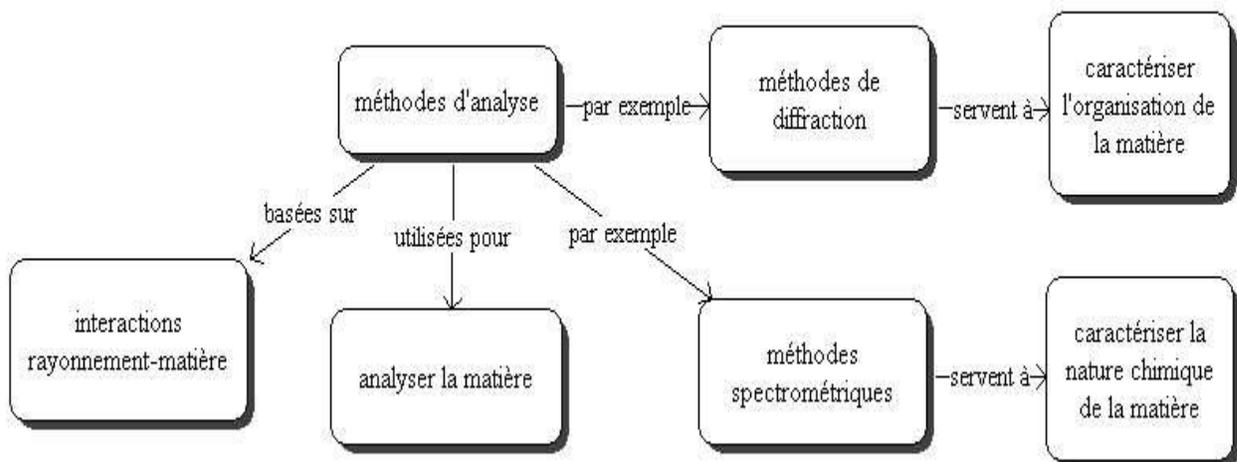
graphiquement par un indice visuel tel que la largeur de la flèche (voir la Figure 5).



**Figure 5 : Un exemple de carte causale de connaissances (élaborée avec le logiciel *Seeing Reason*)**

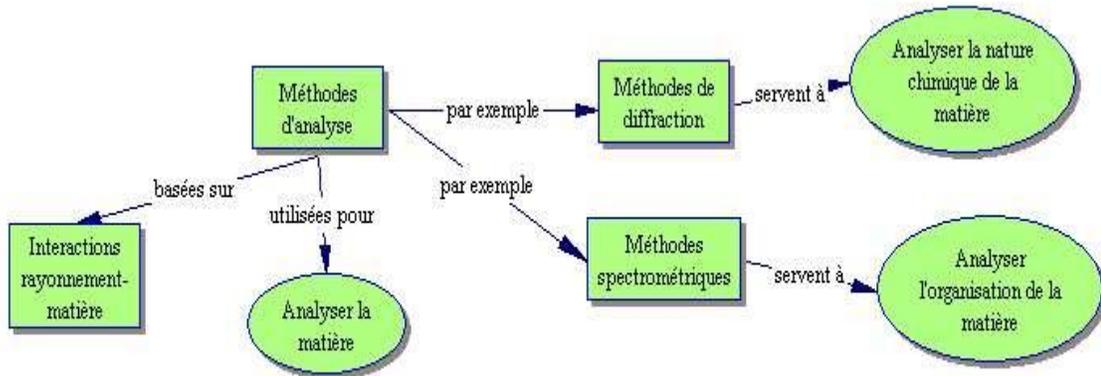
## 2) Types de représentations utilisées pour les noeuds

Dans tous les cas, les noeuds (les connaissances) sont représentés par des expressions plutôt brèves (un mot ou plusieurs mots), généralement entourées d'une forme graphique. Souvent, une seule forme graphique est utilisée pour représenter toutes les connaissances dans une carte. Dans ce cas, les types de connaissances ne sont pas distinguées entre elles : elles sont dites « non typées » (voir la Figure 6).



**Figure 6 : Une carte de connaissances non typées (élaborée avec le logiciel MOT).**

Dans d'autres cas, différentes formes graphiques (rectangles, ovales, etc.) sont utilisées à titre d'indices visuels permettant de distinguer différents types de connaissances. On dit alors que les connaissances sont « typées ». Ainsi, dans l'exemple représenté à la Figure 7, deux types de connaissances sont distinguées : des connaissances procédurales (ou *processus*) (représentées par des ovales) et des connaissances conceptuelles (ou catégories d'objets concrets ou abstraits) (représentées par des rectangles).

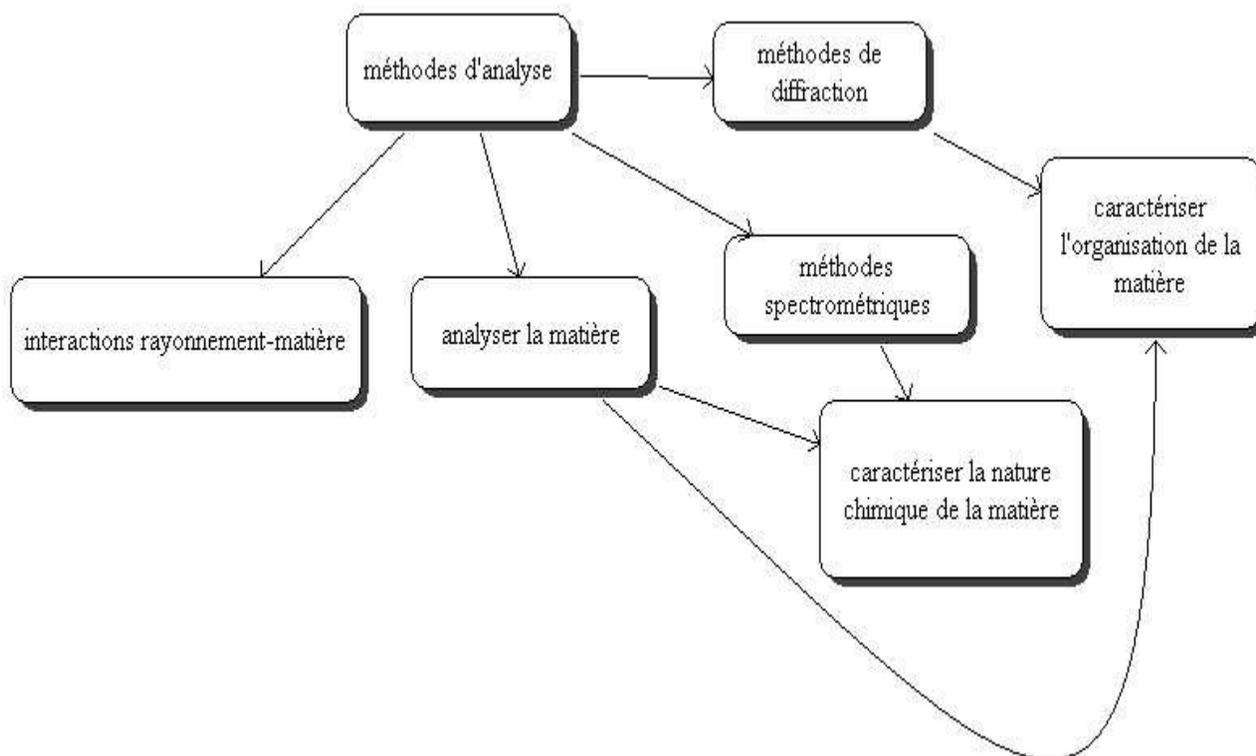


**Figure 7 : Une carte de connaissances typées (élaborée avec le logiciel Inspiration)**

### 3) Types de représentations utilisées pour les arcs

La plupart des logiciels permettent d'indiquer la direction des liens et de les nommer pour exprimer plus spécifiquement la signification de la relation entre les connaissances. La carte de la Figure 8 présente le même domaine des connaissances que celui représenté à la Figure

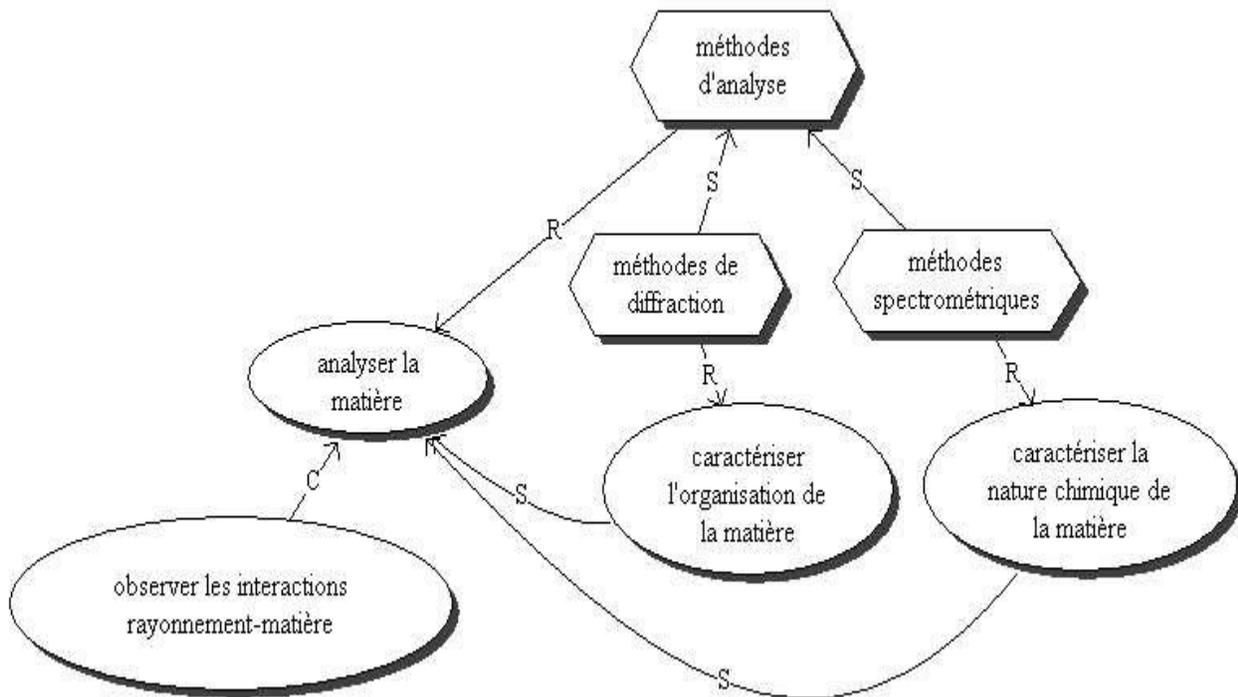
6 (soit celui des « méthodes d'étude de la matière »), mais à l'aide de liens non étiquetés.



**Figure 8 : Une carte de connaissances non typées avec des liens non étiquetés (élaborée avec le logiciel MOT)**

Comme on peut distinguer les types de connaissances, on peut aussi « typer » les liens. À la Figure 9, on retrouve la même carte de connaissances que celle présentée à la Figure 7, mais avec une représentation « typée » tant des connaissances que des liens. Dans cette carte, on retrouve trois types de liens : des liens de *composition* (C), des liens de *régulation* (R) et des

liens de *spécialisation* (S) (qui expriment la relation « est une sorte de »).



**Figure 9 : Une carte de connaissances avec des connaissances et des liens typés (élaborée avec le logiciel MOT)**

Il est à noter que la majorité des outils de construction de cartes de connaissances actuels ne proposent pas de typologies prédéfinies de connaissances ou de liens. Ceux qui proposent une typologie de liens (ex. : *Model It*, *MOT*, *SemNet*, *Belvedere*) fournissent à l'utilisateur un menu présentant des catégories de liens. Le logiciel *MOT* propose, quant à lui, à la fois une typologie de connaissances et une typologie de liens.

## Exemples

Le nombre de logiciels de construction de cartes de connaissances de toutes sortes est en progression constante (Basque, Rogozan et Pudelko, 2004). Pour une revue des caractéristiques principales des outils, on peut consulter Basque et Pudelko (2003a). Nous présentons ci-dessous quelques logiciels conçus pour un usage éducatif et disponibles gratuitement ou sous licence.

### Logiciels de construction de cartes de connaissances de structures variées

Ces logiciels permettent de créer des cartes de connaissances structurées de diverses façons, dépendamment du but visé par l'utilisateur.

- Belvedere : Outil développé par l'équipe d'Alain Lesgold et Dan Suthers (Learning and Resource Development Center, University of Pittsburgh) (Windows, Mac et Linux). Il propose une typologie de trois liens et une typologie de trois objets et permet d'élaborer, en plus de cartes de connaissances en réseaux, des cartes *argumentatives* ou *causales* supportant une démarche d'expérimentation scientifique (*scientific inquiry*).
- Cmap Tools : Outil développé à l'Institute for Human and Machine Cognition (IHMC, University of West Florida) (Windows et Mac). Il permet la création de cartes de connaissances structurées en réseau, sans proposer de typologies de liens et de connaissances. Il permet d'attacher des documents de différents formats (vidéo, texte, image, etc.) aux connaissances.
- Inspiration : Développé par Inspiration Software (Oregon) (Windows et Mac). Ce logiciel permet de construire des représentations graphiques en réseau et en arbre, en utilisant des liens et des connaissances non typés. L'utilisateur peut choisir, dans une « librairie », des icônes pour symboliser les connaissances et modifier leurs attributs graphiques. Il peut aussi intégrer dans la carte des documents de différents formats (vidéo, texte, image, etc.).
- MOT : Outil développé par l'équipe de Gilbert Paquette au Centre de recherche LICEF (Télé-université, Montréal) (Windows) (Paquette, 2002). MOT est un acronyme pour « modélisation par objets typés ». Ce logiciel offre à l'utilisateur un ensemble de formes graphiques pour distinguer quatre types de connaissances (*concept, processus, principe et fait*) et une typologie de six liens (*composition, spécialisation, précédence, intrant/produit, régulation et instanciation*). Il est aussi possible de ne pas utiliser les typologies prédéfinies. On peut créer des « sous-cartes » associées aux connaissances apparaissant dans un premier niveau de la carte. MOT permet également d'attacher divers fichiers aux noeuds de la carte et d'exporter la carte dans un autre fichier, dans une base de données ou dans un fichier XML.
- PiViT : Outil développé par l'équipe de Joseph Krajcik et Elliot Soloway (Project-Based Science group, University of Michigan) (Windows et Mac). Il permet de créer soit des cartes de connaissances en réseau (où les connaissances peuvent être « typées » ou non), soit des cartes représentant le plan du cours d'un projet en sciences (du point de vue d'un enseignant). Cet outil ne permet pas d'attacher aux connaissances des fichiers ou des hyperliens. Il possède en revanche une fonction qui permet de « rejouer » le processus de construction de la carte.
- SemNet : Développé par l'équipe de Kathleen Fisher et Joseph Faletti (SemNet Research Group, San Diego) (Mac). Permet différents types de représentation des connaissances (réseau, arbre) à l'aide de deux types de connaissances et de liens nommés par l'utilisateur. Cet outil permet de convertir la représentation graphique en représentation textuelle. Il inclut différentes fonctionnalités d'évaluation quantitative des cartes (par exemple, calcul du nombre de liens, identification du concept le plus souvent utilisé). Le logiciel permet d'intégrer des fichiers d'images.

## Logiciels de construction de cartes causales

Ces logiciels permettent de représenter des relations de cause à effet dans l'objectif de favoriser chez des étudiants la compréhension des relations entre les éléments de systèmes complexes.

- *Model-It* : Outil développé au Center for Highly Interactive Computing in Education (University of Michigan). L'étudiant construit une carte représentant des *objets* (connaissances) sous forme d'icônes ou d'images qu'il peut choisir à son gré. Il définit ensuite des variables pour chaque connaissance représentée et les relations causales entre les connaissances. Il peut par la suite simuler le comportement dynamique du système selon les variables et les paramètres de la relation causale qu'il aura définis (fonction *Play*).
- *Seeing Reason* : Adapté d'une application développée au CILT (Center for Innovative Learning Technologies, Californie) par Intel (utilisation gratuite en ligne après inscription). Les connaissances représentées sont des choses ou des événements qui ont une influence dans le système qui fait l'objet de la représentation. Les relations expriment la direction de l'influence (par des traits fléchés), la nature de la relation (la couleur bleue est utilisée pour indiquer une influence positive et la couleur rouge, une influence négative) ainsi que la force de la relation (un trait épais indique une forte relation, alors qu'un trait mince indique une faible relation).

## Potentiel pédagogique

---

En quoi l'activité de construction de cartes de connaissances serait-elle favorable à l'apprentissage chez l'étudiant qui élabore ces cartes ? Nous passons ci-dessous en revue quelques avantages de la construction des cartes de connaissances rapportés dans la littérature. Nous mentionnerons par la suite quelques difficultés susceptibles d'être éprouvées par les étudiants lors d'une telle activité.

### Les avantages de la construction des cartes de connaissances

- ▶ *Des apprentissages signifiants* : Selon Ausubel (1968), la création de liens entre les connaissances est fondamentale dans le processus de construction de connaissances puisqu'une information ne peut devenir une connaissance tant qu'elle n'est pas reliée de façon signifiante aux connaissances antérieures d'un individu. C'est d'ailleurs en s'appuyant sur cette théorie que les premiers usages de la carte conceptuelle en éducation ont été élaborés dans les années 1980 (Novak et Gowin, 1984).
- ▶ *Une aide à la structuration des connaissances* : Le fait de nommer les connaissances incluses dans la carte et de rendre explicites et plus précises des associations implicites et souvent confuses de mots favorise la construction de significations (Fisher, 2000) ainsi que l'organisation des connaissances en structures mentales cohérentes.
- ▶ *Un traitement interne actif des connaissances* : L'activité consistant à faire construire des cartes de connaissances incite l'apprenant à créer et à réviser constamment ses représentations internes (Anderson-Inman et al., 1998). Pour Anderson-Inman et Zeitz (1993), l'activité de création de cartes conceptuelles constitue une « *stratégie d'étude* »

*active pour des apprenants actifs* ». Pour Jonassen (Jonassen et Marra, 1994 ; Jonassen, 1998 ; Jonassen, 2000), l'activité de construction d'une carte de connaissances incite les apprenants à s'engager dans des processus de traitement profond des connaissances visées.

► *Un outil d'amplification cognitive* : Pour McAleese (1998) et Fisher (1990), la carte de connaissances constitue une extension de la mémoire de travail et permet ainsi de réduire la charge de traitement cognitif.

► *Un moyen de favoriser la pensée réflexive* : La carte de connaissances permet à l'apprenant d'adopter une position d'observateur face à ses propres connaissances et à ses processus cognitifs. C'est un excellent exercice pour apprendre à « *manier les idées* » (Novak et Gowin, 1984).

► *Un outil d'autorégulation cognitive* : La construction de cartes de connaissances peut faire émerger chez l'individu ce que Piaget a appelé des *conflits cognitifs* pouvant mener au changement conceptuel (Tsai, 2000). Placé devant de tels conflits, le sujet met en œuvre un processus d'autorégulation cognitive, conçu comme un processus intentionnel de résolution de tensions internes entre les représentations mentales de l'apprenant et leur représentation externe (McAleese, 1998). C'est pourquoi, pour Novak et Gowin (1984), l'activité de construction d'une carte conceptuelle permet d' « *apprendre à apprendre* ».

► *Une aide à la compréhension et à la mémorisation d'une représentation du domaine décrit dans un texte* : Des recherches ont mis en évidence le rôle facilitateur de la création de cartes de connaissances pour la lecture et la mémorisation (Breuker, 1984).

## **Les difficultés de construction de cartes de connaissances**

De manière générale, les étudiants mettent du temps à se familiariser avec un nouveau mode de représentation des connaissances et certains y sont réfractaires. Il faut dire que les représentations textuelles sont nettement favorisées tout au long du parcours scolaire et que la formation à la production de représentations graphiques de connaissances est quasi absente des programmes. En outre, l'enseignement de relations complexes entre les concepts est souvent négligé au profit d'une présentation de concepts sous forme de définitions ou de descriptions isolées et détachées du contexte (Faletti et Fisher, 1996). C'est pourquoi si l'exercice favorise un traitement mental profond de l'information, il peut aussi causer une surcharge cognitive chez les étudiants débutants (Chang, Sung et Chen, 2002).

Plusieurs auteurs s'accordent pour dire que la difficulté la plus grande dans l'élaboration de cartes de connaissances en situation d'apprentissage est l'étiquetage des liens entre les connaissances (Basque, Pudelko et Legros, 2003 ; Jo, http ; Novak et Gowin, 1984 ; Fisher, 1990 ; Roth et Roychoudhury, 1992). Selon Fisher (1990), les étudiants tendent soit à ne pas nommer les liens ou à utiliser des termes très généraux, soit encore à multiplier les noms pour des relations dont la signification est proche ou synonyme. Ces difficultés sont dues au fait que bien qu'habituellement nous *percevons* les relations, nous ne les *conceptualisons* pas nécessairement, à moins d'y être contraints par la situation ou par la tâche. Il faut dire que la conceptualisation des liens constitue un subtil

dosage entre généralisation et discrimination des relations entre les connaissances, afin de parvenir à une représentation à la fois économique et exhaustive du domaine.

## **Démarche de production**

---

La démarche de développement d'une activité d'apprentissage faisant appel aux outils informatiques de construction de cartes de connaissances est similaire à celle mise en jeu pour toute autre activité d'apprentissage. Au cours du processus de création du scénario pédagogique, le professeur devra prendre notamment des décisions sur les aspects suivants :

► *L'objectif principal de l'activité* qui peut consister à :

- Construire une carte de connaissances pour représenter une vue schématique d'un domaine ou d'un problème ou encore pour répondre à une question. Dans ce cas, les étudiants doivent représenter aussi bien les connaissances que les relations entre celles-ci.
- Construire une carte de connaissances à partir d'une liste de connaissances-clés présélectionnées par le professeur. Habituellement, la liste fournie à l'étudiant comporte entre 10 et 20 concepts-clés.
- Compléter une carte de connaissances « tronquée », dans laquelle manquent certaines connaissances ou certains liens. Ce type d'activité peut constituer une activité d'apprentissage, mais est également approprié pour répondre à un objectif d'évaluation ou d'autoévaluation des connaissances.

► *La provenance des connaissances à représenter* : Les connaissances à représenter peuvent être puisées dans un ou plusieurs textes (manuel, notes de cours, ouvrages, articles) ou encore dans un ensemble de ressources du cours (exposé magistral + lectures obligatoires + visionnement d'une vidéo). Les connaissances à représenter peuvent aussi être les « connaissances antérieures » des étudiants ; ainsi, avant une leçon ou un cours, il est possible de demander aux étudiants d'élaborer une carte des connaissances qu'ils possèdent déjà dans un domaine donné.

► *La durée, la fréquence et le moment de l'activité* : La construction de cartes de connaissances peut constituer une activité unique et à durée limitée (de 20 minutes à plusieurs heures). Elle peut aussi constituer une activité prolongée : les étudiants élaborent, révisent et corrigent leur carte de connaissances durant plusieurs cours portant sur un domaine, ou même durant tout un trimestre. Dans ce dernier cas, la carte produite peut être considérée comme représentant l'ensemble des connaissances du cours selon le point de vue des étudiants.

► *Le statut de l'activité dans le cours* : La construction de la carte de connaissances peut constituer :

- *Une activité principale du cours* : Dans ce cas, l'accent est mis sur le processus de construction de la carte de connaissances. Cette approche s'enracine dans une perspective constructiviste de l'apprentissage (Roth et Roychoudhury, 1992 ; Tsai, 2000). Son but est d'inciter l'apprenant à créer et à réviser constamment ses représentations internes (Anderson-Inman, Ditson et Ditson, 1998).

- *Une activité précédant « l'entrée en matière »* : Dans ce cas, les connaissances et les liens représentés dans la carte de connaissances constituent des « organismes introductifs » (*advance organisers*) (Ausubel, 1968). La tâche a alors pour but d'activer les connaissances antérieures et de faire ressortir les conceptions erronées ainsi que les problèmes de compréhension des étudiants.
- *Une activité clôturant l'activité d'apprentissage principale* : La carte favorise le retour sur les connaissances acquises : il s'agit de les rassembler et de les (re)structurer, souvent en vue de l'évaluation ou de l'autoévaluation des apprentissages.

► *La modalité de réalisation de la carte (individuelle versus collective)* : La construction individuelle constitue la modalité la plus fréquemment rapportée dans la littérature. La construction collective est moins exploitée, mais constitue cependant une option très intéressante. Elle favorise la discussion, la confrontation de points de vue et la négociation de significations des connaissances et de leurs relations. De plus, les interactions durant la construction de la carte peuvent permettre aux participants d'observer le partenaire agir et d'en tirer des règles de pensée et de comportement, de confronter leurs connaissances à celles du partenaire, d'intérioriser les stratégies déployées ou les réflexions émises par le partenaire et, à certaines occasions, d'être guidés et accompagnés par le partenaire, qui joue alors le rôle de tuteur. La construction collaborative peut s'effectuer :

- en dyade ou en petit groupe : les étudiants travaillent en équipe à un même poste de travail pour élaborer une carte commune ;
- en grand groupe : la carte est projetée sur un écran et tous les étudiants du groupe-classe contribuent à sa construction. Le maniement du logiciel est effectué par le professeur ou par un étudiant, soit encore à tour de rôle.

► *La documentation ou non de la carte* : L'activité de construction de cartes de connaissances gagne à être complétée par une description verbale, écrite ou orale de son contenu, surtout dans la modalité individuelle. La description verbale aide à améliorer la cohérence de la représentation des connaissances, probablement parce qu'elle conduit à une confrontation enrichissante de deux modes de représentation des connaissances, verbal et spatial, à la fois différents et complémentaires.

► *La formation préalable requise* : Une formation préalable à la construction des cartes de connaissances semble nécessaire, surtout dans le cas où l'activité est contrainte par une formalisation des liens et des connaissances (c.-à-d. par l'usage de typologies de liens et de connaissances) ou de la structure. Une formation technique à l'utilisation du logiciel choisi peut aussi s'avérer nécessaire. La méthode de formation la mieux appropriée semble être celle qui combine de courts exercices sur l'application des contraintes de l'outil ou de l'activité et une réalisation guidée de cartes de connaissances dans le domaine cible.

► *Le choix de l'outil de construction de cartes de connaissances* : Devant la variété des outils disponibles, l'enseignant, mis à part les critères financiers, devra s'interroger sur les aspects suivants :

- Le type de domaine des connaissances à modéliser. Dépendamment de la discipline enseignée, celui-ci peut être structuré de façon hiérarchique, en chaîne de procédures, ou encore de façon fonctionnelle (les connaissances étant alors reliées principalement par des relations de causalité). Il s'agira de choisir le logiciel dont les contraintes de structuration et de création des connaissances et des relations sont compatibles ou, mieux encore, favorisent la production des liens ou des structures visées.
- Le type d'activité d'apprentissage privilégiée : par exemple, pour des activités de longue durée, on vérifiera que le logiciel permet facilement la modification et la sauvegarde des versions successives de la carte.
- La compatibilité entre les contraintes de l'outil et les consignes de l'activité d'apprentissage. Par exemple, si on veut utiliser la typologie des liens et/ou des connaissances proposée par le logiciel, il faudra s'interroger sur sa pertinence par rapport aux objectifs d'apprentissage et d'évaluation.

Bien sûr, les caractéristiques générales des activités d'apprentissage impliquant la construction de cartes de connaissances qui sont décrites ci-dessus ne constituent qu'une catégorisation schématique des différentes possibilités de structuration d'un scénario d'apprentissage. De nombreuses variantes et combinaisons de ces contraintes sont possibles. En voici quelques-unes :

- ▶ On demande aux étudiants de générer un certain nombre de concepts-clés d'un domaine au cours d'un remue-méninges collectif, puis de construire des cartes individuellement ou en équipe.
- ▶ Les étudiants construisent les cartes de connaissances individuellement, puis participent à une séance de remue-méninge dont l'objectif est de produire une carte unique et commune.
- ▶ Les productions collaboratives ou individuelles peuvent donner lieu à des exposés oraux en classe.
- ▶ On demande aux étudiants de générer (individuellement ou collectivement) une liste de concepts-clés, d'écrire tout ce qu'ils savent sur ces concepts et finalement de construire une carte (collective ou individuelle).
- ▶ Les étudiants génèrent d'abord individuellement une liste de concepts et la comparent ensuite avec celle produite par un collègue afin de s'entendre sur une liste de concepts commune, et, finalement, construisent une carte de connaissances (individuellement ou collectivement).

On voit que la conception des activités incluant la construction d'une carte de connaissances semble n'avoir pour limite que l'inventivité des professeurs...

## **Modèles, canevas, outils**

---

Cette section présente trois approches de construction de cartes de connaissances : leurs objectifs, les méthodes proposées et les logiciels utilisés pour les construire.

### **1. Construire des cartes hiérarchiques dans le but de favoriser l'apprentissage de connaissances scientifiques**

L'activité de construction des cartes de connaissances hiérarchiques (*concept mapping*, *knowledge mapping*) se base sur la théorie de l'apprentissage signifiant d'Ausubel

(1963) dans laquelle elle constitue une stratégie permettant d'« *apprendre à apprendre* ». Élaborée pour contrer la stratégie scolaire habituelle consistant à « apprendre par cœur », surtout en biologie, cette stratégie vise à favoriser la construction de la signification d'un concept et non seulement la mémorisation du mot qui le désigne. Ses tenants postulent qu'un apprentissage centré sur la construction des relations entre des concepts permet à l'apprenant d'approfondir la compréhension de la signification des mots. Les cartes de connaissances produites dans cette approche incluent les connaissances (appelées ici *concepts*) les plus importantes d'un domaine, inscrites dans des formes graphiques simples (boîtes, ovales ou cercles), connectées par des liens étiquetés, habituellement par un verbe. Les relations entre concepts sont toujours bidirectionnelles. Les cartes sont structurées hiérarchiquement, du haut vers le bas, cette direction étant aussi celle de la lecture de la carte.

Un format standard de création et de présentation de cartes conceptuelles (*concept map*) a été adopté en 1992 à la réunion nationale de la National Science Teachers Association (Wandersee, 1992). La démarche de construction suivante est suggérée :

- Il faut placer un seul concept de premier niveau en haut de la feuille.
- Les concepts de différents niveaux de généralité doivent être placés à des niveaux hiérarchiques distincts.
- Les concepts de même niveau sont alignés.
- Les concepts généraux sont placés en haut et les concepts plus spécifiques plus bas dans la carte.
- Une carte doit se limiter à 12-15 éléments. Pour représenter de grands domaines de connaissances, on peut faire plusieurs cartes de différents niveaux de généralité.
- L'étiquette de chaque concept doit être placée à l'intérieur d'une forme graphique simple.
- Chaque lien doit être étiqueté.
- Un *exemple* (connaissance la plus spécifique dans un contexte donné) doit être lié au concept plus général par un lien portant en guise d'étiquette l'abréviation latine « e.g. » et doit être représenté à l'aide d'une forme graphique représentant un rectangle à bordure pointillée.
- Les liens créés pour représenter des relations d'intégration entre les différents niveaux hiérarchiques de la carte sont en pointillé.
- Il faut réviser la carte de manière à ce qu'il y ait peu ou pas de liens qui se croisent. Un article de Joseph Novak traduit en français et accessible en ligne présente la théorie qui sous-tend les cartes conceptuelles, la façon de les construire et plusieurs exemples de ce type de cartes construites avec le logiciel Cmap.

Bien que cette démarche fût initialement élaborée pour une construction à l'aide de papier-crayon, elle est facilement réalisable avec tout logiciel qui permet la construction des connaissances non typées et des liens étiquetés et qui permet également la structuration hiérarchique. Les logiciels fréquemment utilisés pour construire des cartes conceptuelles sont SemNet, Inspiration et Cmap.

## **2. Construire une carte de connaissances en réseau aux liens typés dans le but de favoriser la compréhension de texte**

Cette approche est issue de recherches menées au début des années 1980 sur les stratégies de lecture active, sous l'impulsion de résultats empiriques mettant de l'avant l'importance du rôle actif du lecteur dans la construction de représentations durant l'activité de lecture. Plusieurs techniques ont été élaborées et décrites sous le nom commun de « stratégies spatiales d'apprentissage » (*spatial learning strategies*) (Holley et Dansereau, 1984). Ces stratégies ont pour but d'amener le lecteur à transformer la représentation textuelle en représentation spatiale de façon à préserver et à rendre explicites les informations sur la structure du domaine des connaissances, tant au plan local (relations entre les propositions) que global (le domaine entier).

La démarche générale d'une stratégie spatiale d'apprentissage est la suivante :

- Sélectionner les connaissances-clés dans le texte.
- Les représenter dans la carte.
- Faire une liste d'attributs pour chaque connaissance (ou décider du type de connaissance).
- Relier les connaissances-clés dans un arrangement spatial en utilisant les liens étiquetés (éventuellement typés).
- Réarranger la représentation spatiale.
- Comparer la représentation avec le texte.
- Réviser la carte.

Cette activité peut être réalisée soit avec des logiciels qui proposent des typologies des connaissances ou des liens prédéfinis (dans ce cas, il faut s'interroger préalablement sur la pertinence de la typologie pour le domaine de connaissances visé), soit encore avec des logiciels qui permettent d'étiqueter soi-même les liens (dans ce cas, les consignes concernant la typologie des liens peuvent faire partie de la consigne générale de l'activité). La Figure 10 présente une carte de connaissances construite par une étudiante novice dans le domaine, mais connaissant bien l'approche de construction de cartes de connaissances proposée dans le logiciel MOT, au cours de la lecture d'un texte portant sur la gestion des déchets. On peut constater que certaines connaissances, relations et propositions représentées constituent des *inférences* construites par cette étudiante, puisque ces connaissances ne figurent pas comme telles dans le texte. Ces inférences témoignent de son effort de construction d'une représentation cohérente de la situation décrite dans le texte.

Texte : ***La gestion des déchets.***

*L'élimination des déchets se fait de deux façons principales : l'incinération et l'enfouissement. L'incinération, qui est la méthode la plus onéreuse, consiste à brûler les déchets dans un four à des températures de 500 à 1000 degrés Celsius. La matière organique est alors transformée en gaz tandis que le reste des déchets devient un résidu (cendres). Cette technique permet d'éliminer entre 85 et 90 % du volume initial des déchets, mais les résidus doivent obligatoirement être éliminés dans un lieu d'enfouissement sanitaire.*



Ce type de cartes de connaissances présente un potentiel intéressant pour investiguer des processus dynamiques et des domaines complexes. On trouve sur le site de [Intel@innovation](#) quelques idées d'activités d'apprentissage intégrant la construction de cartes causales avec le logiciel *Seeing Reason*. Cette démarche peut être adaptée à différents publics étudiants et réalisée avec d'autres logiciels, par exemple ceux qui permettent de construire des cartes en réseau. La démarche proposée est collaborative (en équipes de deux ou plus) et consiste à :

- Définir le projet : S'entendre sur le cadrage du problème (un événement ou un état de choses) avant de commencer l'investigation des phénomènes qui causent son apparition.
- Identifier les variables initiales que l'on suppose intervenir dans le processus : Décrire chaque variable et indiquer comment on peut la mesurer et comment prouver qu'elle intervient dans le processus.
- Relier chaque variable à l'événement causé en catégorisant la relation en termes prédéfinis par le logiciel (*diminue, augmente, n'intervient pas*).
- Décrire comment les relations se manifestent et comment on peut prouver la validité de la relation causale proposée.

D'autres démarches et activités d'apprentissage impliquant la construction des cartes causales sont proposées sur les sites décrivant les logiciels *Belvedere* et *Model-It*.

## **Outils d'évaluation**

---

Plusieurs méthodes d'évaluation de cartes de connaissances réalisées en contexte d'apprentissage ont été proposées à ce jour. Certains chercheurs suggèrent même d'utiliser les cartes de connaissances comme méthode « alternative » aux tests traditionnels ou aux questionnaires à choix multiples pour évaluer les apprentissages (Ruiz-Primo et Shavelson, 1996).

Les méthodes d'évaluation de cartes de connaissances vont d'une approche « globale » qui consiste à attribuer une note globale à la carte selon une analyse « impressionniste » de la carte par l'enseignant à des méthodes « quantitatives » qui consistent à faire le décompte des différentes composantes de la carte et à leur attribuer une valeur numérique selon une grille de notation prédéfinie. Par exemple, on peut faire le décompte des connaissances, des liens, des propositions, des niveaux hiérarchiques...

Dans leur grande majorité, les méthodes d'évaluation ne sont que rarement purement « quantitatives » : elles intègrent une analyse de contenu (donc une méthode « qualitative »). L'analyse de contenu devient nécessaire dès qu'on veut évaluer la qualité d'une proposition représentée dans la carte. Pour ce faire, il est nécessaire d'élaborer une grille catégorielle (comportant, par exemple, trois niveaux : *valide, partiellement valide* et *non valide*) dont il faudra expliciter les critères qui permettront de juger de la *validité* ou de la *pertinence* d'une proposition.

Parmi les méthodes « mixtes », combinant le comptage et l'analyse du contenu, figure la méthode proposée par Novak et Gowin (1984), sans doute la plus populaire. Elle consiste à faire le décompte :

- du nombre de propositions valides ;
- du nombre de niveaux hiérarchiques correctement élaborés ;
- du nombre de liens valides transversaux (entre différents niveaux) ;
- des exemples proposés.

Pour une description détaillée de cette méthode, on peut consulter l'article de Shaka et Bitner (1996).

Les travaux récents délaissent le comptage des composantes de la carte au profit de techniques permettant de comparer la carte des connaissances de l'apprenant à une carte produite par un expert du domaine (par exemple, un professeur) ou par un groupe d'experts (Osmundson et al., 1999). On trouvera un exemple d'application d'une telle méthode dans Basque et Pudelko (2003b).

Certaines recherches visent à intégrer aux logiciels de construction de cartes de connaissances des fonctionnalités d'évaluation des cartes, par exemple en calculant le nombre de liens ou de connaissances ou en fournissant un tableau spécifiant les différentes connaissances qui sont reliées dans une carte, ou même en faisant un calcul automatique du score de similarité entre une carte et une « carte modèle » (Anderson-Inman et Ditson, 1999 ; Chang et al., 2001).

Soulignons qu'aucune méthode ou outil d'évaluation du *processus* de construction de cartes de connaissances n'a été proposée à ce jour. Compte tenu des objectifs et des modalités d'évaluation des apprentissages généralement valorisés dans les contextes éducatifs, l'évaluation du *produit* de ce processus (c.-à-d. les cartes produites) est sans doute plus simple à mettre en œuvre. Mais nous pensons que l'évaluation du processus de construction de cartes de connaissances permettrait de fournir des indices extrêmement utiles au professeur désireux de mieux comprendre les processus cognitifs et métacognitifs mis en œuvre par les étudiants au cours d'une démarche d'apprentissage intégrant la construction de cartes de connaissances.

## **Ce qu'en dit la recherche**

---

En septembre 2004 s'est tenu à Pamplona en Espagne le premier congrès international sur le *Concept Mapping*, dont on peut consulter les Actes en ligne. Cet événement confirme la maturité de ce domaine de recherche, qui a pris une ampleur grandissante depuis la fin des années 1970.

Dans leur grande majorité, les recherches empiriques dans le champ éducatif concernent des expérimentations de construction de cartes au papier/crayon, mais la part des recherches impliquant des outils logiciels est en progression constante. La majeure partie de ces recherches concerne l'enseignement des sciences (Wandersee, 2000), surtout la biologie (Fisher, Wandersee et Moody, 2000), mais on en trouve de plus en plus dans d'autres domaines. Les recherches sont nombreuses et, étant donné la grande variabilité des activités, des méthodes de construction et des méthodes d'évaluation des cartes utilisées, il est difficile de les comparer pour en tirer des conclusions générales. Quoi qu'il en soit, nous dégageons quelques tendances permettant de répondre à différentes questions de recherche.

## **1. La construction des cartes de connaissances favorise-t-elle l'apprentissage ?**

Déjà en 1993, Horton et al. (1993) publiaient une méta-analyse des recherches dans le domaine et en concluaient que la construction de cartes de connaissances a un effet positif modéré sur les apprentissages et des effets très positifs sur l'attitude des étudiants. Cependant, si on prend soin de comparer la stratégie de construction de cartes de connaissances avec une autre stratégie d'apprentissage (ex. : la prise de notes), les résultats sont contradictoires (Markow et Lonning, 1998). Certaines expérimentations ont montré que les étudiants utilisant la stratégie des cartes obtiennent de meilleures performances à des tests de rappel que les étudiants utilisant des stratégies de leur cru (Holley et Dansereau, 1984). Plus généralement, on peut dire que le scénario de l'activité de construction des cartes ainsi que la compatibilité de la méthode de construction adoptée avec les objectifs d'apprentissage et avec la structure du domaine jouent un rôle primordial dans la réussite des étudiants.

## **2. Est-il aussi efficace pour l'apprentissage de construire que de simplement lire une carte de connaissances ?**

Certains chercheurs ont comparé des situations où les sujets devaient soit construire des cartes, soit simplement lire des cartes de connaissances. Les résultats sont généralement en faveur du groupe de sujets qui ont généré des cartes (Jo, 2001 ; Spiegel et Barufaldi, 1994 ; Tan, 2000).

## **3. Vaut-il mieux utiliser des outils avec ou sans typologies de liens et de connaissances ?**

Holley et Dansereau (1984) ont comparé les effets de l'usage ou non de typologies de liens sur la performance d'étudiants. Les résultats indiquent que les étudiants ayant des habiletés verbales faibles profitent davantage de l'approche contrainte, alors que ceux ayant des habiletés verbales plus élevées peuvent profiter de la stratégie moins structurée. Reader et Hammond (1994) ont montré, pour leur part, que des sujets utilisant une typologie de liens et de connaissances lors de la construction de cartes ont produit des cartes jugées plus complètes, plus efficaces à communiquer les principaux points du texte et plus compatibles avec l'objectif de l'activité que ceux n'ayant pas utilisé l'approche contrainte. Gordon (1996) résume ainsi les avantages de l'approche contrainte pour modéliser des connaissances :

- Elle permet de réduire les ambiguïtés d'interprétation.
- Elle améliore la clarté à travers une certaine "économie" de la représentation.
- Elle est transdisciplinaire : un ensemble générique de relations et de connaissances peut s'appliquer à plusieurs domaines.
- Elle favorise la comparaison et la communication.

## **4. Vaut-il mieux faire réaliser les cartes individuellement ou collaborativement par les étudiants ?**

Quelques recherches ont démontré que la construction de cartes de connaissances en dyade ou en petit groupe s'avère plus bénéfique pour l'apprentissage que la construction individuelle de cartes (Okebukola et Jegede, 1988) ou encore que la réalisation d'autres types d'activités collaboratives (Van Boxtel *et al.*, 2000 ; Osmundson *et al.*, 1999 ; Stoyanova et Kommers, 2002). Les cartes individuelles de ceux qui ont construit des cartes en situation collaborative contiennent plus de nouveaux concepts et plus de liens entre les connaissances, ainsi que moins de connaissances erronées (Osmundson *et al.*, 1999 ; Stoyanova et Kommers, 2002).

## 5. Est-il possible et souhaitable de faire coconstruire des cartes de connaissances à distance par des étudiants ?

Depuis quelques années, on remarque un intérêt pour des situations de coconstruction de cartes de connaissances à distance dans les recherches. Le travail se fait alors généralement au moyen d'un outil de partage de fichiers jumelé à un outil de *chat*. Généralement, les individus « se passent la main » pour réaliser le travail à tour de rôle et chacun peut visualiser le travail commun effectué dans la zone de partage de fichier. Bien que les échanges contiennent des épisodes de coopération complexe (Chiu, Wu et Huang, 2000) et de construction de savoir partagé (Fischer et Mandl, 2000, 2001), le contexte de la distance semble poser des défis importants aux individus (Suthers *et al.*, 2002 ; van Boxtel et Veerman, 2001). Les cartes ainsi coconstruites seraient de faible qualité (Chung *et al.*, 1999). Les recherches portant sur les effets de l'activité de coconstruction de cartes à distance sur l'apprentissage ne sont pas concluantes à ce jour (Basque et Pudelko, 2004 ; Suthers *et al.*, 2002).

## Références

---

- Anderson-Inman, L., Ditson, L.A. et Ditson, M.T. (1998). Computer-based concept mapping : Promoting meaningful learning in science for students with disabilities. [Version électronique]. Récupéré le 29 août 2002 de <http://www.rit.edu/easi/itd/itdv5n12/article2.htm>
- Anderson-Inman, L. et Zeitz, L. (1993). Computer-based concept mapping : Active studying for active learners. *Learning & Leading with technology*, 26(8).
- Anderson-Inman, L. et Ditson, L. (1999). Computer-based concept mapping : A tool for negotiating meaning. *Learning & Leading with technology*, 26(8).
- Ausubel, D. (1963). *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*. New York : Grune & Stratton.
- Basque, J. et Pudelko, B. (2003a). *La co-modélisation des connaissances à l'aide d'un outil informatisé à des fins de transfert d'expertise*. Recension d'écrits. Notes de recherche (LICEF03NR02). Montréal : Centre de recherche LICEF, Télé-université.
- Basque, J. et Pudelko, B. (2003b). Using a concept mapping software as a knowledge construction tool in a graduate online course. Dans D. Lassner et C. McNaught (Eds.), *Proceedings of ED-MEDIA 2003, World Conference on Educational Multimedia*,

*Hypermedia & Telecommunications*, Honolulu, June 23-28, 2003 (pp. 2268-2264).  
Norfolk, VA : AACE.

Basque, J. et Pudelko, B. (2004). The effect of collaborative knowledge modeling at a distance on performance and on learning. Dans A.J. Canas, J. D. Novak, F. M. Gonzalez (Eds.), *Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping (CMC 2004)*, Pamplona, September 14-17, vol. 1 (pp. 67-74). Pamplona : Universidad Publica de Navarra.

Basque, J. Pudelko, B. et Legros, D. (2003). Une expérience de construction de cartes conceptuelles dans un contexte de téléapprentissage universitaire. Dans C. Desmoulin, P. Marquet et D. Bouhineau (dir.), Actes de la Conférence EIAH 2003, Strasbourg, 15 au 17 avril 2003, (pp. 413-420). Paris : ATIEF/INRP.

Basque, J. Rogozan, D. et Pudelko, B. (2004). Les outils informatisés de construction de cartes de connaissances : Des outils pour l'apprenant, le concepteur et le formateur en contexte de téléapprentissage. Communication au Congrès de l'ACFAS, 4e colloque annuel du CIRTA, Montréal, 10-12 mai 2004.

Breuker, J. A. (1984). The role of spatial strategies in processing and remembering text : A cognitive-information-processing analysis. In C. D. Holley & D. F. Dansereau (Eds.), *Spatial learning strategies : Techniques, applications and related issues* (pp. 47-77). Orlando : Academic Press.

Chang, K. E., Sung, Y. T. et Chen, S. F. (2001). Learning through computer-based concept mapping with scaffolding aid. *Journal of Computer Assisted Learning*, 17, 21-33.

Chiu, C.-H., Wu, W.-S. et Huang, C.-C. (2000, October 30-November 4th). Collaborative concept mapping processes mediated by computer. Paper presented at the WebNet 2000 World Conference on the WWW and Internet, San Antonio, TX.

Chung, G. K., O'Neil, H. F. J. et Herl, H. E. (1999). The use of computer-based collaborative knowledge mapping to measure team processes and team outcomes. *Computers in Human Behavior*, 15(3-4), 463-494.

Faletti, J. et Fisher, K. M. (1996). The information in relations in biology, or the unexamined relation is not worth having. Dans K. M. Fisher et M. R. Kibby (Eds.), *Knowledge acquisition, organization, and use in biology* (pp. 182-205). Berlin : Springer-Verlag.

Fischer, F. et Mandl, H. (2000). Construction of shared knowledge in face-to-face and computer-mediated cooperation. Paper presented at the AERA Annual Meeting, New Orleans, LA. [Version électronique : <http://home.emp.paed.uni-muenchen.de/fischer/sharedknowledge.pdf>].

Fischer, F. et Mandl, H. (2001). Facilitating the construction of shared knowledge with graphical representation tools in face-to-face and computer-mediated scenarios. Paper presented at the Euro CSCL, Maastricht.

- Fisher, K. M. (1990). Semantic networking : The new kid on the block. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 1001-1018.
- Fisher, K. M. (2000). Overview of knowledge mapping. Dans K. M. Fisher, J. H. Wandersee et D. E. Moody (Eds.), *Mapping biology knowledge* (pp. 5-23). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- Fisher, K. M., Wandersee, J. H. et Moody, D. E. (Eds.) (2000). *Mapping biology knowledge*. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- Gordon, S. E. (1996). Eliciting and representing biology knowledge with conceptual graph structures. Dans K. M. Fisher et M. R. Kibby (Eds.), *Knowledge acquisition, organization, and use in biology* (NATO ASI Series F, Vol. 148) (pp. 135-154). New York : Springer Verlag.
- Holley, C. D. et Dansereau, D. F. (1984). Networking : The technique and the empirical evidence. Dans C. D. Holley et D. F. Dansereau (Eds.), *Spatial learning strategies : Techniques, applications and related issues* (pp. 81-108). Orlando : Academic Press.
- Horton, P. B., McConney, A. A., Gallo, M., Woods, A. L., Senn, G. J. et Hamelin, D. (1993). An investigation of the effectiveness of concept mapping as an instructional tool. *Science Education*, 77(1), 95-111.
- Jo, I.-H. (2001). The effects of concept mapping on college students' comprehension of expository text. Florida State University.
- Jo, I.-H. (http). The effects of different concept mapping techniques on college-level writing. *Educational Technology International*, 3(1). [Version électronique]. Récupéré le 22 septembre 2003 de <http://203.246.105.157/upload/eti/3-1/ihc.pdf>
- Jonassen, D. H. (1998). *Operationalizing mental models : Strategies for assessing mental models to support meaningful learning and design - Supportive learning environments*. [Version électronique]. Récupéré le 3 mars 2001 de <http://www.ittheory.com/jonassen2.htm>
- Jonassen, D. H. (2000). *Computers as mindtools for schools : Engaging critical thinking* (2 ed.). Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall.
- Jonassen, D. H. et Marra, R. M. (1994). Concept mapping and other formalisms as mindtools for representing knowledge. *Association for Learning Technology Journal*, 2(1), 50-56.
- Lin, X., Hmelo, C., Kinzer, C. K. et Secules, T. J. (1999). Designing technology to support reflection. *Educational Technology Research & Development*, 47(3), 43-62.
- Markow, P. G. et Lonning, R. A. (1998). Usefulness of concept maps in college chemistry laboratories : Students' perceptions and effects on achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1015-1029.

- McAleese, R. (1998). The Knowledge Arena as an extension to the concept map : reflection in action. *Interactive Learning Environments*, 6(3), 251-272.
- Novak, J. D. et Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Okebukola, P. A. et Jegede, O. J. (1988). Cognitive preference and learning mode as determinants of meaningful learning through concept mapping. *Science Education*, 72(4), 489-500.
- Osmundson, E., Chung, G. K., Herl, H. E. et Klein, D. C. (1999). *Knowledge mapping in the classroom : A tool for examining the development of students' conceptual understandings* (Technical report 507). Los Angeles : CRESST/University of California.
- Paquette, G. (2002). *Modélisation des connaissances et des compétences*. Sainte-Foy (Québec) : Presses de l'Université du Québec.
- Reader, W. R. et Hammond, N. (1994). *A comparison of structured and unstructured knowledge mapping tools in psychology teaching*, Proceedings of CiP 94. New York.
- Roth, W.-M. et Roychoudhury, A. (1992). The social construction of scientific concepts or the concept map as conscription device and tool for social thinking in high school science. *Science Education*, 76(5), 531-557.
- Ruiz-Primo, M. A. et Shavelson, R. J. (1996). Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(6), 569-600.
- Shaka, F. L. et Bitner, B. L. (1996). Construction and validation of a rubric for scoring concept maps. [Version électronique]. Récupéré le 22 mai 2002 de <http://www.ed.psu.edu/CI/journals/96pap43.htm>
- Spiegel, G. F. et Barufaldi, J. P. (1994). The effects of a combination of text structure awareness and graphic postorganizers on recall and retention of science of knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(9), 913-932.
- Stoyanova, N. et Kommers, P. (2002). Concept mapping as a medium of shared cognition in computer-supported collaborative problem solving. *Journal of Interactive Learning Research*, 13(1/2), 111-133.
- Suthers, D. D., Girardeau, L. E. et Hundhausen, C. D. (2002). *The roles of representation in online collaborations*. Paper presented at the AERA 2002, New Orleans.
- Tan, S. C. (2000). The effects of incorporating concept mapping into computer-assisted instruction. *Journal of Educational Computing Research*, 23(2), 112-131.
- Tsai, C.-C. (2000). Enhancing science instruction : the use of 'conflict maps'. *International Journal of Science Education*, 22(3), 285-302.

Wandersee, J. (1992). *A standard format for concept maps*. Paper presented at the National Convention of the National Science Teachers Association, Boston.

Wandersee, J. H. (2000). Using concept mapping as a knowledge mapping tool. Dans K. M. Fisher, J. H. Wandersee et D. E. Moody (Eds.), *Mapping biology knowledge* (pp. 127-142). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.

van Boxtel, C., van der Linden, J. et Kanselaar, G. (2000). Collaborative learning tasks and the elaboration of conceptual knowledge. *Learning and instruction, 10*, 311-330.

van Boxtel, C. et Veerman, A. (2001). Diagram-mediated collaborative learning diagrams as tools to provoke and support elaboration and argumentation. Paper presented at the Euro CSCL, Maastricht.