# Les cartes conceptuelles

## Théorie, construction et usages[1]

Joseph D. Novak & Alberto J. Cañas

Florida Institute for Human and Machine Cognition
Pensacola Fl, 32502
http://www.ihmc.us/

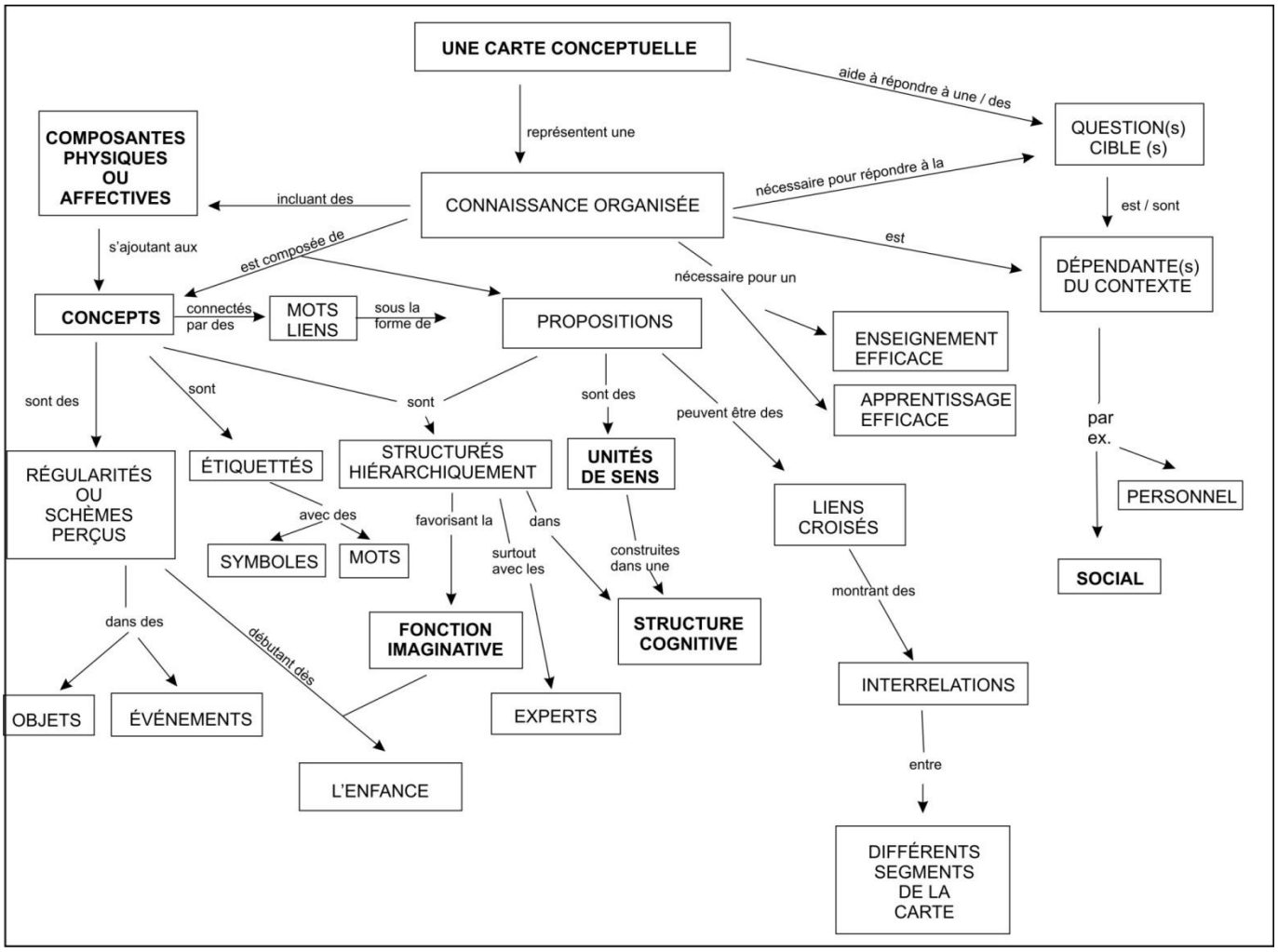
Traduction en français
Serge Racine, Ph.D.
Institut de développement de l'entrepreneur et l'entreprise synergiques (IDEES)
Serge.racine@idees.ca
http://www.idees.ca

### Introduction

Les cartes conceptuelles sont des outils facilitant l'organisation et la représentation de la connaissance. Elles sont composées de concepts, habituellement emboitées dans des cercles et des boites de type divers, et des relations entre les concepts illustrés par des lignes entre deux concepts. Sur la ligne, les mots ou des phrases désignent des liens qui spécifient la relation entre les deux concepts. Le concept désigné par une étiquette se définit comme une régularité perçue dans des événements, des objets, ou des enregistrements d'événements ou d'objets. Pour la plupart des concepts, l'étiquette est un mot, bien que parfois nous utilisions des symboles comme + ou %, ou plusieurs mots. Les propositions sont des affirmations sur un objet ou un événement de l'univers qu'il soit naturel ou construit. Les propositions contiennent deux concepts ou plus reliés par des mots ou des phrases liens qui forment une phrase qui a du sens. Quelques fois, on les appelle unités sémantiques ou unités de sens. La carte 1 présente un exemple d'une carte conceptuelle qui décrit la structure des cartes conceptuelles et illustre les caractéristiques ci-dessus.

[1] Révisé le 22 janvier 2008. Cité comme "Novak, J. D. & A. J. Cañas, The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct Them, Technical Report IHMC CmapTools 2006-01 Rev 01-2008, Florida Institute for Human and Machine Cognition, 2008", disponible: http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf.

La représentation en  mode hiérarchique partant des concepts les plus inclusifs et les plus généraux en haut de la carte vers les concepts moins généraux  et plus spécifiques vers le bas est une autre caractéristique des cartes conceptuelles. La structure hiérarchique d'un domaine particulier de connaissances dépend aussi du contexte dans lequel cette connaissance est appliquée ou considérée. Par conséquent, il vaut mieux construire les cartes conceptuelles en référence à une question particulière à laquelle nous cherchons à répondre, ce que nous appelons la question cible. La carte conceptuelle peut appartenir à une situation ou un événement que nous essayons  de comprendre à travers l'organisation de la connaissance sous la forme d'une carte conceptuelle, fournissant ainsi le contexte pour la carte conceptuelle.




Carte 1. Une carte conceptuelle montrant les composants clé des cartes conceptuelles. On a l'habitude de lire les cartes conceptuelles du haut vers le bas.

Une autre caractéristique importante des cartes conceptuelles est l'inclusion de liens-croisés. Ce sont des relations ou des liens entre les concepts de différents segments ou domaines d'une carte conceptuelle. Les liens-croisés nous aident à voir comment un concept dans un domaine de connaissance représenté sur la carte est relié à un concept dans un autre domaine illustré sur la carte. Dans la création d'une nouvelle connaissance, les liens-croisés représentent souvent des sauts créatifs de la part du producteur de connaissance. Il y a deux éléments importants des cartes conceptuelles pour faciliter la pensée créative : la structure hiérarchique représentée dans une bonne carte et l'habileté à chercher et caractériser de nouveaux liens-croisés.

Enfin, on peut ajouter des exemples spécifiques d'événements ou d'objets aux cartes conceptuelles pour clarifier le sens d'un concept donné. Normalement, on ne les inclut pas dans les boites ou les ovales, à moins qu'ils soient des événements ou des objets spécifiques et ne représentent pas des concepts.

Les cartes conceptuelles ont été développées en 1972 durant un programme de recherche de Novak à Cornell où il cherchait à suivre et comprendre les changements dans la connaissance des enfants en science (Novak et Musonda, 1991). Pendant la réalisation de cette étude, les chercheurs ont interviewé plusieurs enfants. Il leur était difficile d'identifier les changements spécifiques dans la compréhension des concepts scientifiques chez les enfants en examinant les scripts des entrevues. Ce programme était basé sur une carte initiale d'expert d'enseignement « Organisation de concepts » de David Ausubel (1963; Ausubel et al., 1978). L'idée fondamentale de la théorie psychologique d'Ausubel est que l'apprentissage se produit par l'*assimilation* de nouveaux concepts et propositions dans les cadres conceptuels et propositionnels existants de l'apprenant. On appelle aussi *structure cognitive* cette structure de connaissance de l'apprenant. De la nécessité de trouver une meilleure façon de représenter la compréhension conceptuelle des enfants a émergé l'idée de représenter cette connaissance des enfants sous la forme d'une carte conceptuelle. Ainsi est né un nouvel outil non seulement pour la recherche mais aussi pour plusieurs autres usages.

## Fondements psychologiques des cartes conceptuelles

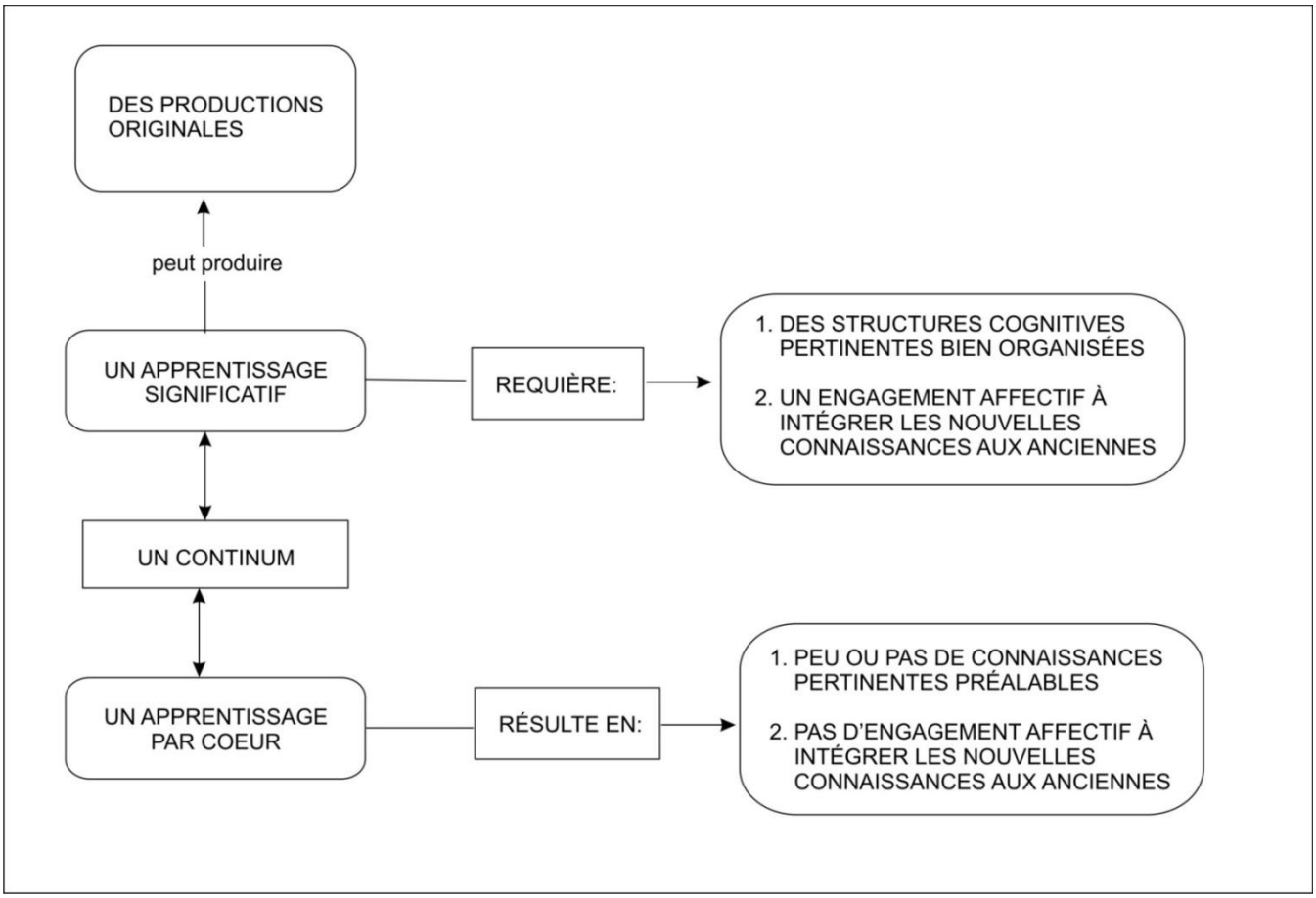
On se demande souvent d'où viennent les premiers concepts. Les enfants les acquièrent entre la naissance et trois ans, quand ils reconnaissent les régularités dans le monde qui les entourent et commencent à identifier les étiquettes ou les symboles du langage pour ces régularités (Macnamara, 1982). Cet apprentissage précoce de concepts est d'abord un processus d'apprentissage *par découverte*, quand l'individu discerne des schémas ou des régularités dans les événements ou les objets et reconnait ceux-ci comme les mêmes régularités étiquetées par les personnes plus âgées avec des mots ou des symboles. C'est une prédisposition phénoménale provenant de l'héritage évolutif de tous les êtres humains. Après trois ans, le nouvel apprentissage conceptuel et propositionnel est supporté fortement par le langage et devient un *processus d'apprentissage réceptif* quand les nouvelles significations obtenues en posant des questions et en obtenant une clarification des relations entre les vieux concepts et propositions et les nouveaux. Cette acquisition est supportée de manière très importante lors d'expériences concrètes; d'où l'importance d'activités pratiques pour l'apprentissage de la science avec de jeunes enfants, mais c'est aussi vrai avec des apprenants de tous âges dans n'importe quel domaine de connaissance.

En plus de la distinction entre le processus d'apprentissage par découverte, dans lequel les attributs de concepts sont identifiés de manière autonome par l'apprenant, et le processus d'apprentissage par réception, dans lequel les attributs de concepts sont décrits en utilisant le langage et transmis à l'apprenant, Ausubel fait la distinction très importante entre l'apprentissage par cœur et l'apprentissage significatif. Ce dernier survient quand les trois conditions suivantes sont rassemblées :

1. Le matériel à apprendre doit être conceptuellement clair et représenté avec un langage et des exemples que l'apprenant peut relier à ses connaissances antérieures. Les cartes conceptuelles peuvent aider à créer cette condition, autant en identifiant les grands concepts généraux que l'apprenant détient avant l'enseignement sur les concepts plus spécifiques qu'en assistant au séquençage des tâches d'apprentissage à travers la connaissance progressivement plus explicite qui peut être ancrée dans les cadres conceptuels en développement.
2. L'apprenant doit posséder la connaissance préalable pertinente. Cette condition peut être rencontrée après trois ans pour à peu près toute discipline, contenu ou domaine, mais il est nécessaire d'être rigoureux et clair dans la construction des cadres conceptuels si l'on espère présenter une connaissance spécifique en détail lors de leçons subséquentes. Nous voyons, par conséquent, que les conditions (1) et (2) sont interreliées et sont toutes deux importantes.

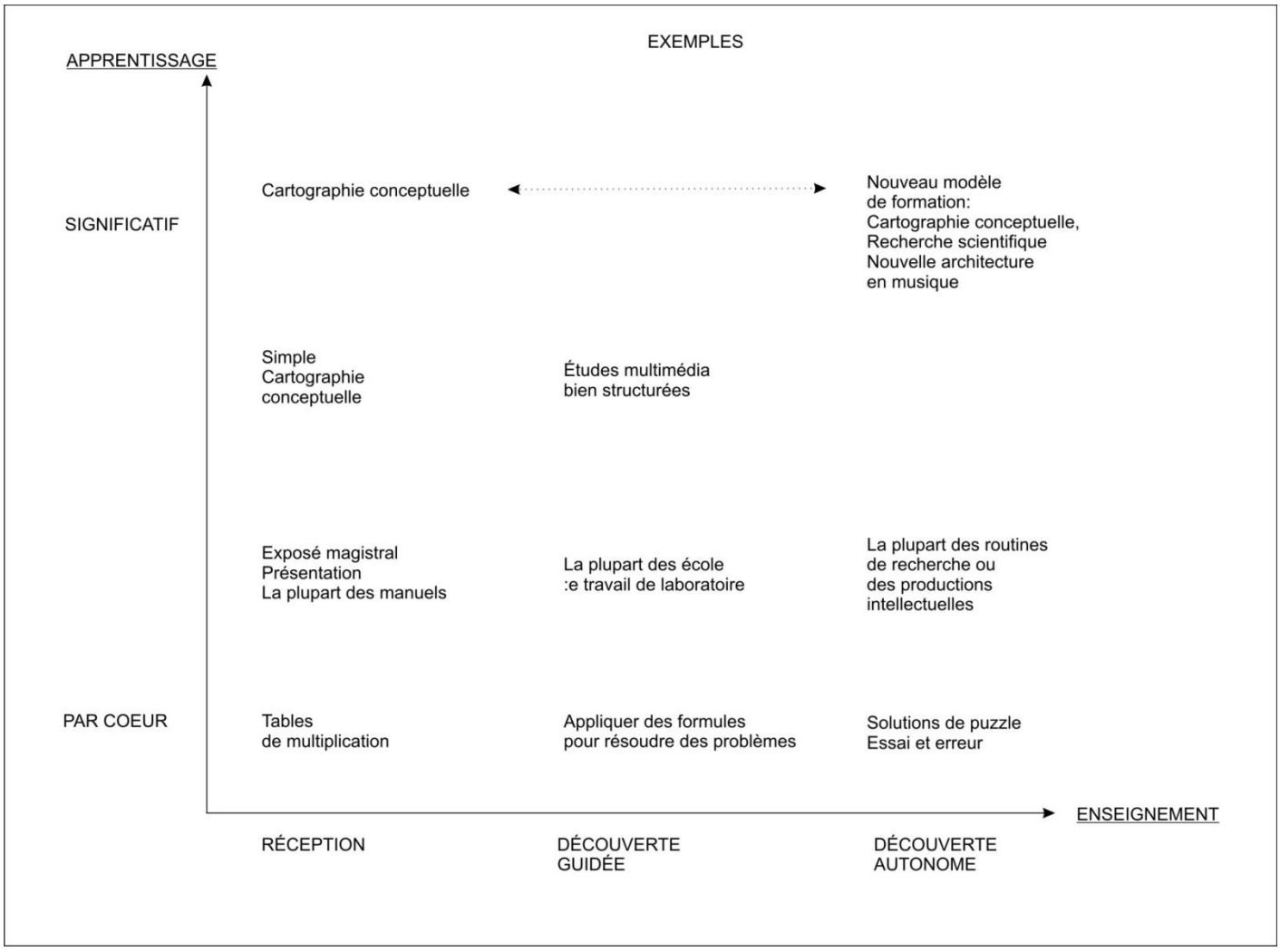
3. L'apprenant doit choisir d'apprendre significativement. La condition sur laquelle l'enseignant ou le mentor n'a qu'un contrôle indirect est la motivation des étudiants à choisir d'apprendre à donner un sens nouveau à leurs connaissances antérieures, plutôt que de simplement mémoriser des définitions de concepts ou des énoncés de propositions ou des procédures de calcul. Le contrôle indirect sur ce choix s'effectue d'abord par l'emploi de stratégies pédagogiques et d'évaluation. Les stratégies pédagogiques qui amplifient la nouvelle connaissance reliée à la connaissance existante favorisent l'apprentissage significatif. Les stratégies d'évaluation qui encouragent les apprenants à relier des idées qu'ils possèdent aux nouvelles idées encouragent aussi l'apprentissage significatif. Les tests objectifs typiques nécessitent rarement plus qu'un apprentissage par cœur (Bloom, 1956; Holden, 1992). En fait, les formes les pires de tests objectifs, ou tests à réponse brève, requièrent le rappel mot à mot d'énoncés; ce qui peut même empêcher l'apprentissage significatif quand la nouvelle connaissance est intégrée aux cadres existants, rendant difficile le rappel de définitions ou de descriptions mot à mot spécifiques. Ce genre de problème a été reconnu depuis longtemps par Hoffman dans « The Tyranny of Testing » (1962).

Comme nous le mentionnons plus tôt, il est important de reconnaitre que parce que les individus diffèrent dans la quantité et la qualité de connaissance préalable qu'ils possèdent et dans la force de leur motivation à chercher des façons d'intégrer de nouvelles connaissances aux connaissances pertinentes qu'ils possèdent déjà, la distinction « apprentissage par cœur – apprentissage significatif » n'est pas une simple dichotomie mais plutôt un continuum. On peut concevoir la créativité comme un apprentissage significatif de niveau supérieur et nous discuterons davantage de cela. Ces idées sont illustrées à la carte 2.




Carte 2. L'apprentissage peut varier de hautement par cœur à hautement significatif. La créativité émerge d'apprentissage de niveau élevé de signification.

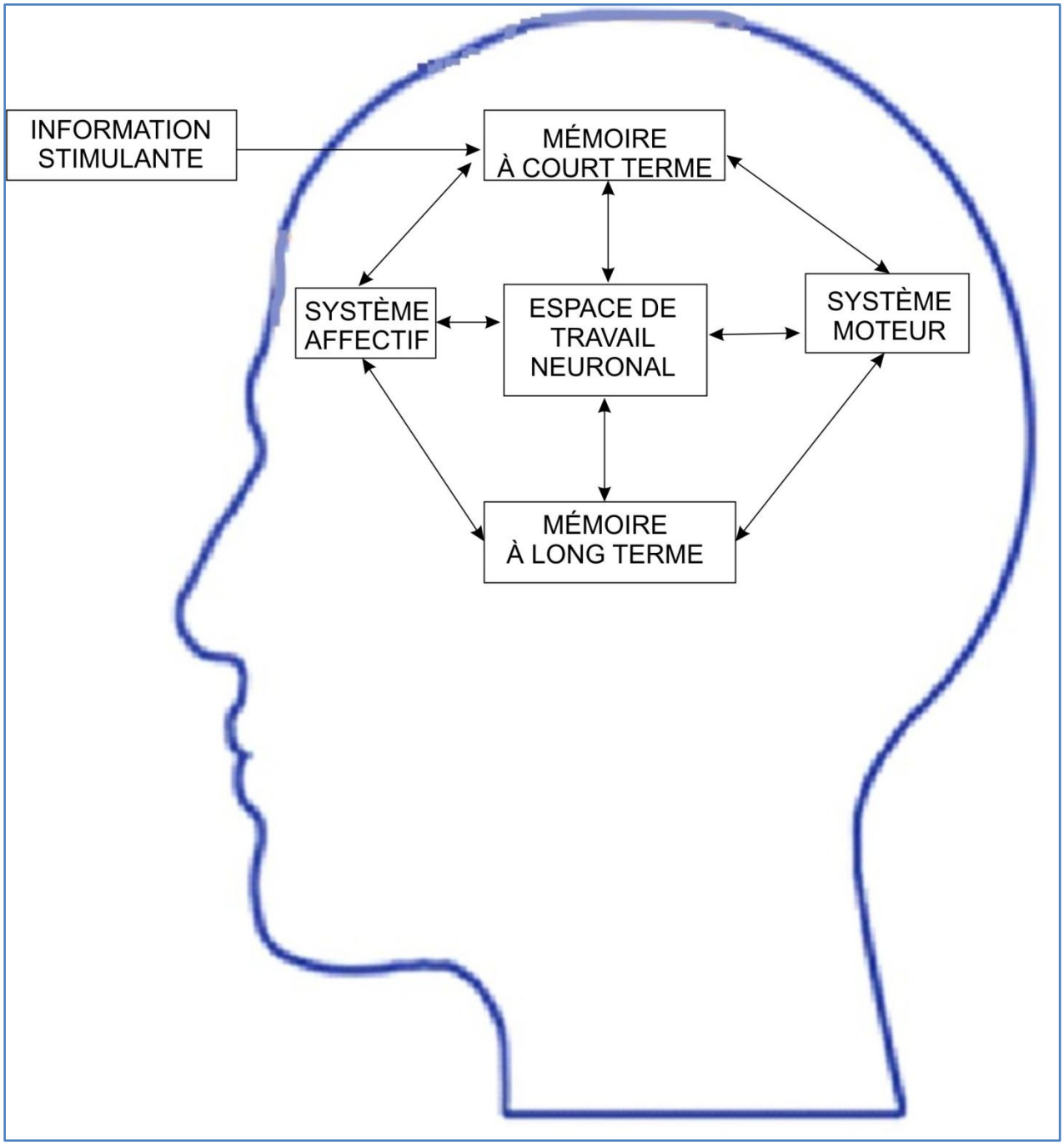
Les gens confondent l'apprentissage par cœur et l'apprentissage significatif avec les approches d'enseignement qui peuvent varier sur un continuum allant d'une présentation magistrale d'information (laquelle peut être conceptuellement obscure ou explicite) avec les approches de découvertes autonomes où l'apprenant perçoit des régularités et construit ses propres concepts. Autant la présentation magistrale que l'enseignement par découverte peut conduire à un apprentissage hautement par cœur ou hautement significatif, cela dépend de la disposition cognitive et affective de l'apprenant et de l'organisation du matériel éducatif utilisé. En réalité, à moins que l'apprenant ne possède pas un minimum de compréhension conceptuelle du phénomène à investiguer, l'activité peut conduire à peu ou pas de gain à leur connaissance préalable et ne peut que devenir qu'un travail pour l'occuper. En fait, il y a un manque flagrant de base à la recherche en faveur de l'approche largement recommandée de l'apprentissage par *enquête*.




Carte 3. Le continuum d'apprentissage "par cœur – significatif" n'est pas identique au continuum de l'enseignement « par réception – par découverte ».

Un des usages puissant des cartes conceptuelles n'est pas seulement comme outil d'apprentissage, mais aussi comme outil d'évaluation en encourageant les apprenants à utiliser les schèmes propres au mode d'apprentissage significatif (Mintzes et al., 2000; Novak, 1990; Novak et Gowin, 1984). Les cartes conceptuelles sont aussi efficaces pour identifier à la fois des idées valides et invalides des apprenants, ce dont nous discuterons davantage dans une autre section. Elles peuvent être encore plus efficace si l'on prend le temps d'identifier la connaissance pertinente acquise avant et après la formation (Edwards et Fraser, 1983).

Une autre importante découverte sur la compréhension de l'apprenant est que la mémoire humaine n'est pas simplement un « réservoir » que l'on remplit, mais plutôt un ensemble complexe de systèmes mémoriels interreliés. La carte 4 illustre les systèmes de mémoire du cerveau humain et des interactions avec les liens avec les systèmes affectif et moteur.




Carte 4. Tous les systèmes clés de la mémoire du cerveau interagissent quand nous apprenons.

Bien que tous les systèmes mémoriels soient indépendants (et que l'information circule dans les deux sens), les systèmes les plus critiques durant l'intégration de connaissance dans la mémoire à long terme sont la mémoire à court terme et l'espace de travail neuronal. Toute l'information entrante est organisée et traitée dans l'espace de

travail mémoriel par interaction avec la mémoire à long terme. Notons que l'espace de travail ne peut traiter seulement qu'un petit nombre d'unités psychologique (cinq à neuf) en même temps (Miller, 1956).
Cela signifie que les relations entre deux ou trois concepts sont presque à la limite de la capacité de traitement de l'espace de travail. Par exemple, si une personne présente une liste de 10 à 12 lettres ou nombres à mémoriser en quelques secondes, le mieux que l'on pourra faire sera d'en retenir 5 à 9. Cependant, si les lettres peuvent être groupées pour former un mot connu, ou une unité qui ressemble à un mot, ou on peut relier les nombres à un numéro de téléphone ou à quelque chose de connu, alors on pourra en rappeler 10 et plus. Dans un test de ce genre, si nous donnons aux apprenants 10à 12 mots familiers mais non reliés à mémoriser en quelques secondes, la plupart vont se rappeler de 5à 9 mots. Si les mots ne sont pas familiers, comme des termes techniques présentés pour la première fois, l'apprenant peut arriver à se rappeler deux ou trois d'entre eux. Inversement, si les mots sont familiers et peuvent être reliés à ce que connait l'apprenant, par exemple les mois de l'année, il pourra s'en rappeler facilement 12 ou plus.

Notons que la rétention de l'information apprise par cœur s'inscrit toujours en mémoire à long terme, comme l'information apprise significativement; la différence est que dans l'apprentissage par cœur, il y a peu ou très peu d'intégration de la nouvelle connaissance à l'ancienne; ce qui résulte en deux conséquences négatives. Premièrement, l'apprentissage appris par cœur tend à s'oublier rapidement à moins de le répéter souvent. Deuxièmement, la structure de la connaissance ou structure cognitive de l'apprenant n'est pas améliorée ni modifiée pour nettoyer les fausses idées. Par conséquent, les mauvaises conceptions vont persister et la connaissance apprise aura peu ou pas d'utilité dans les apprentissages ou les résolutions de problèmes futurs (Novak, 2002).

Par conséquent, pour structurer de grands ensembles de connaissance il faut une séquence ordonnée d'itérations entre l'espace de travail et la mémoire à long terme à mesure que la nouvelle connaissance est reçue et traitée (Anderson, 1992). Nous croyons qu'une raison qui fait que la cartographie conceptuelle est si puissante pour faciliter l'apprentissage significatif est qu'elle sert comme une sorte de gabarit ou d'échafaudage qui aide à organiser la connaissance et à la structurer, même si la structure doit être construite pièce par pièce avec de petites unités de cadres conceptuels et propositionnels interactifs. Plusieurs apprenants et enseignant sont surpris de voir comment ce simple outil facilite l'apprentissage significatif et la création de cadres puissants de connaissances qui ne permet pas seulement l'utilisation de la connaissance dans de nouveaux contextes, mais aussi la rétention de la connaissance pour de longues périodes de temps (Novak, 1990; Novak et Wandersee, 1991). On connait encore relativement peu de choses sur le processus mnémonique et comment finalement la connaissance est intégrée dans notre cerveau, mais il semble évident, à partir de sources diverses de recherche, que notre cerveau travaille en organisant la connaissance en cadres hiérarchiques et que les approches d'apprentissage qui facilitent ce processus améliorent significativement le processus d'apprentissage des apprenants (Bransford et al, 1999; Tsien, 2007).

Évidemment, notre cerveau ne contient pas que des concepts et des propositions. Bien que ces derniers soient les éléments principaux qui composent nos structures de connaissance et forment notre structure cognitive dans le cerveau, marquons une pause pour parler d'autres formes d'apprentissage. *L'apprentissage iconique* implique le stockage d'images de scènes que nous visionnons, de gens que nous rencontrons, de photos et d'un hôte pour nos images. On les désigne sous le nom de souvenirs iconiques (Sperling, 1960; 1963). Bien que les images alphanumériques que Sperling a utilisées dans ses études fussent rapidement oubliées, d'autres types d'images sont retenus plus longtemps. Notre cerveau a une remarquable facilité à acquérir et retenir des images visuelles des gens et des photos. Par exemple, dans une des ses études, Shepard (1967) a présenté 612 tableaux de scènes familières à des sujets, et leur a demandé plus tard lequel des deux tableaux semblables présentés faisait partie des 612 du départ. Après la présentation, les sujets ont identifié dans une proportion de 97% le tableau qu'ils avaient vu. Trois jours plus tard, ils en ont retrouvé 92% et trois mois plus tard, ils en ont encore retrouvé 58%. Cette recherche, avec plusieurs autres, ont montré que les humains ont une disposition remarquable à se rappeler des images, bien que tôt ou tard, ils oublient plusieurs détails des images. En considérant combien de

fois nous regardons un sous, il est intéressant d'observer que les personnes, à qui on a demandé de dessiner un sous lors d'une étude menée par Nickerson et Adams (1979), omettaient plus de la moitié des éléments ou les plaçaient au mauvais endroit.

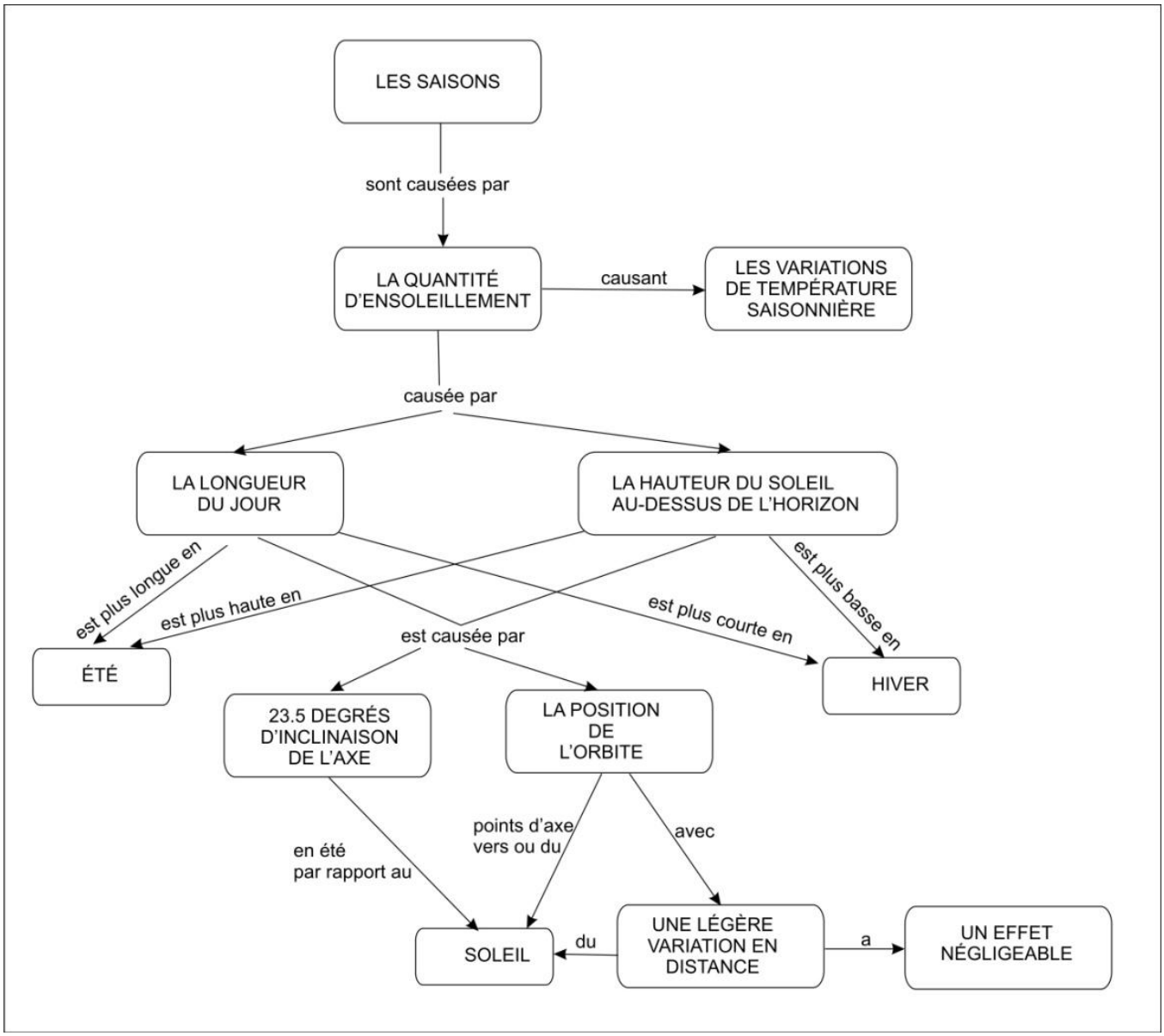
L'habileté des humains à se rappeler des sons est aussi remarquable. L'apprentissage et le rappel des sons sont aussi désignés sous le nom de mémoire *archique*. Considérons le musicien que peut jouer des centaines de chants sans lire de musique. Ici aussi, nous sommes en face de souvenirs que ne sont pas codifiés comme le sont les concepts ou les propositions. Les études de Penfield et Perot (1963), entre autres, indiquent que les régions du cerveau qui sont activées quand nous entendons des sons sont les mêmes régions qui sont actives quand nous nous rappelons des sons. Bien que nous puissions localiser les régions du cerveau qui sont activées lors de l'apprentissage ou le rappel d'information en utilisant la tomographie à émission de positrons (PET), on ne connait pas les mécanismes spécifiques avec lesquels les neurones stockent l'information. Un traitement complet des mécanismes de la mémoire va au-delà du présent document.

Il y a des différences évidentes entre les habiletés des individus et quelques-unes ont été explorées par Gardner (1983). Il a proposé une *théorie des multiples intelligences*. Son travail a reçu beaucoup d'attention des milieux d'éducation et particulièrement sur les grandes différences dans les habiletés humaines dans divers types d'apprentissage et de performance. Il est bon que les écoles reconnaissent qu'il existe plusieurs types d'habiletés humaines importantes autres que la reproduction d'information cognitive, si souvent la seule forme d'apprentissage représentée dans les tests à choix multiple utilisés dans les écoles et les entreprises. Une raison pour laquelle nous encourageons l'intégration d'un grand nombre d'activités diverses dans notre Nouveau modèle d'enseignement est que nous voulons offrir l'opportunité d'intégrer ces autres habiletés. Néanmoins, nous considérons comme très bénéfique l'organisation de cette opportunité qui associe les diverses activités à une structure de connaissance explicite. Le temps dira si les futures études de recherche vont soutenir cette hypothèse.

Bien qu'il soit vrai que certains apprenants aient de la difficulté à construire des cartes conceptuelles et à les utiliser, à tout le moins au début de leur expérience, cela semble d'abord le résultat d'années de pratique en mode d'apprentissage par cœur dans les établissements scolaires plutôt que le résultat de différences dans la structure du cerveau en soi. Les soi-disant « style d'apprentissage » sont, pour une large part, dérivée des différences dans les schèmes d'apprentissage que les apprenants ont employés variant d'un engagement élevé dans un apprentissage par cœur continu à un engagement presqu'exclusif dans un mode d'apprentissage significatif. Il n'est pas facile d'aider les apprenants à passer du premier mode d'apprentissage au second. Bien que les cartes conceptuelles puissent aider, les apprenants ont aussi besoin qu'on leur enseigne quelque chose sur les mécanismes du cerveau et sur l'organisation de la connaissance et cette formation devrait accompagner l'emploi de cartes conceptuelles. L'information dans les paragraphes précédents devrait faire partie de programmes de formation des habiletés à utiliser les cartes conceptuelles. L'information fournie dans ce document devrait faire partie de cette formation. D'autres idées pour améliorer la formation favorisant la compréhension du sujet est disponible ailleurs (Mintzes et al., 1998).

Pour illustrer comment cela peut être difficile pour les individus de modifier leurs idées, surtout s'ils ont l'habitude d'apprendre par cœur, nous citons l'exemple fourni par le Private Universe Project (PUP) de l'Université Havard (Schneps, 1989). L'équipe du PUP a interviewé 23 gradués d'Harvard, anciens et membres actuels de facultés, et leur a demandé « Pourquoi avons-nous des saisons? » Seulement sept concepts bien organisés sont nécessaires pour comprendre pourquoi nous avons des saisons et l'arrangement de ces concepts est illustré par la carte 5. Les interviewers du PUP ont découvert que 21 des 23 interviewés ne pouvaient pas expliquer pourquoi nous avions des saisons, un sujet enseigné avec répétition à l'école. Il y avait dans ce groupe un gradué qui avait récemment suivi un cours sur la physique des mouvements planétaires, qui croyait aussi faussement que les saisons étaient causées par le rapprochement de la terre avec le soleil en été et son éloignement en hiver. En fait, la terre est légèrement plus rapprochée du soleil en hiver au Massachusetts qu'en

été. Nous avons des saisons dans les latitudes éloignées de l'équateur à cause de l'inclinaison de la terre sur son axe par rapport au soleil. Il en résulte qu'en été les jours sont plus longs et la terre reçoit plus de radiation directe du soleil, par conséquent plus de chaleur. En hiver, l'axe de la terre l'éloigne du soleil donnant des jours plus courts et une radiation moins intense. Le problème avec ces 21 personnes d'Harvard est qu'ils confondent le phénomène avec une expérience commune : quand nous sommes plus près d'un feu ou d'une lampe, la chaleur est plus intense que quand nous en sommes éloignés. Par conséquent, les gens n'ont pas pus reconnaitre que le même phénomène ne s'opère pas pour donner les saisons sur terre. Ils transfèrent une connaissance d'un contexte à un autre, mais incorrectement. On observe cela souvent dans de nombreux domaines d'étude. La seule solution au problème de mauvaise compréhension est d'aider les apprenants à apprendre significativement et l'emploi de cartes conceptuelles peut être très utile. (Pour plus d'information sur les mauvaises compréhensions en science et en mathématiques, voir Novak (2002), et www.mirg.org ).




Carte 5. Une représentation la structure de connaissance requise pour comprendre pourquoi nous avons des saisons.

## Fondements épistémologique des cartes conceptuelles

Comme nous le mentionnions plus tôt, nous définissons un concept comme *une régularité (ou un patron) perçue dans des événements ou des objets*, désigné par une étiquette. Il devient de plus en plus généralement reconnu que les processus d'apprentissage significatif décrit ci-dessus sont les même qu'utilisées par les experts en science, en mathématiques ou dans les autres disciplines, pour construire la nouvelle connaissance. En fait, Novak a suggéré *que la création d'une nouvelle connaissance* n'était rien de plus que l'apprentissage significatif de niveau relativement élevé réalisé par des individus ayant une structure de connaissance bien organisée dans un domaine particulier de connaissance et aussi un engagement affectif intense pour persévérer dans la découverte de nouvelles significations (Novak, 1977, 1993, 1998). *L'épistémologie* est la branche de la philosophie qui traite de la nature de la connaissance et de la création de nouvelle connaissance. Il y a une importante relation entre la psychologie de l'apprentissage, telle qu'on la comprend aujourd'hui, et le consensus croissant parmi les philosophes et les épistémologues que la création de nouvelle connaissance est un processus constructif impliquant à la fois la connaissance et nos émotions ou l'habileté à créer de nouveaux sens et de nouvelles façons de représenter ces significations. Les apprenants essayant de créer de bonnes cartes conceptuelles sont eux-mêmes en processus de création et c'est un réel défi, en particulier pour les apprenants qui ont passé leur vie à apprendre par cœur. L'apprentissage par cœur contribue très peu sinon pas du tout à nos structures de connaissances et par conséquent ne peuvent soutenir la pensée créative ou la solution de problèmes nouveaux.

Comme on l'a défini plus haut, les concepts et les propositions sont les blocs qui servent à construire la connaissance dans un domaine. Nous pouvons utiliser l'analogie que les concepts sont comme les atomes de matières et les propositions les molécules de matières. Il n'y a environ que 10 atomes différents qui permettent de construire un nombre infini de molécules de différents types. Il y a environ 460 000 mots dans langue anglaise (beaucoup d'entre eux sont des étiquettes de concepts) que l'on peut combiner dans un nombre infini de propositions. Bien que la plupart des combinaisons de mots n'aient pas de sens, il est quand même possible de créer un nombre infini de propositions valides et qui ont du sens. Les poètes et les écrivains ne vont jamais manquer d'idées nouvelles à exprimer de façon nouvelle. Nous ne manquerons jamais d'occasions de créer de nouvelles connaissances! Tant que les gens vont créer et observer des événements ou des objets nouveaux ou existants, les gens créatifs vont continuer à créer de nouveaux contenus et de nouvelles connaissances. La création de nouvelles méthodes pour observer ou enregistrer des événements ouvre habituellement de nouvelles occasions de créer une nouvelle connaissance. Par exemple, la méthode de cartographier les concepts pour noter la compréhension de sujets a produit de nouvelles occasions d'étudier le processus d'apprentissage et la création de connaissance nouvelle.

Bien que valable l'étude détaillée du processus d'apprentissage humain et de création de connaissance, ce sujet va bien au-delà de l'objectif du présent document. Le lecteur pourra consulter les quelques références citées. Nous discuterons davantage des considérations importantes pour la construction de meilleures cartes conceptuelles et la facilitation de l'apprentissage.

## La construction de bonnes cartes conceptuelles

En apprenant à construire une carte conceptuelle, il faut commencer avec un domaine de connaissance qui soit familier à la personne qui la construit. Puisque les structures des cartes conceptuelles dépendent du *contexte* dans lequel elles sont utilisées, il vaut mieux identifier un segment d'un texte, une activité de laboratoire ou de terrain, un problème particulier, une question à laquelle on essaie de répondre ou un sujet que l'on veut

comprendre. C'est ce qui crée le contexte qui va aider à déterminer la structure hiérarchique de la carte conceptuelle. C'est aussi utile pour choisir un domaine limité de connaissance pour les premières cartes conceptuelles.

Une bonne façon de définir le contexte pour une carte conceptuelle est de construire une *question cible*, c'est-à-dire une question qui spécifie clairement le problème ou le sujet que de la carte conceptuelle est sensée résoudre. Chacune des cartes conceptuelles répond à une question cible et une bonne question cible peut conduire à une carte conceptuelle plus riche. Durant l'apprentissage à construire des cartes conceptuelles, les apprenants tendent à dévier de la question cible et à construire une carte qui peut être reliée au domaine mais ne répond pas à la question. Il arrive souvent que la première étape à apprendre quelque chose soit de poser de bonnes questions.

Quand le domaine a été choisi, que la question a été bien posée ou que le problème a bien été identifié, l'étape suivante sera d'identifier les concepts clé qui s'appliquent à ce domaine. Habituellement, 15 à 25 concepts vont suffire. On peut dresser la liste de ces concepts  et les ordonner par niveau de généralité : des plus inclusifs pour cette situation particulière au plus spécifique en haut et les moins généraux en bas de la liste. Bien que cette mise en rang ne soit pas précise, elle aide à commencer la construction de la carte. Cette liste est dans un lot de concepts disponibles puisque nous allons déplacer ces concepts dans la carte conceptuelle à mesure que nous déterminons l'endroit où ils iront. Certains concepts peuvent demeurer dans cet lot à la fin de l'opération n'ayant pas trouvé de lien pertinents avec les autres concepts de la carte.

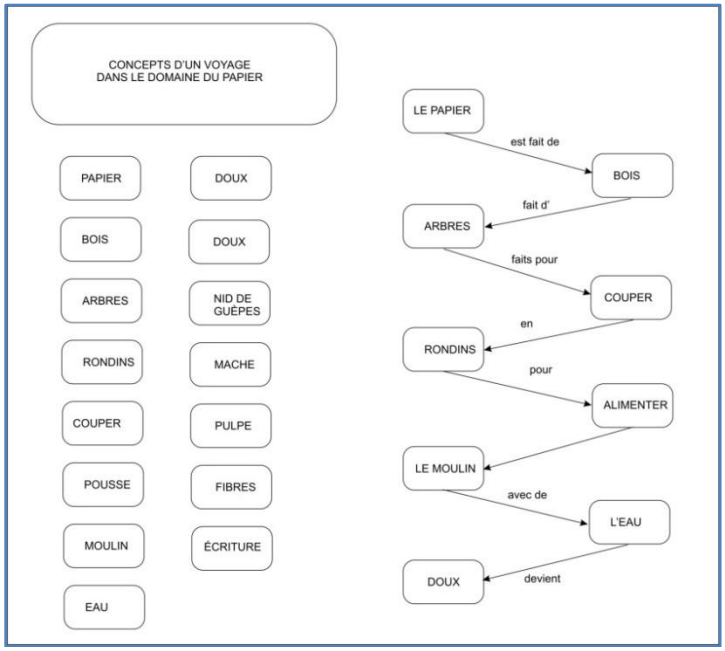
À l'étape suivante, on construit une carte conceptuelle préliminaire. On peut effectuer cette opération en écrivant tous les concepts sur des « Post-its » ou ce qui est encore mieux en utilisant le logiciel des outils de l'IHMC Cmaps (Canas et al., 2004 b, http://cmap.ihmc.us/) décrit ci-dessous. Les « Post-its »permettent à un groupe de travailler sur un tableau et de déplacer les concepts à volonté. C'est nécessaire si l'on commence à travailler avec le processus de construction d'une bonne organisation hiérarchique. Les logiciels sont encore plus efficaces parce qu'ils permettent de déplacer les concepts avec les énoncés les liant et les groupes de concepts et liens pour structurer la carte. En utilisant « Cmap Tools » avec un projecteur d'ordinateur, plusieurs personnes peuvent collaborer à la construction d'une carte conceptuelle et voir les changements à mesure qu'ils progressent dans leur travail. « Cmaps Tools » permet aussi une collaboration entre personnes dans la même pièce ou n'importe ou dans le monde et les cartes peuvent se construire de manière synchronisée ou non selon l'horaire des cartographes.

Il est important de savoir qu'une carte conceptuelle n'est jamais finie. Après avoir construit la carte préliminaire, il est toujours nécessaire de la réviser. On peut ajouter d'autres concepts. Les bonnes cartes sont habituellement le résultat d'au moins trois révisions. C'est la raison pour laquelle l'usage de l'ordinateur est important.

Une fois la carte préliminaire terminée, on doit chercher les liens croisés. Ce sont les liens entre les concepts dans différents segments ou domaines de connaissance sur la carte; ils aident à illustrer comment ces domaines sont liés entre eux. Les liens croisés sont importants pour montrer que l'apprenant comprend les relations entre les sous-domaines dans la carte.

Après avoir construit la carte préliminaire, on devrait envisager les « liens croisés ». Ce sont les liens entre les concepts dans des segments ou des domaines de connaissance différents sur la carte qui nous aident à illustrer comme ces domaines sont reliés entre eux. Les liens croisés sont la clé qui nous indique si l'apprenant comprend les relations entre les sous-domaines de la carte.

Il est important d'aider les apprenants à reconnaitre que tous les concepts sont reliés d'une façon ou d'une autre entre eux. Par conséquent, il faut choisir minutieusement les liens croisés et aussi précisément que possible les mots qui connectent les concepts. De plus, on devrait éviter les « phrases dans les boîtes », c'est-à-dire les phrases complètes utilisées comme concepts, puisque cela indique habituellement qu'une sous-section entière de la carte pourrait être construite à partir de l'énoncé dans la boîte. Les cartes sous forme de « chaînes » démontrent plutôt une faible compréhension du matériel ou un restructuration inadéquate de la carte. Le schéma 6 présente un exemple d'une carte « chaîne ».




Carte 6. Une carte "chaîne" crée par un élève de 4e année en train de suivre un cours sur les papetières. Le cours a identifié les concepts dans un lot de concepts disponibles à gauche, mais cet élève n'a pas réussi à utiliser beaucoup de ceux-ci et sa carte a peu de sens. Cet élève était un bon lecteur mais avait une compréhension limitée et apprenait par cœur (voir Novak et Gowin, 1984, page 108).

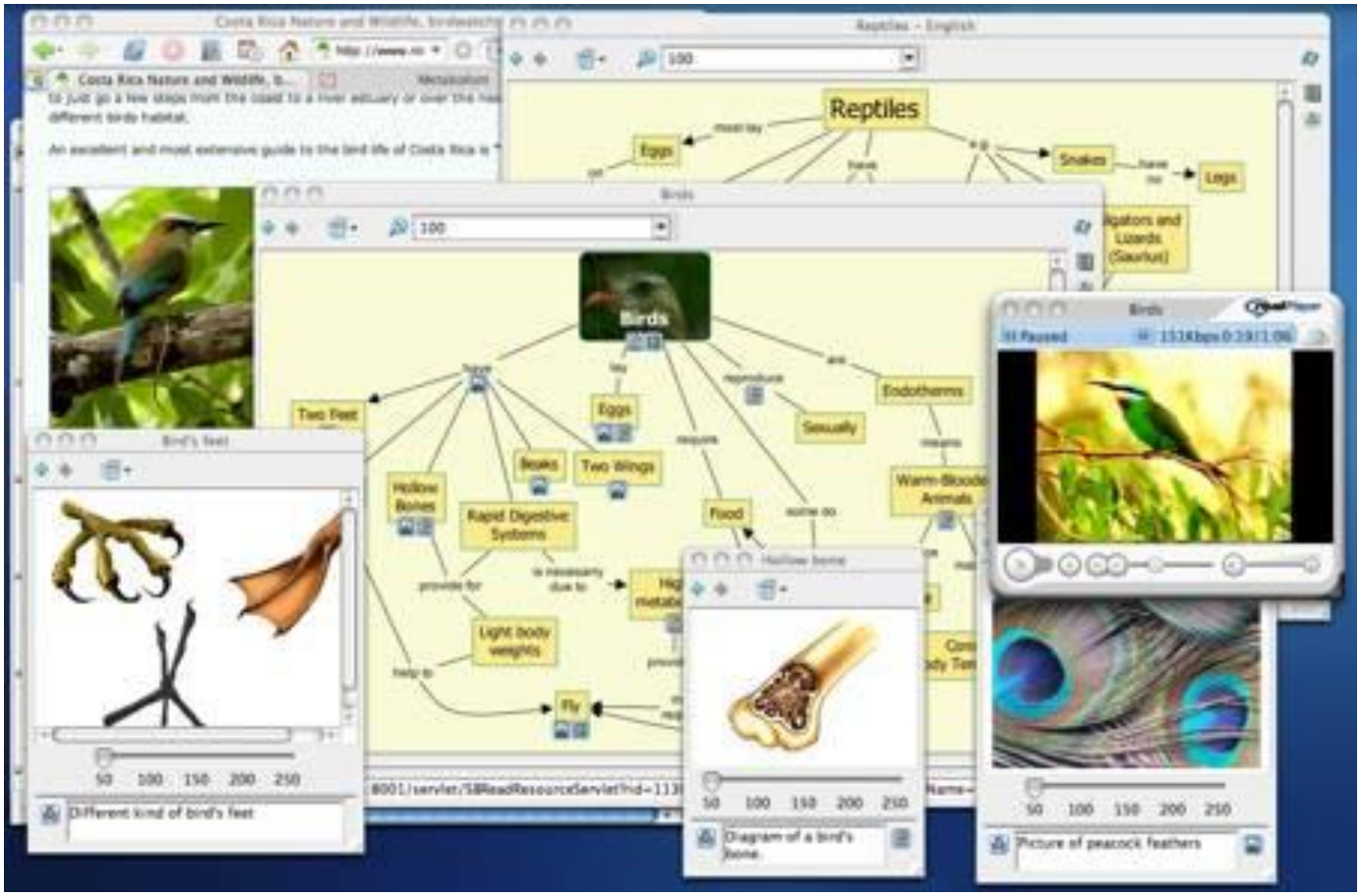
Les étudiants commentent souvent qu'il est difficile d'ajouter des mots liens sur les « lignes » de leur carte conceptuelle. C'est parce qu'ils ne comprennent pas suffisamment la relation entre les concepts ou les significations des concepts et que ce sont les mots liens qui spécifient cette relation. Aussitôt que les étudiants se concentrent sur les bons mots liens et sur l'indentification des bons liens croisés, ils peuvent voir que chaque concept peut être relié à n'importe quel autre concept. Cela produit quelque frustration et ils doivent choisir d'identifier les liens croisés les plus pertinents et le plus utiles. Ce processus implique ce que Bloom (1956) identifiait comme des niveaux élevés de performance cognitive, nommément l'évaluation et la synthèse de la connaissance. La cartographie conceptuelle est une façon aisée d'encourager les niveaux très élevés de performance cognitive, quand le processus est bien conduit. C'est là une des raison pour laquelle la cartographie conceptuelle est un outil d'évaluation très puissant. (Edmondson, 2000).

Finalement, on devrait réviser la carte, repositionner les concepts de manière à clarifier et mieux structurer la carte « finale ». Quand on utilise le logiciel, l'on peut revenir en arrière, changer la taille et le style de police et ajouter des couleurs pour « habiller » la carte conceptuelle.

Ainsi, nous voyons que les cartes conceptuelles ne sont pas seulement un outil puissant pour saisir, représenter et archiver la connaissance d'un individu mais aussi pour créer de la nouvelle connaissance.

## La boîte à outils du logiciel « Cmap Tools »

Le logiciel "CmapTools" (Canas et al., 2004b, disponible sur : http://cmap.ihmc.us/ , développé à l'Institute for Human and Machine Cognition, rassemble les forces de la cartographie conceptuelle et la puissance de la technologie, particulièrement l'internet et le Web. Le logiciel non seulement facilite pour les usagers de tous âges la construction et la modification des cartes conceptuelles de la même manière qu'un logiciel de traitement de texte facilite l'écriture, il permet aux usager de collaborer à distance à la construction de leurs cartes, de publier leurs cartes conceptuelles de telle sorte que n'importe qui sur internet puisse accéder à ceux-ci, de lier les ressources à leurs cartes pour mieux expliquer leurs contenus et de chercher sur le net l'information reliée à la carte.




Carte 4. Une carte conceptuelle sur les oiseaux construite par un étudiant du secondaire. Les icônes sous les concepts fournissent les liens aux ressources (par ex. les images, les dessins, les pages web, les vidéos et autres cartes conceptuelles), dont certains sont présents sur le schéma.

Le logiciel permet à l'usager de lier les ressources (photos, images, graphiques, vidéos, cartes, tableaux, textes, pages Web et d'autres cartes) localisées n'importe où sur le net ou dans des dossiers personnels aux concepts ou aux mots liens dans une carte conceptuelle par une simple opération de « copier-coller ». Les liens avec ces ressources sont affichés en icônes sous-tendant les concepts, comme le présente le schéma 7. En cliquant sur l'une de ces icônes, s'affiche une liste de liens que l'usager peut choisir d'ouvrir la ressource liée. En utilisant CmapTools, il est possible d'employer les cartes conceptuelles pour accéder à n'importe quel type de matériel présenté digitalement, y compris les matériaux préparés par le créateur de carte. De cette façon, les cartes conceptuelles peuvent servir d'outils d'indexage et de navigation pour les domaines complexes de connaissance, comme ce sera illustré par les documents de la NASA sur mars (Briggs et al., 2004). En facilitant le liage entre les cartes conceptuelles, les apprenants peuvent construire des *Initiale d'experts de connaissance* (Canas et al., 2003b; Canas et al. 2003; Canas et al., 2005), qui sont des collections de cartes conceptuelles avec

des ressources liantes sur un sujet particulier, démontrant que leur compréhension sur un domaine n'est pas lié à une seule carte conceptuelle.

### *Pour faciliter l'apprentissage collaboratif et l'apprentissage à distance*

Il y a de plus en plus de recherches qui montrent que quand les étudiants travaillent en petits groupes et coopèrent pour s'efforcent d'apprendre un sujet, on obtient des résultats affectifs et cognitifs positifs (Johnson et al., 1981; Berk et Winsler, 1995). Vygotsky (1978) a suggéré l'idée que le langage et le dialogue social peuvent soutenir l'apprentissage, surtout quand des membres d'un groupe social sont à peu près dans la même zone de développement proximal (ZPD). Il décrit la ZPD comme le niveau de compréhension d'un sujet donné quand l'apprenant peut progresser par lui/elle-même, avec le minimum d'aide d'un tuteur. Quand les étudiants travaillent en coopération en groupe et utilisent les cartes conceptuelles pour guider leur apprentissage, un apprentissage significativement plus grand survient (Preszler, 2004). Dans notre travail avec les enseignants et les étudiants, nous avons eu la preuve que de petits groupes travaillant en équipe de manière coopérative construisent des cartes conceptuelles plus transférables à plusieurs contextes. Au début des années 1990, en Amérique Latine, les enseignants qui utilisaient IBM Net (avant l'internet) réussissaient très bien à créer des cartes conceptuelles avec leurs étudiants dans leurs classes comme avec des étudiants dans d'autres pays (Canas et al., 2001). Dans nos propres classes et ateliers, et dans les classes enseignées par d'autres étudiants et collègues, de petits groupes d'étudiants travaillant en équipe de manière coopérative pour construire des cartes conceptuelles peuvent produire des cartes remarquablement bonnes.

CmapTools fournit un soutient étendu au travail en équipe durant la construction de cartes conceptuelles. On peut stocker celles-ci sur des serveurs (CmapServers, voir Canas et al., 2003a) permettant à n'importe quel internaute de les consulter. Plusieurs de ces Cmaps-Serveurs sont « publics », permettant à quiconque (aucune autorisation nécessaire) de publier ses collections de cartes conceptuelles et ses ressources (Canas et al., 2004a). Par les Cmaps-Serveurs, les usagers de tous âges et travaillant dans plusieurs disciplines ont publié des milliers de cartes sur tous les sujets et domaines. Bien que les cartes conceptuelles sur ces serveurs publics ne soient que des exemples de cartes conceptuelles soumises par des personnes utilisant CmapTools, et que certaines ne respectent pas nos critères de bonnes cartes conceptuelles, celles-ci servent néanmoins à illustrer diverses applications. Quand une carte conceptuelle est sauvegardée sur un Cmap-Serveur, une version en page web de la carte est aussi stockée, de sorte qu'un fureteur WWW suffit pour explorer toutes les cartes conceptuelles.

Par le stockage de cartes conceptuelles sur des serveurs Cmap, CmapTools facilite la collaboration entre les usagers qui construisent les cartes. Quand les cartes sont stockées sur un serveur sur Internet, les usagers ayant les autorisations appropriées (Canas et al., 2003c) peuvent éditer les cartes conceptuelles partagées en même temps (de manière synchrone) ou à leur convenance (asynchrone). On peut utiliser les « éléments de discussion » et les « annotations » sous la forme de « Post-it » électronique pour faire des commentaires anecdotiques sur des cartes conceptuelles our durant leur construction. Le très grand degré d'explicitation des cartes conceptuelles en font un véhicule idéal pour les échanges d'idées ou pour la construction collaborative d'une nouvelle connaissance. Nous avons aussi trouvé que les obstacles provenant d'insécurité personnelle et de peur d'ennuyer les autres sont largement limités, puisque les commentaires sont dirigés sur la carte conceptuelle, pas sur son auteur. Des apprenants commentant les cartes d'autres apprenants, qu'ils soient ou non dans le même espace, est un outil efficace de collaboration et de révision par les pairs. Le support étendu que CmapTools fournit à la construction en collaboration des cartes conceptuelles en groupes, qu'ils soient ou non dans le même lieu physique, a encouragé l'emploi croissant de la collaboration durant la construction de carte. Dans une variété de dispositifs éducatifs, la cartographie conceptuelle en petits groupes nous a servi dans des tâches aussi diverses que la compréhension des idées en théorie de l'apprentissage par assimilation pour clarifier et solutionner des conflits de travail, dans des organisations à but lucratif ou non (par ex. Beirute &

Mayorga, 2004. On commence à utiliser les cartes conceptuelles dans des organisations pour aider les équipes à clarifier et articuler la connaissance nécessaire pour résoudre des problèmes allant de la conception de nouveaux produits à la résolution de problèmes de marketing ou d'administration.

# Un nouveau modèle d'enseignement

### *Un environnement d'apprentissage centré sur la carte conceptuelle*

CmapTools fournit une variété d'outils qui permettent aux formateurs d'employer les cartes conceptuelles dans une variété de tâches que les étudiants doivent accomplir (Canas et Novak, 2005). En plus d'un environnement de réseau qui favorise la collaboration et la possibilité de construire des initiale d'experts de connaissance, le logiciel permet à l'usager, entre autres choses :

a) de rechercher une information basée sur une carte conceptuelle (Carvalho et al. 2001). Par exemple : un étudiant peut utiliser le Cmap pour chercher une information pour en apprendre plus sur un sujet, menant à une carte améliorée avec des ressources liées et itérativement procéder à une autre recherche.
b) d'enregistrer le processus de construction d'une carte conceptuelle pour la regarder plus tard, fournissant un soutien à un enseignant dans ce que l'on considère un aspect clé de la cartographie conceptuelle : le processus de construction d'une carte;
c) d'afficher logiquement une carte conceptuelle et ses ressources associées en présentation plein écran durant une présentation ou une conférence;
d) de comparer graphiquement deux cartes conceptuelles, permettant à l'enseignant de comparer la carte d'un étudiant à la sienne pour une évaluation formative.

(Le concept de carte conceptuelle peut alors devenir un artéfact autour duquel on peut organiser diverses activités d'apprentissage, comme illustré dans le schéma 8.

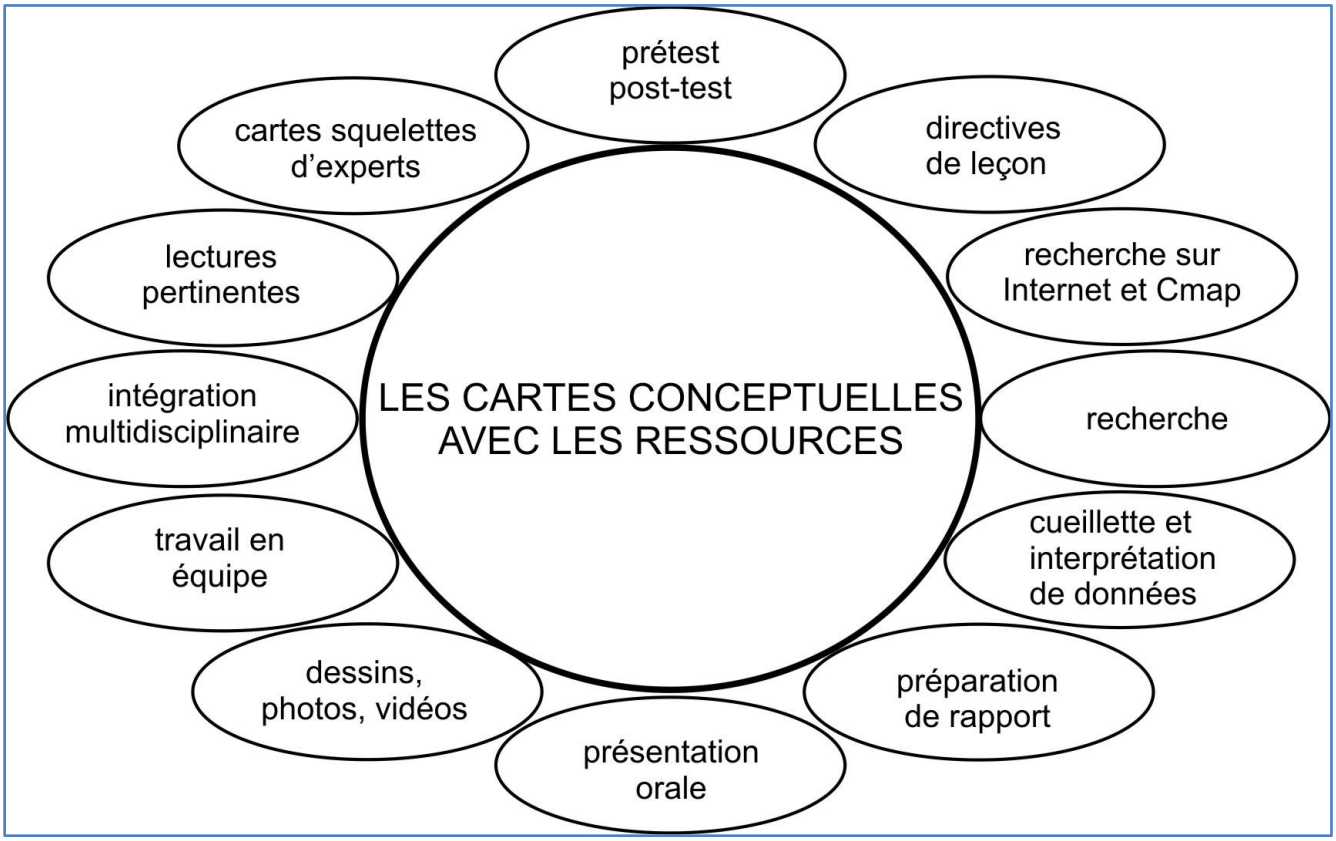
En utilisant les outils de CmapTools, l'étudiant peut utiliser la carte conceptuelle comme :

- un pré-test à l'apprentissage;
- une étape initiale à l'apprentissage d'éléments de connaissance nécessaires pour mieux apprendre;
- une base sur laquelle accomplir la recherche conduisant à cette compréhension,
- une façon d'organiser les diverses sources à partir desquelles l'étudiant va construire sa compréhension;
- un artefact avec lequel il pourra collaborer avec ses pairs; et
- un moyen de présenter ses découvertes à la fin de l'unité de formation

De plus, les cartes conceptuelles construites par les étudiants peuvent devenir la base d'un portfolio d'évaluation (Voir Vitale et Romance, 2000) de sa performance.

### *Question cible, lot de concepts disponibles et carte initiale d'experts*

Un environnement d'apprentissage centré sur la carte conceptuelle implique que les cartes conceptuelles soient utilisées tout au long du développement d'une unité ou d'un module d'apprentissage. Les cartes conceptuelles dans cet environnement sont bien mieux employées comme mécanisme pour déterminer le niveau de compréhension que des étudiants ont d'un sujet à étudier avant sa présentation. Les cartes sont développées, améliorées et raffinées à mesure que les étudiants développent d'autres activités sur le sujet et accroissent leur compréhension, possiblement en concluant avec des initiale d'experts de connaissance complexes qui lient des ressources, des résultats, des expériences, etc., et que l'étudiant peut utiliser au besoin dans une présentation finale. Comme il y a de multiples usages des cartes conceptuelles dans les activités en classe, il y a une variété de « points de départ » pour que les étudiants construisent les cartes conceptuelles initiales.



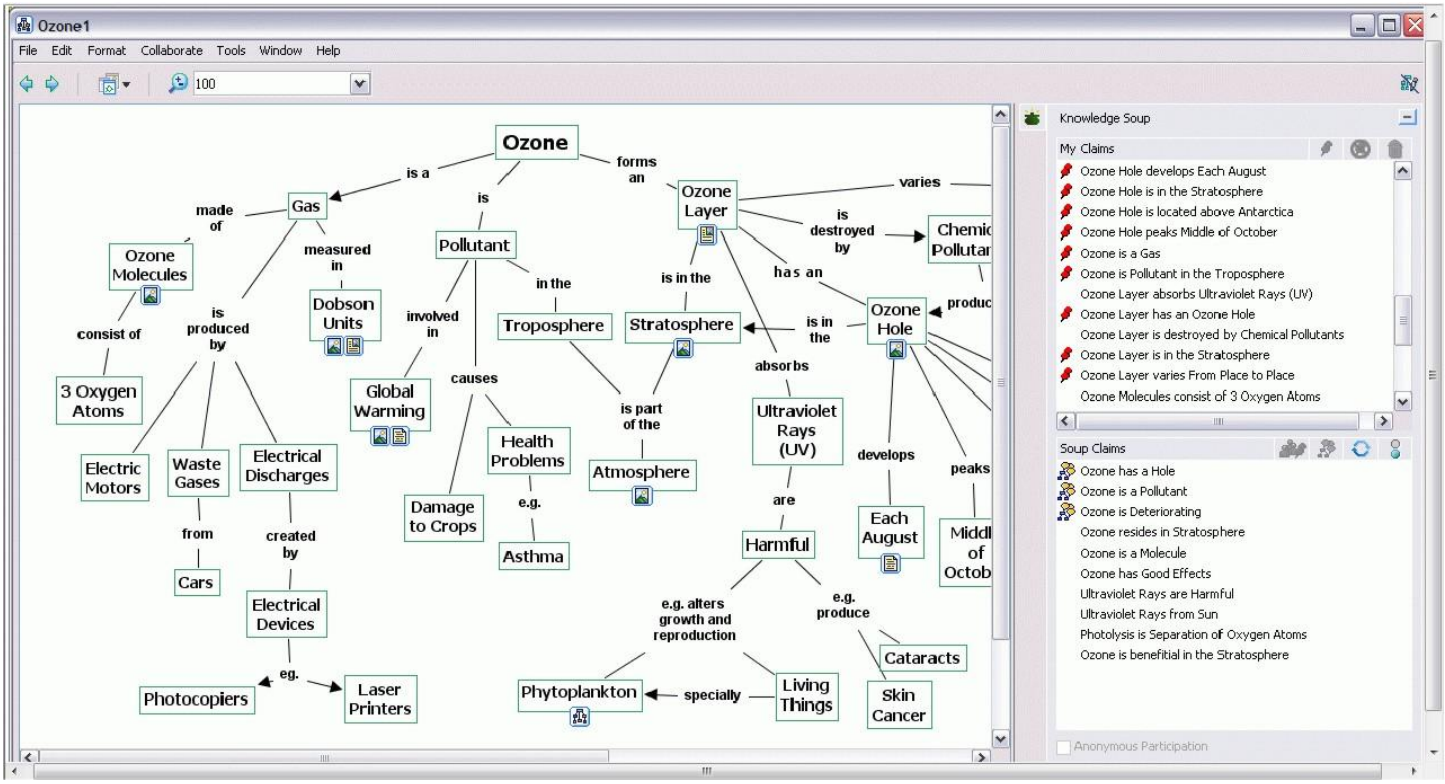

Carte 8. En utilisant CmapTools, on peut intégrer un grand nombre d'activités d'apprentissage en incorporant diverses activités d'apprentissage enregistrées via le logiciel créant un portfolio électronique servant de produit d'apprentissage.

Chaque étudiant peut construire la carte conceptuelle initiale, permettant à l'enseignant d'évaluer son niveau de compréhension. Si chaque individu construise la carte, les étudiants pourront collaborer à la Soupe de connaissance (Canas et al., 1995; Canas et al., 2001), où les étudiants pourront partager des propositions sans voir les cartes des autres (voir schéma 9). La carte conceptuelle peut être construite par les étudiants travaillant en couple ou en équipe, où l'enseignant doit porter attention au niveau de participation de chaque étudiant. CmapTools a un enregistreur qui permet d'enregistrer et revoir les étapes de la construction, y compris l'identification de chaque contributeur.

La carte conceptuelle peut aussi être l'effort de toute la classe, avec un projecteur, où tous les étudiants donnent leur opinion et participent à la construction de la carte. Les enseignants doit être vigilants pour évaluer la participation de chaque étudiant.

De même, le point de départ à partir duquel la carte est construite peut varier selon la compréhension préalable attendue des étudiants, la difficulté et la nouveauté du sujet et la confiance de l'enseignant à maîtriser le sujet.

### *Question Cible*



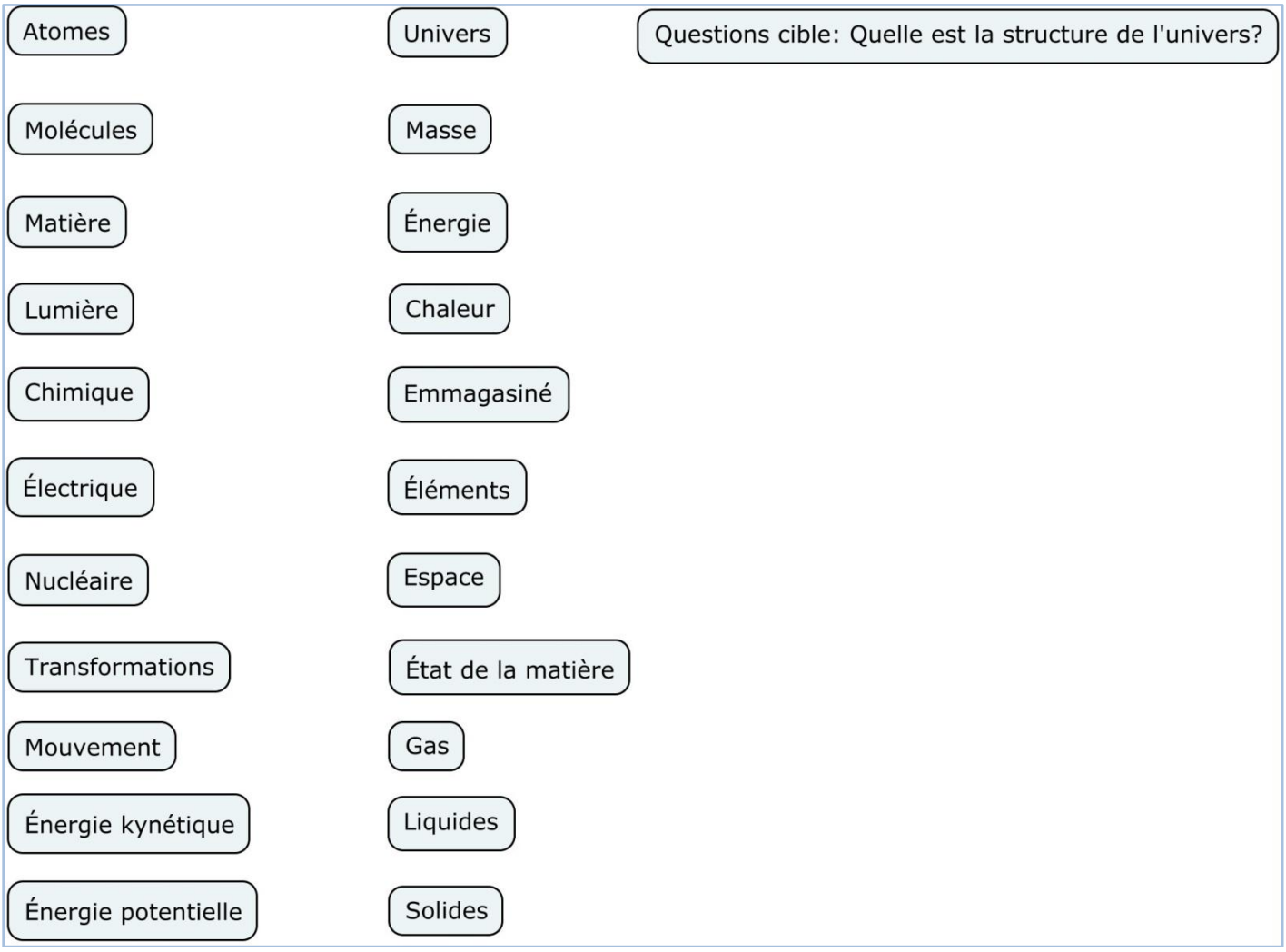

Carte 9. La carte conceptuelle fait partie de la Soupe collaborative de connaissance. La liste de propositions en haut de la fenêtre de droite est automatiquement dérivée de Cmap et ceux qui sont précédés d'une « punaise » ont été « publiés ». La partie inférieure de la fenêtre de droite présente les propositions des autres participants à la Soupe, certains ayant des documents attachés questionnant ou commentant la proposition.

Le point de départ pour construire une carte conceptuelle peut simplement consister par une question cible. Par exemple, « Comment mesure-t-on le temps? » peut être proposé aux étudiants comme question à répondre avec la construction d'une carte conceptuelle. Le type de question cible fait une différence dans le type de carte conceptuelle que l'étudiant construit. Une question comme « Qu'est-ce que les plantes? » va conduire à une carte conceptuelle déclarative davantage axée sur la classification que la question « Pourquoi avons-nous besoin des plantes? ». Les expériences ont montré que non seulement la question cible mais aussi le concept fondamental d'une carte conceptuelle a une influence énorme sur la qualité de la carte conceptuelle résultante (Derbentseva et al., 2004, 2006). C'est important qu'une question soit fournie et pas seulement un sujet (par exemple « faites une carte conceptuelle sur les plantes »). Chaque fois qu'une carte conceptuelle est construite avec CmTools et sauvegardée, le développeur doit fournir une question cible et les concepts clés d'une carte conceptuelle.

### *Lot de concepts disponibles*

On appelle lot de concepts disponible la liste de concepts en attente d'être insérés dans une carte conceptuelle. Le point de départ de la construction d'une carte conceptuelle peut être une liste de concepts que l'enseignant veut que les étudiants insèrent dans leur carte conceptuelle. Un exemple de cela est présenté au schéma 6

précédent. Le schéma 10 présente la question cible et le lot de concepts disponibles pour la question cible « Quelle est la structure de l'univers ? » L'étudiant, le groupe d'étudiants ou la classe entière doit construire une carte conceptuelle qui réponde à la question et comprenne au moins les concepts de la liste. Les développeurs de carte conceptuelle expérimentés sont d'accord avec les chercheurs que l'aspect le plus exigeant et difficile dans la construction d'une carte conceptuelle est la construction des propositions; c'est-à-dire la détermination des phrases liens qui vont clairement dépeindre la relation entre les concepts. Ainsi, le fait de donner certains des concepts aux étudiants ne contourne pas la difficulté dans la construction de la carte, bien que cela puisse limiter quelque peu la créativité de l'étudiant à choisir les concepts à inclure. Cela fournit à l'enseignant des pistes pour voir quels sont les concepts avec lesquels les étudiants ont de la difficulté à intégrer dans la carte conceptuelle, indiquant peu ou pas de compréhension de ces concepts.

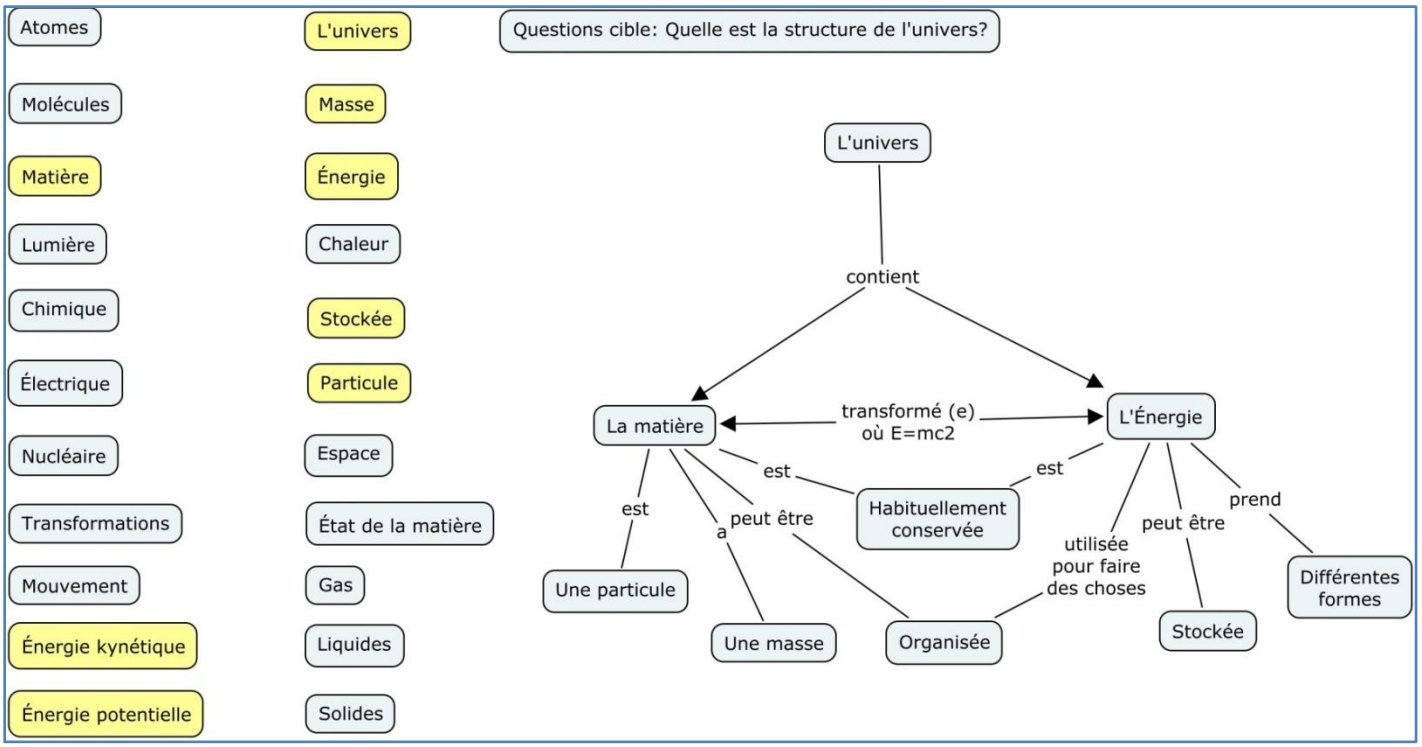



Carte 10. Le début d'une carte conceptuelle avec une question cible et un lot disponible de concepts à inclure dans la carte.

### *Les cartes « initiale d'expert »*

Pour des sujets difficile – difficulté pour les étudiants déterminée par l'expérience antérieure de l'enseignant, ou difficulté pour l'enseignant à cause de sa formation – en utilisant la carte conceptuelle « initiale d'expert » est une alternative. Une carte conceptuelle initiale d'expert a été préalablement construite par un expert sur le sujet. Elle permet aux étudiants comme aux enseignants de bâtir leur connaissance sur un fondement solide. La carte conceptuelle « initiale d'expert » sert de guide ou d'échafaudage ou d'aide pour apprendre d'une manière analogue à utiliser le initiale d'expert lors de la construction ou la rénovation d'une construction.

Le schéma 11 est une carte conceptuelle “initiale d’expert » correspondant au même sujet que le lot de concepts disponible du schéma 10. Observons que dans cet exemple, certains concepts n’ont pas servi à la carte conceptuelle.



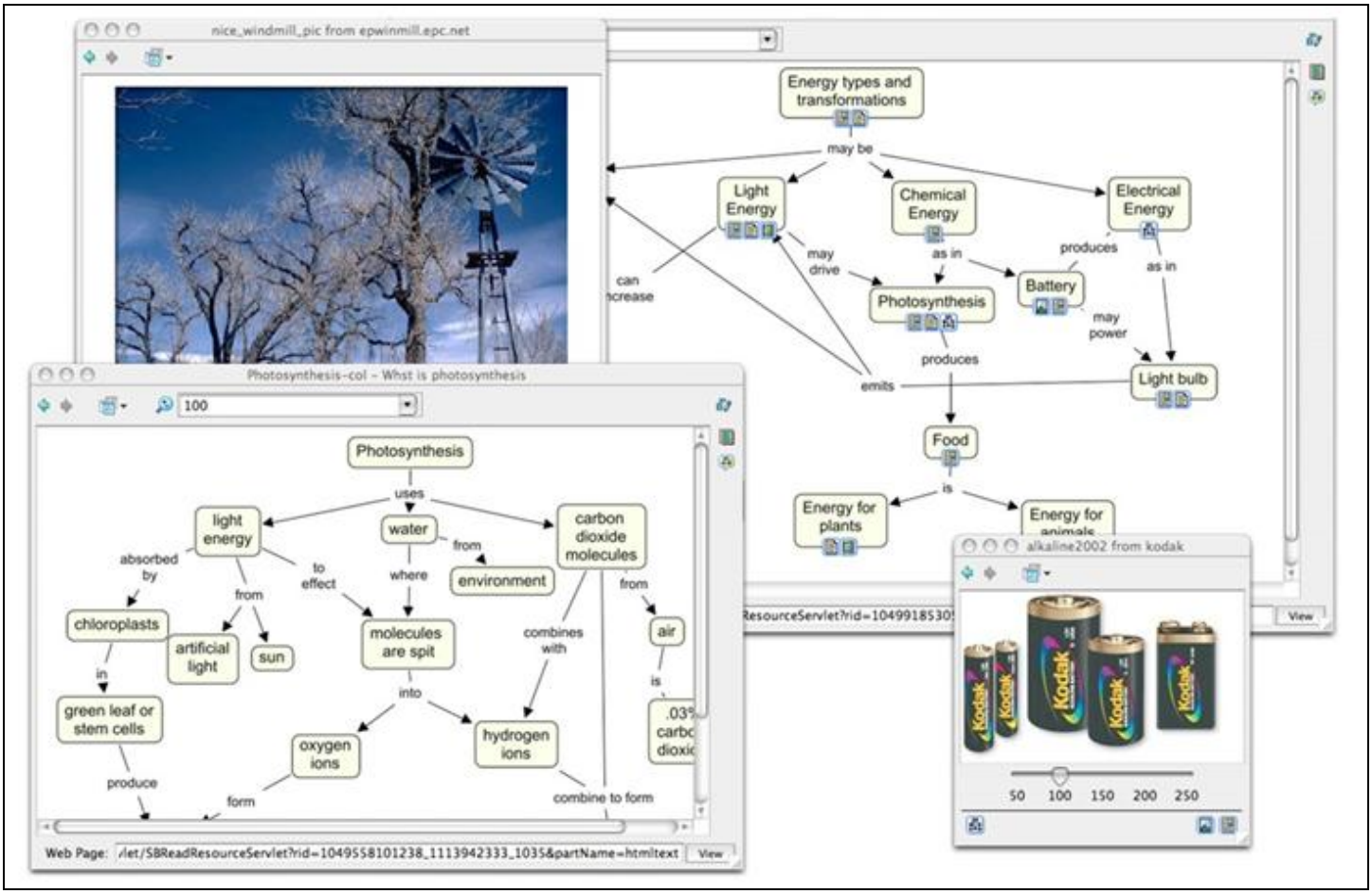

Carte 11. Une carte conceptuelle initiale d’expert traitant d’un concept clé comme fondement nécessaire à comprendre pour l’apprentissage en science, basée sur le lot de concepts disponibles de la figure 10. Certains concepts ont été laissés dans le lot pour les étudiants les ajoutent au Cmap.

L’emploi des cartes conceptuelles initiale d’experts sont un sujet de recherche que nous poursuivons et pour lequel nous n’avons pas autant d’expérience qu’avec la question cible et le lot de concepts disponibles comme points de départ. O’Donnel, Dansereau et Hall (2002) ont montré que les « cartes de connaissance » peuvent agir comme échafaudage pour faciliter l’apprentissage.

Il est important de noter que les cartes conceptuelles initiale d’experts devraient être construites par un expert du sujet. Le but est que l’expert sera meilleur pour choisir le plus petit nombre possible de concepts essentiels à la compréhension du sujet et exprimer les adéquatement les relations entre ces concepts. En général, il est plus difficile de construire une carte conceptuelle adéquate et pertinente quand il y a un petit nombre de concepts (par ex. quatre ou cinq) qu’avec une quinzaine ou une vingtaine de concepts.

Il n’y a pas de grandeur prédéterminée pour les cartes conceptuelles « initiale d’expert ». Mais le nombre final de concepts attendus dans la carte est fonction du nombre de concepts dans le initiale d’expert. Par exemple, une carte initiale d’expert consistant en cinq concepts devrait pouvoir s’étendre de 15 à 20 concepts. Si la carte conceptuelle contient 20 concepts, ce qui en fait une carte plus que complète, la carte finale attendue contiendra 20 à 30 concepts. Dans ce cas, nous sommes probablement en présence d’une carte relativement complète (pas initiale d’expert) comme échafaudage, s’attendant à ce que les étudiants creusent plus profondément dans le sujet en créant plusieurs sous-cartes qui seront liées à la carte qui a servi de point de départ.

Nous prévoyons un programme en utilisant les cartes « initiale d'expert » pour permettre d'échafauder l'apprentissage avec le développement d'une série de cartes conceptuelles dans une discipline, en commençant avec les idées les plus générales et inclusives et en allant graduellement vers des cartes conceptuelles plus spécifiques qui vont guider les apprenants. Par exemple, le schéma 11 présente une carte conceptuelle « initiale d'expert » pour les sciences qui englobe les grands concepts clé nécessaires pour comprendre la science. Les apprenants peuvent commencer avec une carte de ce genre, ajouter des concepts à partir d'un lot de concepts disponibles, lier les ressources digitales et construire aussi des sous-cartes plus spécifiques. On peut aussi fournir des cartes conceptuelles plus spécifiques d'experts comme celle présentée dans le schéma 12. Ici nous voyons aussi une sous-carte qui aurait pu être créée par un groupe d'apprenants et un exemple de deux ressources accessibles via des icônes sur la carte.




Carte 12. On pourrait accéder à cette Cmap sur la transformation d'énergie en la reliant au concept d'énergie de la carte conceptuelle du schéma 11, et une Cmap sur la photosynthèse qui pourrait lui être liée.

Un des avantages à utiliser CmapTools pour échafauder l'apprentissage est la fonction de recherche mentionnée plus tôt. Celle-ci permet d'accéder aux ressources sur Internet que l'on peut sélectionner pour s'ajuster au contexte de significations défini de la carte conceptuelle (Carvalho et al., 2001; Leake et al., 2004). Par conséquent, si l'on clique sur un concept comme « l'énergie électrique » de la figure 12 et que l'on choisit une des options « recherche » du menu, CmapTools va retrouver des ressources internet qui ne vont pas seulement toucher l'électricité mais aussi celles qui sont reliées à d'autres concepts de la carte. Le programme essaie d'envisager ce qu'est la Cmap et prépare une requête pour les engins de recherche sur le web qui vont engendrer des résultats pertinents à l'idée à développer dans la carte conceptuelle. Bien sûr, l'apprenant a toujours besoin de choisir de nouveaux concepts à partir du matériel et construire de nouvelles propositions sur la carte conceptuelle qui ajoute des significations et de la clarification à la carte. Par conséquent, l'apprenant ou

l'équipe d'apprenants est très activement engagé dans le processus de construction du sens, une exigence essentielle pour que l'apprentissage significatif survienne.

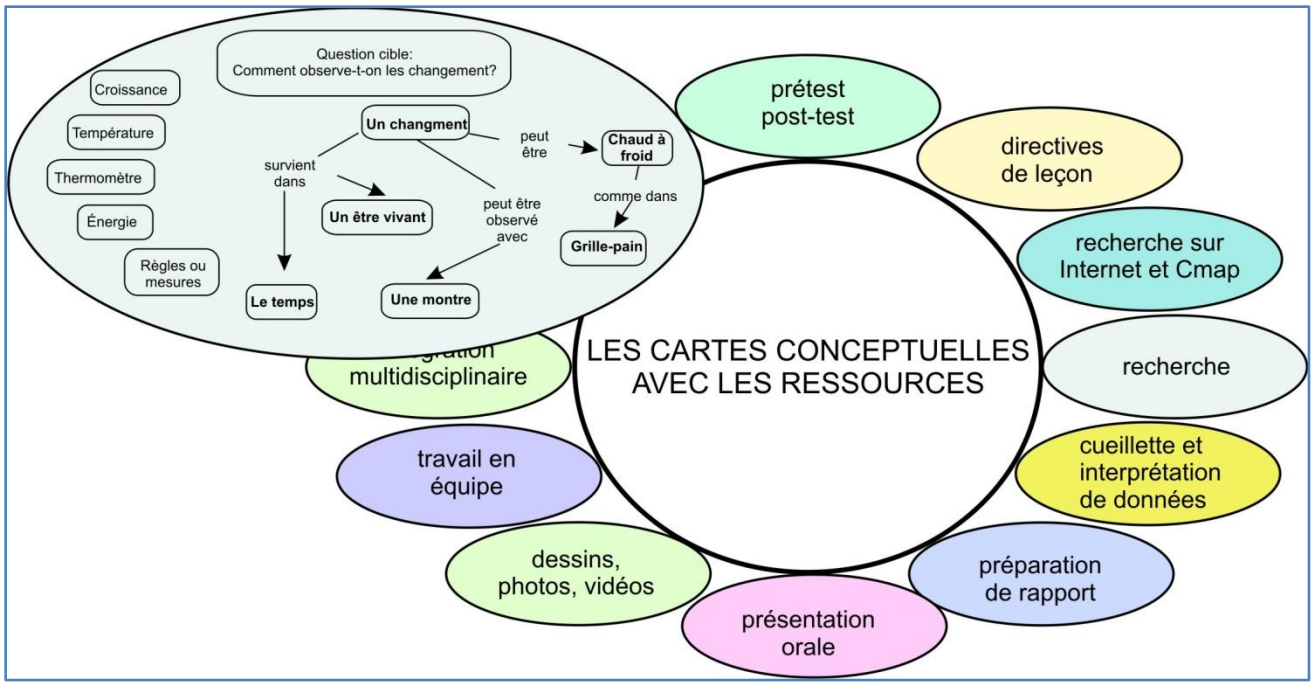
Les apprenants peuvent aussi s'impliquer dans des études de laboratoire ou de terrain qui vont ajouter d'importantes expériences concrètes et nécessaires au développement complet des significations au concepts et parfois à l'enthousiasme qui monte avec la découverte de nouvelles idées et relations.

Les matériaux et les idées que l'on peut construire en structure de connaissance en utilisant les cartes conceptuelles « initiale d'expert », CmapTools et les ressources internet surpassent de loin ce qu'un manuel ou un enseignant peut fournir. En fait, les enseignants qui supervisent ce genre d'étude vont apprendre autant de choses que leurs étudiants. De plus, en commençant avec des cartes « initiale d'expert » on réduit les chances de confusion ou d'idées fausses soutenues par des apprenants ou des enseignants tout en augmentant les chances qu'ils construisent des structures de connaissance qui vont avec le temps réduire ou diminuer les confusions (Novak, 2002).

### *Le projet « Le monde de la science »*

En 1966, Bobbs-Merill a publié une série de manuels sur les éléments de base de la science, « The World of Science » (Le monde de la science), rédigé en grande partie par Novak dans le but d'initier les élèves et les enseignants aux concepts de base de la science. Contrairement à la plupart des manuels élémentaires en science, cette série présente pédagogiquement en profondeur les concepts de base pour tous les niveaux d'enseignement, y compris l'enseignement des concepts traitant de la nature de la science, la nature de la matière, de l'énergie et des transformations de l'énergie. Les volumes ont été numérisés et un DVD de tous les six volumes est disponible. Notre plan est d'utiliser ces volumes sur le monde de la science comme point de départ d'une démonstration d'un projet de modèle d'enseignement de nouveau genre. Pour commencer, les cartes conceptuelles « initiales d'expert » ont été préparées pour des parties du deuxième niveau (volume 2) et pour tout le quatrième niveau (volume 4) du Monde de la science intitulé « The Expanding World of Science » (L'expansion du monde de la science). Toutes ces cartes conceptuelles sont disponibles au grand public sur CmapTools Network[2].

[2] Aller à : http://cmapdp.ihmc.us, Cliquer sur "IHMC Public Cmaps (2)", puis sélectionner le classeur "The World of Science".

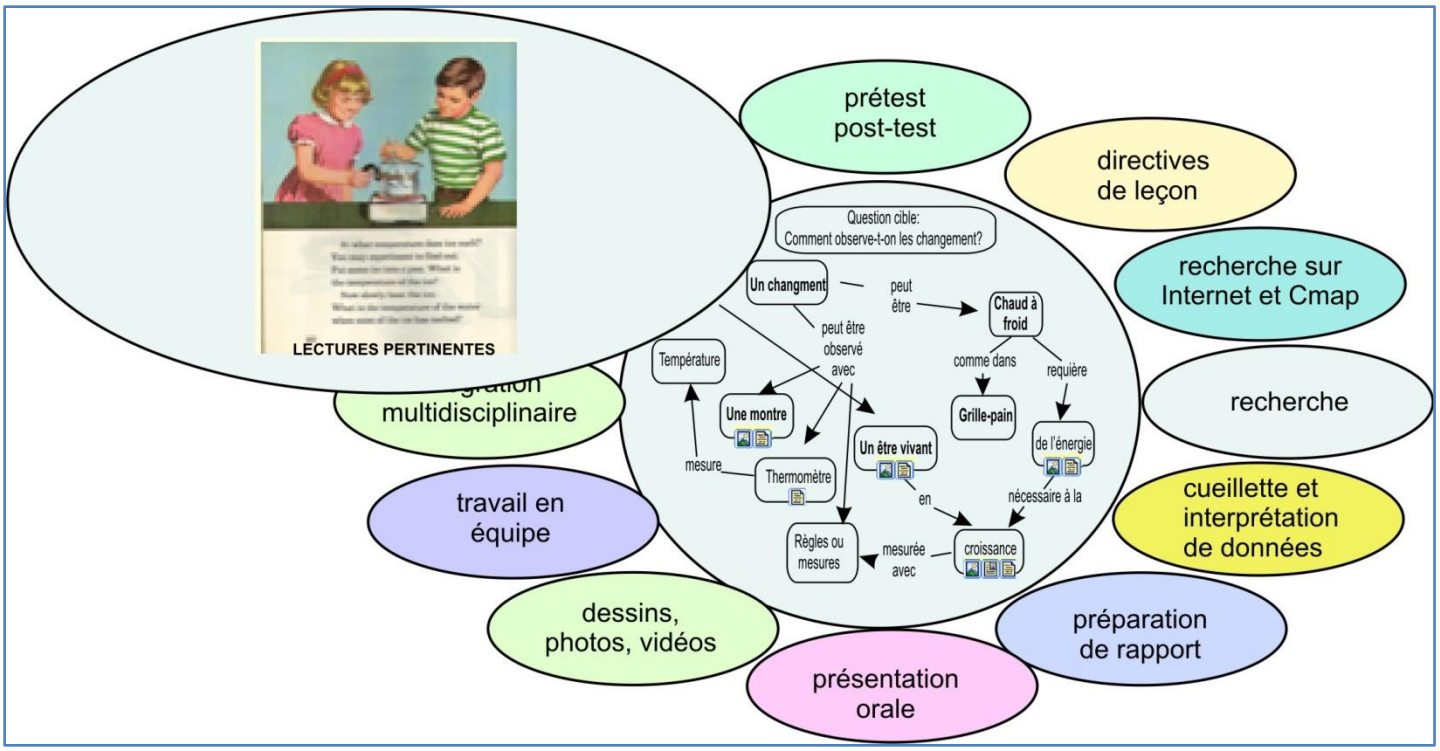



Carte 13. Illustration du Nouveau modèle d'enseignement avec une carte conceptuelle "initiale d'expert" pouvant servir comme « colonne vertébrale » à l'émergence d'un portfolio en science.

Les cartes conceptuelles « initiale d'expert » pourraient servir de point de départ aux étudiants et enseignants pour chacune des sections illustrées dans le volume et ainsi les étudiants pourraient utiliser ces Cmaps ensemble avec les CmapTools pour chercher sur internet des ressources et des idées pertinentes. Le schéma 13 illustre l'une de ces cartes conceptuelles « initiales d'expert » que l'on pourrait utiliser comme point de départ pour construire un modèle de connaissance, en laissant préférablement les étudiants travailler en équipes et en leur faisant partager les idées.

Les volumes de science regorgent de textes pertinents à lire et d'activités d'apprentissage. Il serait important pour l'enseignant d'aider les étudiants à performer dans ces activités et dans d'autres activités similaires. On en suggère quelques-unes dans les ressources sur internet. Les apprenants voudront aussi ajouter leurs propres concepts à la carte conceptuelle « initiale d'expert » comme des ressources trouvées en lisant et à partir d'internet. Le schéma 14 présente une étape à ce processus.[3]

[3] Les volumes *The World of Science* ont été publié en 1966 et certaines schémas ne sont pas à jour.




Carte 14. Présentation du Nouveau modèle d'enseignement avec les concepts et les ressources ajoutées à la carte conceptuelle « initiale d'expert », plus une page du volume du volume Le monde de la science fournissant des lectures et des activités pertinentes.

Évidemment, ce serait un programme très déficient si l'on ne faisait rien de plus que de laisser les étudiants copier et effectuer quelques construction sur les cartes conceptuelles « initiales d'expert » fournies en deuxième année ou pour tout autre niveau. Les étudiants ont besoin de concret, de manipulation dans les expériences avec de vraies choses et d'observer de vrais phénomènes pour donner du sens aux étiquettes des concepts dans les cartes conceptuelles et aux autres ressources.

Un projet pilote est déjà en marche en Italie, où Giuseppe Valittuti (2004) et ses collègues travaillent actuellement à traduire les volumes de « The World of Science » en italien. Valittuti et ses collègues ont obtenu une subvention du ministère d'éducation d'Italie pour la formation des enseignants et un certain nombre d'équipes d'écoles élémentaires commencent à travailler avec les cartes conceptuelles du Monde de la science et autres ressources durant les années 2005-2006. Le plan et d'avoir quatre ensemble de cible d'école sur différents aspects de la série du Monde de la science et produire des photos et vidéos d'étudiants en train de réaliser des projets qui illustrent et utilisent les divers concepts de la science. Il y aura beaucoup d'information provenant des classes pour aider les équipes à raffiner leur travail, partageant des « portfolios électroniques » utilisant CmapTools. Ce feedback devrait nous aider à raffiner rapidement les cartes conceptuelles, les techniques et les approches pour améliorer la pratique du Nouveau modèle d'éducation. Le réseau « CmapTools Network » peut servir de réseau documentaire pour certains de ces projets à travers ses serveurs publics en Italie et ailleurs dans le monde. Nous avons hâte que l'abondance des données anecdotiques et empiriques affluent de ces projets d'ici peu. En se basant sur des travaux de recherche théorique et pertinente maintenant disponible, il a toutes les raisons d'être optimiste que ces projets innovateurs seront couronnés de succès. On peut suivre la progression de ce projet à : www.leparoledellascienza.it.

### *Problèmes d'application*

Le plus grand défi que nous pouvons rencontrer est le changement des facteurs situationnels scolaires, de transformer le modèle actuel d'enseignant comme disséminateur d'information en coach et apprenant. Nous savons que nous avons besoin d'impliquer les enseignants et les administrateurs dans des programmes de formation qui peuvent modéliser les nouvelles approches éducatives. Nous avons aussi besoin de rechercher leur conseil sur les façons d'améliorer le Nouveau modèle d'enseignement. Il y a aussi le défi de changer les pratiques d'évaluation, qui utilisent encore les tests à choix multiple mesurant surtout le rappel par cœur d'information, en tests basés sur la performance nécessitant que les étudiants démontrent qu'ils ont compris les concepts de base et peuvent utiliser ces concepts dans la résolution de nouveaux problèmes et qu'ils peuvent utiliser les ressources d'internet pour augmenter et modifier leurs concepts et apprendre de nouveaux concepts. Il reste dans le Nouveau modèle plein de place à l'acquisition de faits et de procédures spécifiques mais maintenant ils peuvent être appris dans le contexte de cadres conceptuels puissants. La recherche de Bransford et al. (1999) a montré que l'information factuelle acquise dans un contexte d'apprentissage significatif seulement retenue plus longtemps, mais elle peut être utilisée avec beaucoup plus de succès pour résoudre de nouveaux problèmes.

Nous pourrions nous attendre à quelques oppositions dans l'application du Nouveau modèle d'enseignement de la part d'individus qui croient que l'apprentissage par « enquête » est la seule façon d'améliorer l'éducation. En fait, la recherche soutien énormément la valeur de « l'apprentissage guidé » telle qu'elle est présente dans le Nouveau modèle d'enseignement (Mayer, 2004; Kirschner et al., 2006; Sweller et al., 2007).

On a besoin de faire un travail énorme de formation des maîtres avant que le Nouveau modèle puisse être appliqué dans les écoles. Les enseignants ont besoin de se familiariser avec le logiciel CmapTools et les divers outils qu'il contient. Ils ont besoin aussi d'apprendre la théorie sous-tendant la cartographe conceptuelle, y compris les idées contenues dans le présent document. Les programmes de formation des maîtres devraient prendre comme modèle le type d'apprentissage que nous recommandons et nous pourrions utiliser comme cartes conceptuelles « initiales d'expert » certaines cartes conceptuelles disponibles du volume de Novak (1998) accessible sur le serveur « IHMC Public Cmaps » que l'on peut joindre à travers les pages CmapTools, dans le dossier « World of Science ». Les enseignants devraient travailler en collaboration pour construire quelques cartes conceptuelles simples traitant des idées d'éducation et peut-être ajouter des ressources à certaines cartes conceptuelles plus complexes. Même dans l'état actuel de la compréhension technologique et pédagogique, il est possible pour les écoles, les états et les pays de monter un Nouveau modèle d'éducation.

## Les cartes conceptuelles pour l'évaluation

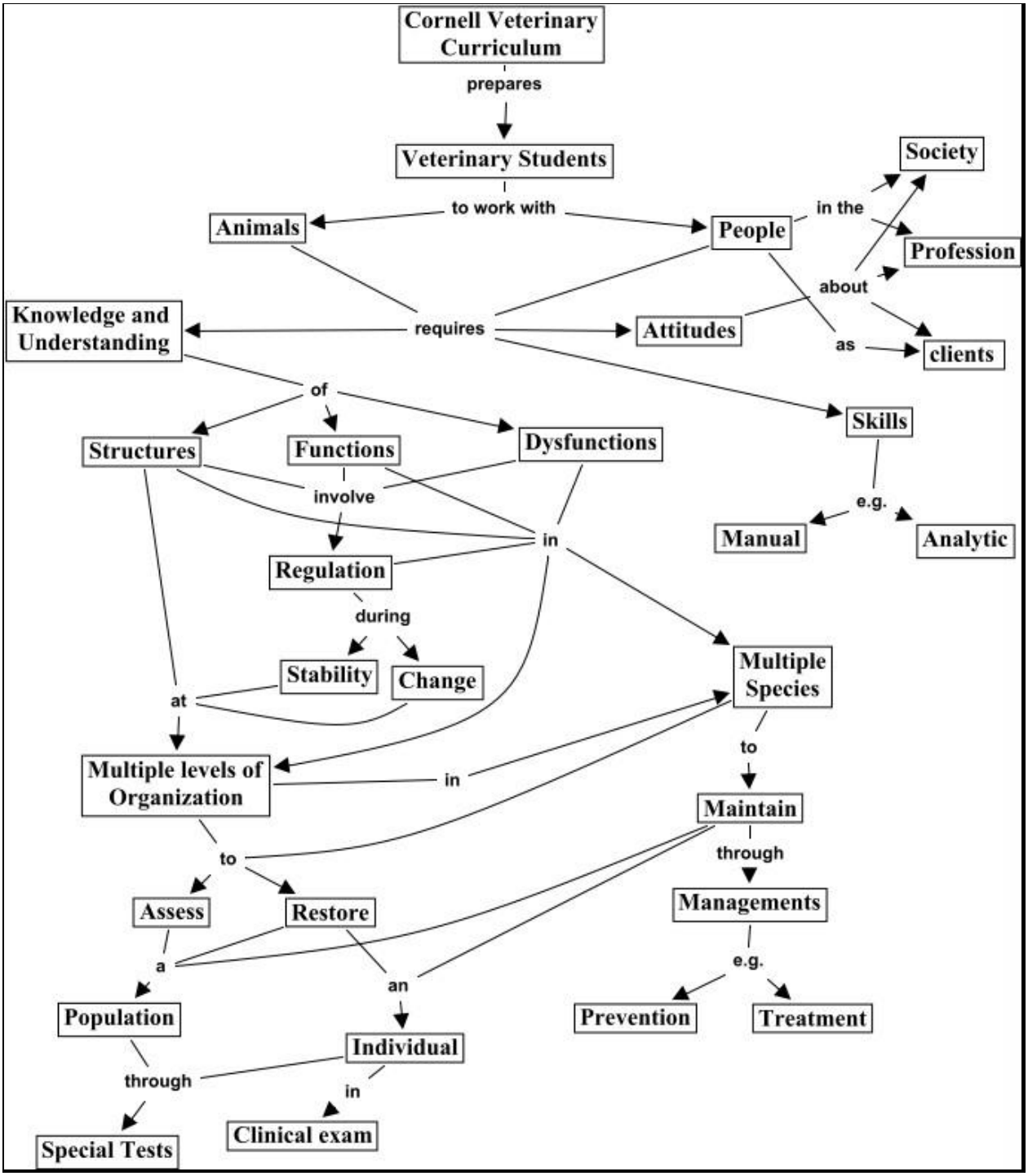
Nous commençons à voir dans plusieurs manuels de science l'inclusion de la cartographie conceptuelle comme l'une des façons de synthétiser les compréhensions acquises par les étudiants après leur étude d'une unité ou d'un chapitre. Le changement dans les pratiques scolaires est toujours lent, mais il est vraisemblable que l'emploi des cartes conceptuelles dans l'enseignement va s'accroître substantiellement durant les prochains dix ou vingt ans. D'autres pratiques novatrices pour évaluer la compréhension de l'élève d'un sujet donné sont aussi disponibles (Mintzes et al., 2000). Quand on utilise les cartes conceptuelles dans l'enseignement, on peut aussi les utiliser pour l'évaluation. Il n'y a rien d'écrit dans le roc qui dise que les tests à choix multiple doivent être utilisés de la première année à l'université et peut-être même que les examens de rendement nationaux finiront par utiliser la cartographie conceptuelle comme outil d'évaluation. C'est un problème de « poule ou œuf » parce que les cartes conceptuelles ne peuvent pas être utilisées dans les tests de rendement nationaux si la plupart des étudiants n'ont pas eu l'occasion d'apprendre à utiliser cet outil de représentation de la connaissance. D'un autre côté, si les examens de l'état ou d'une région commençaient à inclure des cartes conceptuelles dans une

partie de l'examen, ce serait un bon stimulant pour les enseignants d'enseigner aux étudiants comment utiliser cet outil. Heureusement, dans les deux prochaines décades, ce sera chose du passé. Présentement, il y a de nombreux projets de recherche aux États-Unis et ailleurs dans le monde qui tentent de voir si l'on peut développer de meilleurs outils d'évaluation, y compris l'emploi des cartes conceptuelles. Nous devrions commencer à voir des avancés significatifs dans ce domaine dans les prochaines années. Quelques éléments des dernières versions de CmapTools facilitent aussi l'emploi des cartes conceptuelles pour l'évaluation. Par exemple, l'outil « Compare les cartes conceptuelles » permet de comparer la carte conceptuelle de « l'expert » sur un sujet avec les cartes construites par les étudiants et tous les concepts et propositions semblables ou différents sont présentés en couleur.

## Les cartes conceptuelles et la planification de formation

Les cartes conceptuelles peuvent servir énormément dans la planification d'une formation. Elles présentent d'une manière hautement concise les concepts clés et les principes à enseigner. L'organisation hiérarchique des cartes conceptuelles suggèrent un séquençage plus optimal du contenu nécessaire à l'enseignement. Puisque la caractéristique essentielle à l'apprentissage significatif est l'intégration de nouvelle connaissance aux cadres conceptuels et propositionnels antérieurs de l'apprenant, le fait de procéder à partir des concepts plus généraux et plus inclusifs à l'information plus spécifique sert habituellement à encourager et amplifier l'apprentissage significatif. Par conséquent, dans la planification d'une formation, nous avons besoin de construire une « macro carte » globale présentant les grandes idées que nous planifions de présenter dans toutes les unités de formation et aussi des « micro cartes » pour présenter la structure de la connaissance pour un segment très spécifique du programme de formation. Les facultés travaillant indépendamment ou en collaboration peuvent redessiner les syllabus de cours ou le programmes entier. Par exemple, la faculté de médecine vétérinaire de l'université Cornell travaillant à planifier la formation est présentée au schéma 15.

Utiliser les cartes conceptuelles dans la planification d'un programme ou d'un cours sur un sujet spécifique aide à rendre la formation « conceptuellement transparente » aux étudiants. Plusieurs étudiants ont de la difficulté à identifier les concepts importants d'un texte, d'une conférence ou d'autres formes d'une présentation. Une grande part du problème vient d'un schème d'apprentissage qui nécessite simplement la mémorisation de l'information et aucune évaluation de l'information n'est requise. De tels étudiants sont incapables de construire des cadres conceptuels ou propositionnels efficaces, les amenant à voir l'apprentissage comme une masse confuse d'une myriade de faits, de dates, de noms, d'équations ou de règles procédurales à mémoriser. Pour ces étudiants, le contenu de la plupart des disciplines, et spécialement en sciences, en mathématiques et en histoire, est une cacophonie d'information à mémoriser et ils trouvent cela habituellement ennuyeux. Plusieurs sentent qu'ils ne pourront pas maîtriser la connaissance dans le domaine. Si les cartes conceptuelle sont utilisées dans la planification de la formation et que les étudiants doivent construire des cartes conceptuelles quand ils apprennent, les étudiants qui ne réussissaient pas vont réussir en donnant du sens à la science et aux autres disciplines, en acquérant un sentiment de contrôle sur le contenu (Bascones et Novak, 1985; Novak, 1991, 1998).




Carte 15. Une carte conceptuelle préparée en coopération par la faculté de médecine vétérinaire de l'université Cornell pour montrer la structure globale d'un programme révisé.

## Saisir et archiver l'expertise

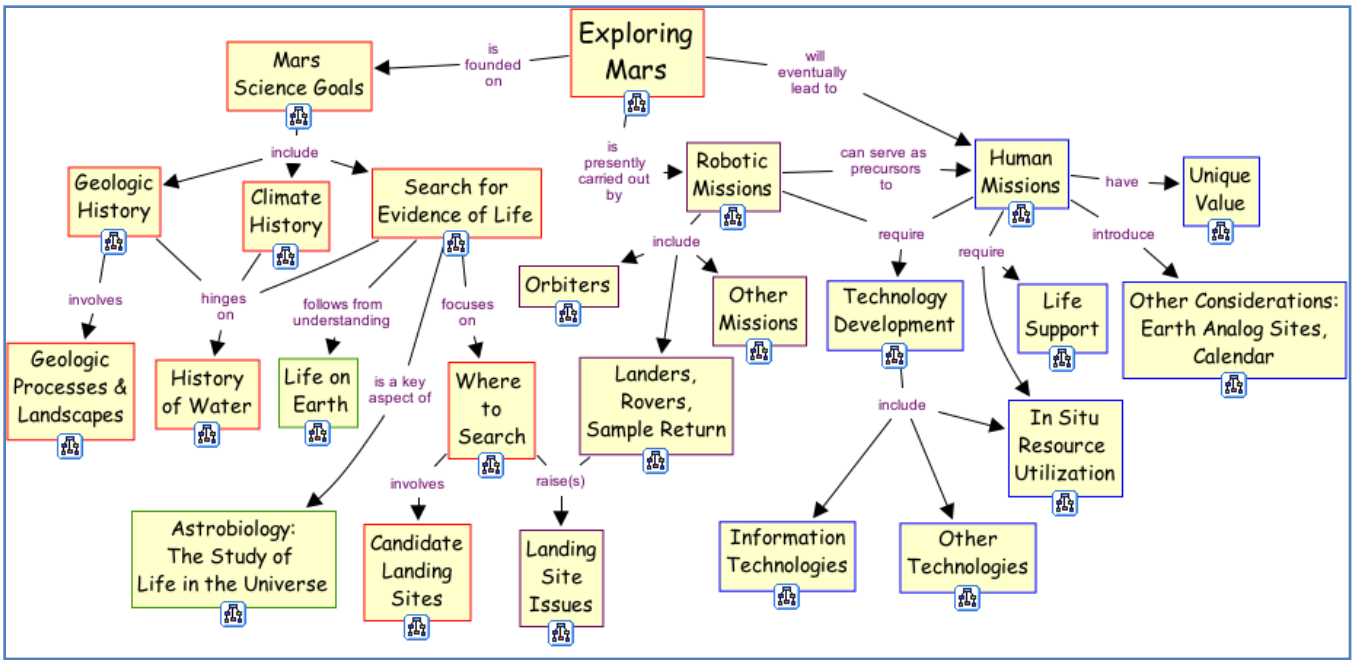
Un des usages des cartes conceptuelles qui est en croissance à un rythme accéléré est l'emploi de cartes conceptuelles pour saisir la connaissance « tacite » des experts. Ces derniers connaissent plusieurs choses qu'ils ne peuvent souvent pas articuler correctement pour les autres. Cette connaissance tacite est acquise sur plusieurs années d'expérience et provient en partie des activités de l'expert impliquant la pensée et l'intuition dans l'action. Les experts parlent souvent d'un besoin « d'avoir une émotion pour ce qu'ils font ». En fait, la biographie d'un lauréat du prix Nobel en biologie, Barbara McClintock, était intitulée « Une émotion pour l'organisme » (Keller, 1983). Nonaka et Takeuchi (1995) mettent en évidence l'importance de saisir et utiliser la connaissance tacite d'expert d'entreprise si celle-ci veut devenir une entreprise apprenante.

La plupart des méthodes utilisées avant les cartes conceptuelles se présentaient sous différentes formes d'entrevue et d'analyses avec des experts, comme les études de cas sur la façon dont les experts accomplissaient leurs prouesses remarquables (Hoffman et al., 1995; Klein et Hoffman, 1992). En fait, ces méthodes continuent d'être très populaires avec plusieurs scientifiques en sciences cognitives; la plupart d'entre eux ne sont familier avec le travail d'Ausubel et le genre d'idées épistémologiques sur lesquelles est basée la cartographie conceptuelle. Nous utilisions aussi « les entrevues cliniques » dans nos premiers travaux, comme mentionné plus tôt, mais nous avons trouvé nécessaire d'inventer une façon plus efficace de représenter ce que nos apprenants savaient et comment leur connaissance changeait. À l'IHMC, nous avons commencé par utiliser les entrevues pour identifier la connaissance des experts nécessaire pour interpréter les documents imprimés par les ordinateurs désignés pour évaluer les problèmes des fonctions cardiaques, à la suite d'une injection d'une solution radioactive et pour diagnostiquer les dysfonctions cardiaques (Ford et al., 1991; Ford et al., 1996). Cependant, quand nous avons commencé à cartographier l'expertise d'un cardiologue qui littéralement « avait écrit le livre » sur cette technologie, il parut évident qu'il manquait des concepts dans la carte et que la « connaissance tacite » de notre expert ne s'était pas complètement exprimée dans son livre ou dans nos entrevues. Par conséquent, la carte conceptuelle ne nous permet pas seulement de représenter la connaissance de l'expert, mais aussi de trouver des failles dans la structure cognitive que nous avons produite après nos entrevues.

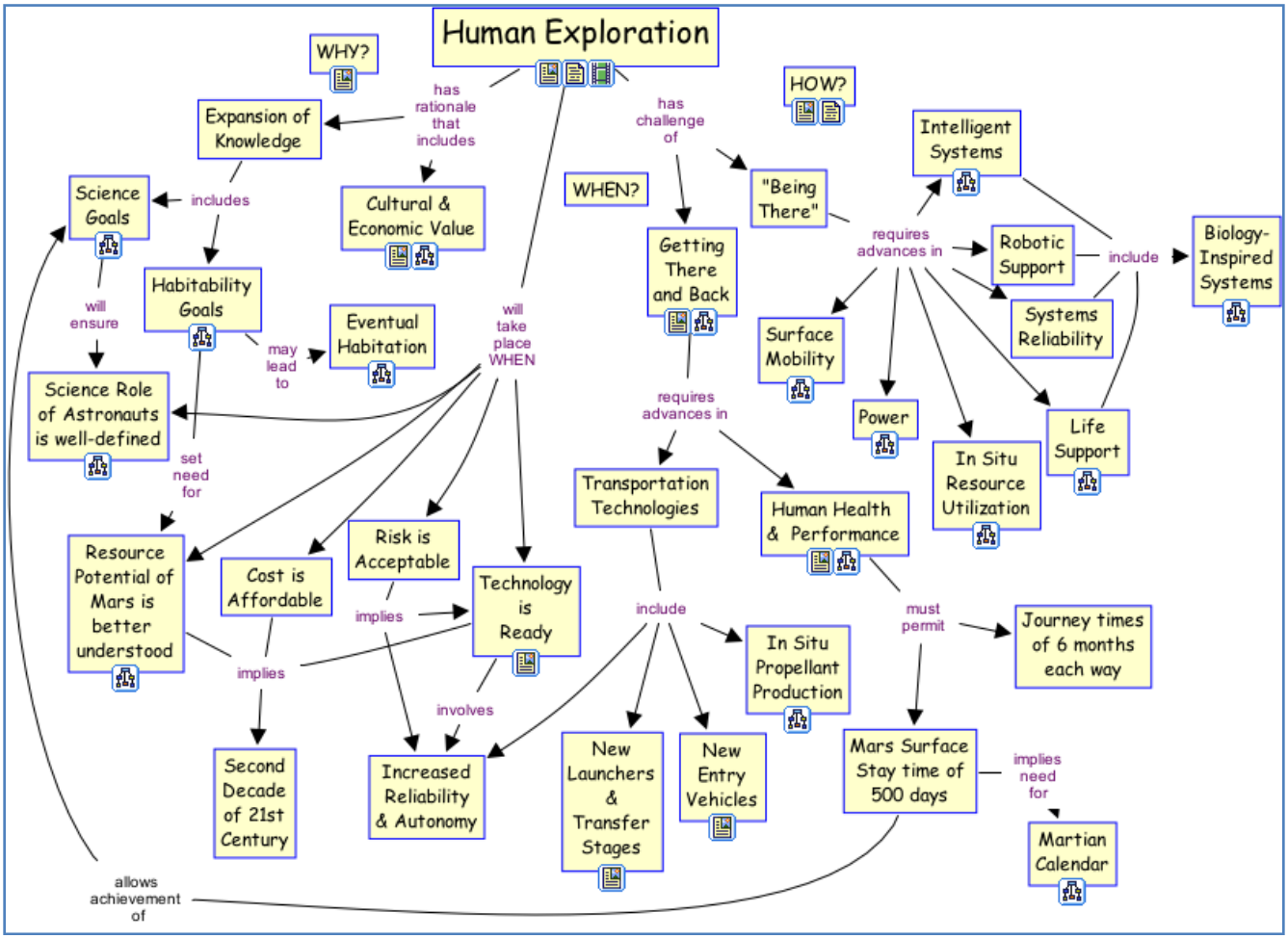
Alors que nous attendons ces entrevues, les analyses d'études de cas, les analyses de « l'incident critique »et des techniques similaires seront nécessaires pour extraire et représenter les expertises; il est vraisemblable que le produit fini des ces études pourrait encore mieux être représenté sous la forme de cartes conceptuelles, peut-être avec certaines données de l'entrevue et d'autres information présenté sous des icônes sur les cartes.

Many other projects are represented in the IHMC Public CmapServer accessible through CmapTools, including projects dealing with weather forecasting (Hoffman *et al.*, 2000, see: http://www.ihmc.us/research/projects/StormLK/), electronic technicians (Coffey *et al.*, 2003), and Thai fabric crafts.

À l'IHMC, nous continuons à être très actif dans le domaine de la saisie et la représentation de l'expertise (Coffey et al., 2002). Comme le logiciel CmapTools s'est développé, il est devenu un outil de plus en plus utile pour ce travail, tel que l'indique les ressources remarquables sur Mars préparées le « Centre de l'exploration de Mars » à la NASA(Briggs et al., 2004). Le schéma 16 présente une carte conceptuelle « maison » pour le portfolio de connaissance que Briggs a créé et le schéma 17 présente l'une de ses nombreuses sous-cartes. L'ensemble complet de cartes conceptuelles peut être visionné sur : http://cmex.ihmc.us/. En plus des sous-cartes, on peut accéder à un grand nombre de ressources diverses via les cartes conceptuelles. Plusieurs autres projets traitant des prévisions météorologiques (Hoffman et al., 2000, voir sur internet à l'adresse : www.ihmc.us/research/projects/stormLK/ ), les techniciens électroniques (Coffey et al., 2003), et les métiers d'art Thai.




Carte 16. Une carte conceptuelle “maison” d’un portfolio de connaissance créée par la NASA pour l’exploration de Mars.




Carte 17. Exemple de carte conceptuelle que l’on peut visionner en cliquant sur une des ressources jointe au concept du schéma 16.

# Conclusions

Dans le présent travail, nous avons essayé de présenter les fondements théoriques et les origines de ce que nous appelons les *cartes conceptuelles*. Bien qu'à première vue les cartes conceptuelles peuvent apparaitre juste une autre sorte de représentation graphique de l'information, la compréhension des fondements de cet outil et son usage adéquat conduit l'usager à voir que c'est vraiment un outil profond et puissant. Il peut au premier abord avoir l'air d'un simple arrangement de mots en une hiérarchie, mais quand on prend soin de l'utiliser pour organiser les concepts représentés par les mots et les propositions ou les idées sont formées avec des mots liens bien choisis, l'on commence à voir qu'une bonne carte conceptuelle est d'abord simple, mais aussi élégamment complexe avec des significations profondes. La cartographie conceptuelle a été élaborée pour aider les apprenants à apprendre, les chercheurs à créer de nouvelles connaissances, aux administrateurs à mieux structurer et gérer les organisations, les écrivains à écrire et les évaluateurs à évaluer l'apprentissage. Comme avec n'importe quel outil, on peut aussi mal l'utiliser et nous avons présenté quelques exemples de cela.

Nous avons aussi voulu que ce document soutienne d'autres expérimentations, la critique et le dialogue sur l'usage de cet outil. Le site internet de CmapTools fournit des occasions d'échange directes entre les usagers et les chercheurs. Ce documents lui-même devrait être un document « vivace », avec des révisions périodiques à mesure que nous gagnons de la connaissance et des expériences avec cet outil. Nous invitons les usagers de la cartographie conceptuelle et de CmapTools à participer à ce dialogue.

# References


Anderson, O. R. (1992). Some interrelationships between constructivist models of learning and current neurobiological theory, with implications for science education. *Journal of Research in Science Teaching, 19*(10), 1037-1058.

Ausubel, D. P. (1963). *The psychology of meaningful verbal learning*. New York: Grune and Stratton.

Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston.

Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1978). *Educational psychology: A cognitive view* (2nd ed.). New York: Holt, Rinehart and Winston.

Bascones, J., & Novak, J. D. (1985). Alternative instructional systems and the development of problem solving skills in physics. *European Journal of Science Education, 7*(3), 253-261.

Beirute, L., & Mayorga, L. F. (2004). Los mapas conceptuales herramienta poderosa en la resolución alternativa de conflictos. In A. J. Cañas, J. D. Novak & F. M. González (Eds.), *Concept maps: Theory, methodology, technology. Proceedings of the 1st international conference on concept mapping* (Vol. I). Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra.

Berk, L. E. & Winsler, A. (1995). Scaffolding children's learning: Vygotsky and early childhood education. Washington, D.C.: National Assocation for Education of Young Children.

Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of educational objectives; the classification of educational goals* (1st ed.). New York: Longmans Green.

Bransford, J., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (Eds.). (1999). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. Washington, D.C.: National Academy Press.

Briggs, G., Shamma, D. A., Cañas, A. J., Carff, R., Scargle, J., & Novak, J. D. (2004). Concept maps applied to Mars exploration public outreach. In A. J. Cañas, J. D. Novak & F. González (Eds.), *Concept maps: Theory, methodology, technology. Proceedings of the first international conference on concept mapping* (Vol. I, pp. 109-116). Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra.

Cañas, A. J., Carff, R., Hill, G., Carvalho, M., Arguedas, M., Eskridge, T., *et al*. (2005). Concept maps: Integrating knowledge and information visualization. In S.-O. Tergan & T. Keller (Eds.), *Knowledge and information visualization: Searching for synergies* (pp. 205-219). Heidelberg/NY: Springer Lecture Notes in Computer Science.

Cañas, A. J., Ford, K. M., Brennan, J., Reichherzer, T., & Hayes, P. (1995). *Knowledge construction and sharing in quorum.* Paper presented at the Seventh World Conference on Artificial Intelligence in Education, Washington DC.

Cañas, A. J., Ford, K. M., Novak, J. D., Hayes, P., Reichherzer, T., & Suri, N. (2001). Online concept maps: Enhancing collaborative learning by using technology with concept maps. *The Science Teacher, 68*(4), 49-51.

Cañas, A. J., Hill, G., Carff, R., Suri, N., Lott, J., Arroyo, M., *et al*. (2004a). CmapTools: Una rete per modellizare e condividere la conoscenza. In A. Spaziante (Ed.), *La conoscenza come bene pubblico comune: Software, dati, saperi* (pp. 51-62). Torino: CIS-Piemonte.

Cañas, A. J., Hill, G., Carff, R., Suri, N., Lott, J., Eskridge, T., *et al*. (2004b). CmapTools: A knowledge modeling and sharing environment. In A. J. Cañas, J. D. Novak & F. M. González (Eds.), *Concept maps: Theory, methodology, technology. Proceedings of the first international conference on concept mapping* (Vol. I, pp. 125-133). Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra.

Cañas, A. J., Hill, G., Granados, A., Pérez, C., & Pérez, J. D. (2003a). *The network architecture of CmapTools* (Technical Report No. IHMC CmapTools 2003-01). Pensacola, FL: Institute for Human and Machine Cognition.

Cañas, A. J., Hill, G., & Lott, J. (2003b). *Support for constructing knowledge models in CmapTools* (Technical Report No. IHMC CmapTools 2003-02). Pensacola, FL: Institute for Human and Machine Cognition.

Cañas, A. J., Hill, G., Lott, J., & Suri, N. (2003c). *Permissions and access control in CmapTools* (Technical Report No. IHMC CmapTools 2003-03). Pensacola, FL: Institute for Human and Machine Cognition.

Cañas, A. J., & Novak, J. D. (2005). *A concept map-centered learning environment.* Paper presented at the Symposium at the 11th Biennial Conference of the European Association for Research in Learning and Instruction (EARLI), Cyprus.

Carvalho, M. R., Hewett, R., & Cañas, A. J. (2001). Enhancing web searches from concept map-based knowledge models. In N. Callaos, F. G. Tinetti, J. M. Champarnaud & J. K. Lee (Eds.), *Proceedings of SCI 2001: Fifth multiconference on systems, cybernetics and informatics* (pp. 69-73). Orlando, FL: International Institute of Informatics and Systemics.

Coffey, J. W., Cañas, A. J., Reichherzer, T., Hill, G., Suri, N., Carff, R., *et al*. (2003). Knowledge modeling and the creation of el-tech: A performance support system for electronic technicians. *Expert Systems with Applications, 25*(4), 483-492.

Coffey, J. W., Hoffman, R. R., Cañas, A. J., & Ford, K. M. (2002). A concept-map based knowledge modeling approach to expert knowledge sharing. In M. Boumedine (Ed.), *Proceedings of IKS 2002 - the IASTED international conference on information and knowledge sharing* (pp. 212-217). Calgary, Canada: Acta Press.

Derbentseva, N., Safayeni, F., & Cañas, A. J. (2004). Experiments on the effect of map structure and concept quantification during concept map construction. In A. J. Cañas, J. D. Novak & F. M. González (Eds.), *Concept maps: Theory, methodology, technology, proceedings of the first international conference on concept mapping*. Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra.

Derbentseva, N., Safayeni, F., & Cañas, A. J. (2006). Concept maps: Experiments on dynamic thinking. *Journal of Research in Science Teaching, 44(3)*.

Edmondson, K. (2000). Assessing science understanding through concept maps. In J. Mintzes, J. Wandersee & J. Novak (Eds.), *Assessing science understanding* (pp. 19-40). San Diego: Academic Press.

Edwards, J., & Fraser, K. (1983). Concept maps as reflections of conceptual understanding. *Research in Science Education, 13*, 19-26.

Ford, K. M., Cañas, A. J., Jones, J., Stahl, H., Novak, J. D., & Adams-Webber, J. (1991). Iconkat: An integrated constructivist knowledge acquisition tool. *Knowledge Acquisition, 3*, 215-236.

Ford, K. M., Coffey, J. W., Cañas, A. J., Andrews, E. J., & Turner, C. W. (1996). Diagnosis and explanation by a nuclear cardiology expert system. *International Journal of Expert Systems, 9*, 499-506.

Gardner, H. (1983). *Frames of mind: the theory of multiple intelligences*. New York: Basic Books.

Hoffman, B. (1962). *The tyranny of testing*. New York: Corwell-Collier.

Hoffman, R. R., Coffey, J. W., & Ford, K. M. (2000). *A case study in the research paradigm of human-centered computing: Local expertise in weather forecasting. Report on the contract "Human-centered system prototype"*. Washington, DC: National Technology Alliance.

Hoffman, R. R., Shadbolt, N. R., Buton, A. M., & Klein, G. (1995). Eliciting knowledge from experts: A methodological analysis. *Organizational Behavior and Human Design Processes, 62*(2), 129-158.

Holden, C. (1992). Study flunks science and math tests. *Science Education, 26*, 541.

Johnson, D., Maruyama, G., Johnson, R., Nelson, D., & Skon, L. (1981). The effects of cooperative, competitive and individualistic goal structure on achievement: A meta-analysis. *Psychological Bulletin, 89*, 47-62.

Keller, E. F. (1983). *A feeling for the organism: The life and work of Barbara McClintock*. San Francisco: W.H. Freeman.

Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during iInstruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and iInquiry-based teaching. *Educational Psychologist, 41*(2), 75-86.

Klein, G., & Hoffman, R. R. (1992). Seeing the invisible: Perceptual-cognitive aspects of expertise. In M. Robinowitz (Ed.), *Cognitive science foundations of instruction* (pp. 203-226). Mawah, N.J.: Lawrence Erlbaum.

Leake, D. B., Maguitman, A., Reichherzer, T., Cañas, A. J., Carvalho, M., Arguedas, M., *et al*. (2004). Googling from a concept map: Towards automatic concept-map-based query formation. In A. J. Cañas, J. D. Novak & F. M. González (Eds.), *Concept maps: Theory, methodology, technology. Proceedings of the first international conference on concept mapping* (Vol. I, pp. 409-416). Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra.

Macnamara, J. (1982). *Names for things: A study of human learning*. Cambridge, MA: M.I.T. Press.

Mayer, R. E. (2004). Should There Be a Three-Strikes Rule Against Pure Discovery Learning? The Case for Guided Methods of Instruction. *American Psychologist*, *59*(1), 14-19.

Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, *63*, 81-97.

Mintzes, J. J., Wandersee, J. H., & Novak, J. D. (1998). *Teaching science for understanding: A human constructivist view*. San Diego: Academic Press.

Mintzes, J. J., Wandersee, J. H., & Novak, J. D. (2000). *Assessing science understanding: A human constructivist view*. San Diego: Academic Press.

Nickerson, R. S. & Adams, M. J. (1997). Long-term memory for a common object. *Cognitive Psychology*, *11*, 287-307.

Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. New York: Oxford University Press.

Novak, J. D. (1977). *A theory of education*. Ithaca, NY: Cornell University Press.

Novak, J. D. (1990). Concept maps and vee diagrams: Two metacognitive tools for science and mathematics education. *Instructional Science, 19*, 29-52.

Novak, J. D. (1991). Clarify with concept maps: A tool for students and teachers alike. *The Science Teacher, 58*, 45-49.

Novak, J. D. (1993). Human constructivism: A unification of psychological and epistemological phenomena in meaning making. *International Journal of Personal Construct Psychology, 6*, 167-193.

Novak, J. D. (1998). *Learning, creating, and using knowledge: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Novak, J. D. (2002). Meaningful learning: The essential factor for conceptual change in limited or appropriate propositional hierarchies (liphs) leading to empowerment of learners. *Science Education, 86*(4), 548-571.

Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. New York, NY: Cambridge University Press.

Novak, J. D., & Musonda, D. (1991). A twelve-year longitudinal study of science concept learning. *American Educational Research Journal, 28*(1), 117-153.

Novak, J. D., & Wandersee, J. (1991). Coeditors, special issue on concept mapping. *Journal of Research in Science Teaching, 28*(10).

O'Donnell, A., Dansereau, D., & Hall, R. H. (2002). Knowledge maps as scaffolds for cognitive processing. *Educational Psychology Review, 14*, 71-86.

Penfield, W. & Perot, P. (1963).The Brain's Record of Auditory and Visual Experience: A final Summary and Discussion. *Brain*, 86, 595-697.

Preszler, R. W. (2004). Cooperative concept mapping improves performance in biology. *Journal of College Science Teaching, 33*, 30-35.

Schneps, M. (1989). *Private universe project*: Harvard University.

Shepard, R. N. (1967). Recognition memory for words, sentences, and pictures. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *6*, 156-163.

Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations, *Psychological Monographs: General and Applied*, 74(11), 1-30.

Sperling, G. (1963). A model for visual memory tasks, *Human Factors*, 5, 19-31.

Sweller, J., Krischner, P. A & Clark, R. E. (2007). Why minimally guided teaching techniques do not work: a reply to commentaries. *Educational Psychologist*, *42*(2), 115-121.

Tsien, J. Z. (2007). The memory, *Scientific American*, July, 52-59.

Valittuti, G. (2004). Personal communication.

Vitale, M. R., & Romance, N. R. (2000). Portfolios in science assessment: A knowledge-based model for classroom practice. In J. J. Mintzes, J. H. Wandersee & J. D. Novak (Eds.), *Assessing science understanding: A human constructivist view*. San Diego, CA: Academic Press.

Vygotsky, L., & Cole, M. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press.