

LES CARTES CONCEPTUELLES

Éditorial Du réseau à la carte : une analyse critique de la représentation graphique des concepts scientifiques

Daniel JACOBI

L'écriture est aujourd'hui l'un des ressorts de la construction et de l'accumulation des savoirs. Pas de science, ni d'éducation scientifique dans notre société sans texte. Et celui qui produit un écrit, destiné à enseigner-apprendre les sciences, mobilise toute la rigueur de l'ordre scriptural.

Soit. Mais on a probablement oublié aujourd'hui que l'écriture a pour source les arts graphiques. Comme le note Goody (1994) : *“La base physique de l'écriture est clairement la même que celle du dessin, de la gravure et de la peinture”*. L'écrit a en quelque sorte supplanté les autres modes de communication symbolique comme outil de construction de la raison.

Les plages visuelles non linguistiques n'ont pourtant pas disparu de tous les documents destinés à diffuser la science et la technique. Au contraire. Mais ce sont des modes de visualisation ou d'imagerie construits, surveillés, contrôlés et domestiqués, tels les tableaux, les graphiques, les cartes, les planches anatomiques, et ainsi de suite, que l'on ajoute au noyau dur du texte linguistique. Comme si quelque spontanéité tentait de survivre dans l'art du dessin ou de l'image et que le champ savant avait décidé, coûte que coûte, de le rallier à la raison.

Lorsque donc les chercheurs en éducation ou en didactique s'intéressent à l'image, au dessin et plus généralement aux représentations graphiques, c'est principalement, en les comparant à la langue, pour déterminer leur efficacité à favoriser l'apprentissage (Baillé & Maury, 1993) ou pour identifier ce que Reid avait joliment appelé *l'effet de supériorité des images* (Reid, 1984). N'est-il pas cependant nécessaire de revenir sur les sources communes des diverses formes de ce que Goody (toujours lui) a appelé *la raison graphique* (Goody, 1979) ?

Deux courants distincts ont conduit, chacun dans leur secteur, à ré-examiner cette question. Le premier résulte des travaux de sociologie de la science. Analysant la science en train de se faire dans les laboratoires, avec des méthodes empruntées à l'ethnologie, un courant de recherche s'est intéressé à la production des plages visuelles comme mode d'exposition des résultats de la recherche. Qu'il s'agisse de ce que Latour a nommé les inscriptions scientifiques (Latour, 1985), ou encore de la genèse tâtonnante des représentations visuelles (Lynch & Woolgar, 1990), les enjeux de ce travail d'exposition de la recherche sont maintenant mieux perçus.

Le second est à notre sens un résultat du regain d'intérêt pour les travaux sur la mémoire. L'organisation de ce que l'on a appelé la mémoire sémantique a fait l'objet de multiples travaux au sein des sciences cognitives. Rappelons que ce secteur est né de la rencontre de travaux de linguistes, de psychologues et d'informaticiens. La volonté de calculer, et de visualiser les résultats de ces calculs, a conféré une nouvelle actualité à ce que les spécialistes de l'intelligence artificielle ont appelé les réseaux sémantiques. C'est cette seconde lignée qui nous conduit directement à l'objet de ce dossier : les cartes conceptuelles.

Ce qui interroge est d'abord le statut de ces traces : sont-elles construites méthodiquement et ont-elles un statut différent de l'écrit ? Réciproquement, vient ensuite une préoccupation quant à leurs usages par leurs destinataires. Peut-on construire du sens à l'aide de l'un de ces codes sémiotiques ? Pour approfondir ces deux questions nous avons organisé une journée d'études. Ce dossier en rapporte quelques échos¹. Pour le construire, il nous a semblé nécessaire de déborder le cadre strict des recherches légitimées en didactique, en invitant des chercheurs venus d'autres domaines de recherche. Ce sont donc des points de vue différents qui se croisent et se superposent.

D. Jacobi, M. Boquillon et P. Prévost définissent d'abord le thème. Si le point de départ de notre réflexion a été les cartes de concepts, nous avons, chemin faisant, compris qu'il fallait l'élargir aux différentes façons de représenter les concepts sous une forme non strictement textuelle. Nous tentons donc, au-delà de la diversité des formes proposées, de repérer les régularités dans les façons de spatialiser les concepts scientifiques.

Plusieurs points de vue sont ensuite proposés. G. Vergnaud montre pourquoi la question des cartes conceptuelles est une préoccupation essentielle des didacticiens soucieux de proposer plusieurs représentations qu'il qualifie d'homomorphes de concepts. A. Condamines explique ensuite comment une linguiste peut étudier des terminologies (dans le domaine de l'industrie aéronautique et spatiale) à l'aide de réseaux formellement ressemblant à ces graphes pour mieux maîtriser les emplois, dans le milieu industriel, des

1. Cette journée, organisée par l'Université de Bourgogne en collaboration avec l'ENESAD, s'est déroulée à Dijon, en mai 1994. Je remercie vivement tous les contributeurs qui ont accepté de présenter leur point de vue et de le soumettre à une série d'échanges et de débats. Cette journée a réuni également une vingtaine de participants d'origines diverses, chercheurs, doctorants et formateurs. Leurs observations, remarques et questions ont évidemment enrichi et complété les communications présentées.

termes techniques. C'est en quelque sorte un modèle pour assurer la communication et la traduction de discours spécialisés. A. Tiberghien pour sa part souligne fortement l'aspect réducteur des cartes de concepts habituelles, non pas à cause de leur parti visuel, mais par la délimitation implicite qu'elles imposent en découpant la connaissance en unités commodes à évaluer. Enfin, C. Fouqueré a accepté de résumer les principes utilisés pour construire les graphes en intelligence artificielle. Cela est nécessaire pour comprendre comment ils ont probablement influencé les cartes des didacticiens.

Le dossier est complété par des points de vue différents des précédents. C. De Bueger et J. Lambert font un bilan critique de leur utilisation des cartes ou d'autres réseaux ; elles démontrent en particulier que certaines des méthodes d'élaboration des cartes sont en réalité bien difficiles à mettre en œuvre. M. Sauvageot expose sobrement les règles de construction des trames conceptuelles et propose de les utiliser pour la formation des enseignants. C. Bruguère, A. Sivade et D. Cros montrent enfin comment on peut appliquer la technique des cartes conceptuelles à des méthodes de recherches sur les contenus de l'enseignement scientifique.

Le cas des cartes conceptuelles est comparé à d'autres modes de représentations spatiales. Nous ne les considérons donc pas seulement comme des outils de didacticiens des sciences : elles sont tour à tour scrutées comme des objets sémio-linguistiques, des représentations, des outils d'analyse, de formation ou de métacognition.

Nous souhaitons évidemment que cette volonté de scruter et d'analyser collectivement, par des regards croisés, un objet déjà familier donne envie à d'autres d'utiliser à leur tour une démarche pour le moins enrichissante. Nous espérons aussi que les lecteurs trouveront matière à réflexion par rapport à leur expérience personnelle de constructeur ou d'utilisateur de tels graphes.

BIBLIOGRAPHIE

BAILLÉ J. & MAURY S. (éd. 1993). *Les représentations graphiques dans l'enseignement et la formation. Les sciences de l'éducation*, n° 1-3. Caen.

GOODY J. (1979). *La raison graphique ; la domestication de la pensée sauvage*. Paris, Seuil.

GOODY J. (1994). *Entre l'oralité et l'écriture*. Paris, PUF.

LATOUR B. (éd. 1985). *Les "vues" de l'esprit ; visualisation et connaissance scientifique. Culture technique*, n° 14. Neuilly, CRCT.

LYNCH M. & WOOLGAR S. (éd. 1990). *Representation in Scientific Practice*. Cambridge, Massachussets, MIT Press.

REID D.J. (1984). The picture superiority effect and biological education. *Journal of Biological Education*, n° 18, pp. 26-29.



Les représentations spatiales de concepts scientifiques : inventaire et diversité

Daniel JACOBI, Micheline BOQUILLON

Université de Bourgogne, Faculté des Sciences Humaines
Centre de Recherche sur la Culture et les Musées
36, rue Chabot Charny
21000 Dijon, France.

Philippe PRÉVOST

ENESAD
BP 1067
21036 Dijon cedex, France.

Résumé

La consultation de douze revues (françaises et anglo-saxonnes) s'intéressant à la didactique des sciences, pour les années 1991, 1992 et 1993, permet de faire le point sur l'utilisation des représentations spatiales de concepts scientifiques dans les recherches en didactique.

Deux principaux résultats caractérisent cette étude : la quantité de représentations spatiales publiées reste faible mais celles-ci sont très hétérogènes.

L'analyse de leur diversité ne permet pas toujours de comprendre le projet de l'auteur et oblige les chercheurs en didactique à s'interroger sur le statut des représentations spatiales et sur leur rôle dans la construction de la connaissance.

Mots clés : *concepts scientifiques, cartes conceptuelles, recherche, enseignement, représentations spatiales, didactique des sciences, construction de la connaissance.*

Abstract

The consultation of twelve journals (French and English language) that deal with science education, for the years 1991 to 1993, allowed us to summarize the use of spatial representations of scientific concepts in didactics research.

Two main results were produced from this study : there has not been much work published with spatial representations, and what has been published is very heterogeneous.

Analysis of this diversity does not always allow us to understand the authors' objectives and obliges researchers in didactics to think about the nature and role of spatial representations in the construction of scientific knowledge.

Key words : *scientific concepts, concept maps, research, teaching, spatial representations, construction of knowledge, didactics of science.*

Resumen

La consulta de doce revistas (francesas y anglosajonas) interesadas en la didáctica de las ciencias, para los años 1991, 1992 y 1993, permite hacer el punto sobre la utilización de las representaciones espaciales de conceptos científicos en las investigaciones en didáctica. Dos principales resultados caracterizan este estudio : la cantidad de representaciones espaciales publicadas permanecen bajas pero muy heterogéneas.

El análisis de su diversidad no permite siempre de comprender el proyecto del autor y obliga a los investigadores en didáctica a interrogarse sobre el status de las representaciones espaciales y su rol en la construcción del conocimiento.

Palabras claves : *conceptos científicos, mapas conceptuales, investigación, enseñanza, representaciones espaciales, didáctica de las ciencias, construcción del conocimiento.*

Pour qui fréquente les milieux de la recherche en éducation et en didactique, la rencontre, lors d'exposés, de conférences ou de lectures, avec un certain nombre de figures appelées (par ceux-là mêmes qui les élaborent) aussi bien des *schémas*, des *graphes*, des *diagrammes*, des *réseaux* ou, plus récemment, des *cartes*, est continue. On finirait par ne plus prêter grande attention à ce type de figure et par croire qu'il s'agit là d'une manifestation parmi d'autres de l'activité de recherche ou de théorisation-modélisation.

Ces traçages plus ou moins élaborés, destinés à être projetés en public ou publiés, sont-ils destinés à devenir des formes stables, au même titre que tout énoncé formalisé et cohérent ? Autrement dit, pour représenter le même modèle recourt-on toujours au même traçage ? Et celui qui regarde et consulte ce tracé, sans l'avoir lui-même pensé, construit et élaboré, peut-il en percevoir le sens, sans recourir à une légende ou à tout autre énoncé linguistique conventionnel qui le commente et l'explique ?

C'est cette question qui préoccupait depuis longtemps l'un de nous, puisqu'elle n'est qu'une des facettes d'une question plus large, celle de la figurabilité des concepts (voir Jacobi, 1984), qui a pris une actualité nouvelle quand ont commencé à apparaître, de plus en plus fréquemment, les *concept maps*¹.

1. DES *CONCEPT MAPS* AUX REPRÉSENTATIONS SPATIALES

En décembre 1990, paraissait un numéro spécial du *Journal of Research in Science Teaching*, consacré à la méthode de *Concept Mapping* (cartographie de concept). Novak, le créateur des *concept maps* (cartes conceptuelles), et l'un de ses disciples, Wandersee, proposaient dans ce volume une description de la technique de traçage de ces cartes ainsi qu'un inventaire de leurs utilisations. Ce volume replaçait ainsi sur le devant de la scène une très classique antienne de la didactique et de l'enseignement des sciences, qui consiste à visualiser une base de connaissances en isolant des concepts dans des étiquettes et en faisant apparaître leurs interrelations.

Comme il nous semblait que le recours aux *concept maps* séduisait de plus en plus de chercheurs, nous avons entrepris de faire un inventaire des publications les utilisant effectivement. Les publications qui recourent aux *concept maps* sont-elles réellement de plus en plus nombreuses ? Et le *concept mapping* est-il sur le point de devenir un paradigme essentiel des recherches en didactique des sciences ?

Dans un premier temps nous avons consulté trois revues anglo-saxonnes : *Journal of Research in Science Teaching*, *International Journal of Science Education* et *Journal of Biological Education*. Un dépouillement de quelques volumes nous a apporté très vite deux informations : les *concept maps*, *stricto sensu*, sont assez peu utilisées. Mais nous nous sommes aperçus que d'autres représentations graphiques, proches des *concept maps* et qui portent des noms très différents (*networks*, *frameworks*, *models*, *flow charts*) sont au moins aussi fréquentes. Nous avons aussi constaté que quelques articles traitant du *mapping* ne comportaient pas de représentations graphiques.

Nous avons ensuite repris toutes les collections de revues anglo-saxonnes et françaises dont nous disposions en lisant avec beaucoup d'attention les titres et, si cela était nécessaire, le contenu de l'article. Le répertoire s'est alors encore enrichi. Aux désignations anglo-saxonnes sont venus s'ajouter : les *trames conceptuelles*, *réseaux conceptuels*, *réseaux sémantiques*...

1. Le syntagme anglo-saxon *concept map* peut être traduit de deux façons : *carte conceptuelle* ou *carte de concepts*. Ces deux traductions ne sont évidemment pas équivalentes. Dans *carte conceptuelle*, il y a une ambition que *carte de concepts*, plus neutre, n'induit pas. Quant à l'autre syntagme, celui de *concept mapping* ou *mapping*, il est lui intraduisible. Le *mapping*, comme projet en acte, est probablement ce qu'il faudrait comprendre et interroger pour analyser les cartes.

Afin de répertorier les articles contenant des *concept maps* ou utilisant le *concept mapping*, nous avons photocopié la ou les représentations graphiques trouvées dans cet article, ainsi que la première page afin d'enregistrer le titre, les noms des auteurs et le résumé. En répertoriant le nombre de cartes par article, par volume et par année pour chacune des revues étudiées, nous avons pu mettre en évidence la fréquence d'occurrence des cartes et son évolution.

2. HÉTÉROGÉNÉITÉ DES REPRÉSENTATIONS SPATIALES DE CONCEPTS

Ce petit inventaire systématique a produit deux types de résultats. Le premier, sans équivoque, est que des cartes de concepts sont effectivement publiées. Mais elles demeurent encore rares et leur fréquence de publication paraît stable. Le second résultat, plus inattendu, est de faire apparaître l'incroyable richesse et diversité de ces représentations. Les cartes, ou les prétendues cartes, ne sont homogènes qu'en apparence. Et, symétriquement, le survol des revues conduit à considérer comme carte ou pseudo-carte d'autres représentations que leurs auteurs dénomment autrement.

Le dépouillement systématique des revues scientifiques de recherche pédagogique ou de didactique (voir la description du corpus en annexe) a donc surtout permis de mettre en évidence la grande diversité des représentations spatiales de concepts scientifiques. Tandis qu'il semble en définitive qu'un taux peu élevé de textes utilise des *concept maps* (environ 1,5%, par année, dans les revues anglo-saxonnes).

Cet inventaire nous a donc conduits à comparer et classer les diverses représentations spatiales de concepts que nous avons collectées. En rapprochant le traçage publié et, lorsqu'elle existe, la dénomination explicite proposée par l'auteur, on parvient à séparer plusieurs types de cartes. Si on élimine le *réseau sémantique*, qui est emprunté par les didacticiens au courant de l'intelligence artificielle, il nous a paru possible de séparer quatre familles différentes. Ces familles sont les suivantes : *les cartes de concepts*, *les trames conceptuelles*, *les réseaux conceptuels* et *les modèles conceptuels*.

La carte de concepts est un outil qui a été proposé par Novak. Elle s'appuie sur la théorie de l'apprentissage d'Ausubel et elle est considérée par certains chercheurs comme un puissant outil de métacognition. On dispose pour ces cartes d'une théorisation et d'un ensemble de règles à suivre en vue de leur élaboration. Pour les rappeler très brièvement, il s'agit de construire une représentation spatiale d'une base de connaissances de type déclaratif. Pour cela le chercheur isole et choisit les concepts pertinents, les hiérarchise par niveaux ordonnés, puis il relie les concepts entre eux par des ponts ou des liens homogènes. Enfin il ordonne et lisse la carte (figure 1).

Ces règles élémentaires paraissent claires et ce n'est probablement pas leur complexité qui explique pourquoi leur utilisation et leur diffusion dans différents domaines semblent avoir engendré une certaine ambiguïté dans la notion de carte. Faut-il penser que beaucoup d'auteurs les tracent sans connaître et donc respecter leurs règles de construction ?

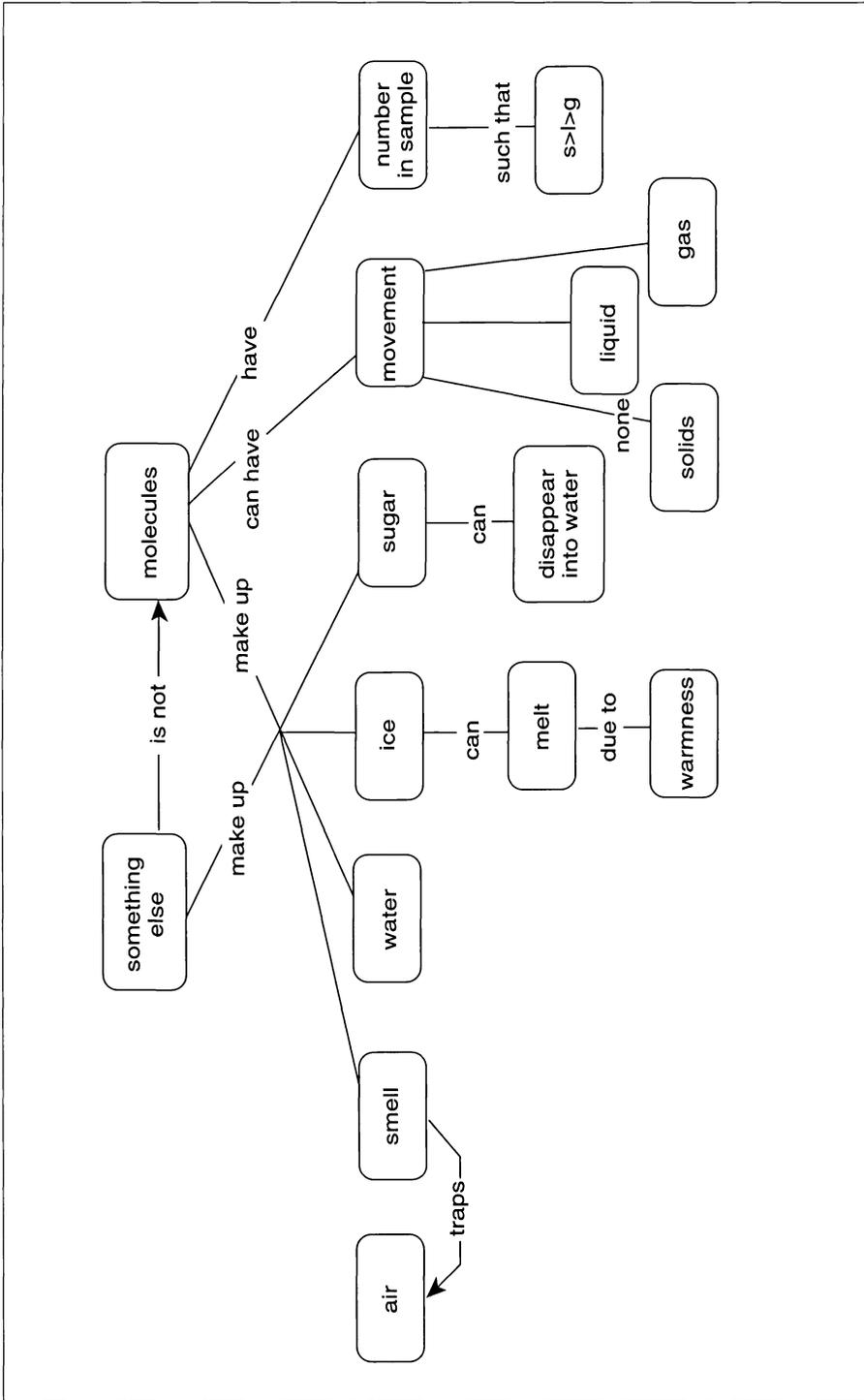


Figure 1 : Carte conceptuelle tirée de NOVAK J.D. (1990). Concept mapping : a useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 27, n° 10, p. 939.

La trame conceptuelle a été proposée par l'INRP français et formalisée en particulier par Astolfi et al. (1990). Les trames ne ressemblent qu'assez peu aux cartes. La différence essentielle porte sur les unités spatialisées. Dans une carte les concepts correspondent à des mots isolés ou plus exactement des termes ou des syntagmes terminologiques. Dans les trames INRP, chaque concept correspond à un énoncé, c'est-à-dire presque toujours au minimum à une phrase de base (figure 2). La trame consiste en un réseau d'énoncés opératoires. Ces énoncés sont destinés à expliciter et développer le contenu de certains éléments des programmes officiels de l'enseignement scientifique. La trame n'est pas un système hiérarchisé de petite taille. Les énoncés isolés dans des étiquettes sont reliés par des traits ou des flèches dont la nature n'est pas explicitée. On peut simplement indiquer que cette liaison indique une implication logique entre au moins deux énoncés-concepts.

Les références théoriques citées par les chercheurs qui les recommandent sont empruntées à l'épistémologie (référence au modèle en "bogue" de Schaefer dans lequel le noyau logique d'un concept est placé au cœur d'un champ associatif) et à la psychologie (référence au réseau sémantique).

La notion de **réseau conceptuel** est une notion beaucoup moins bien définie car elle ne semble pas avoir fait l'objet d'une formalisation théorique jusqu'alors. Elle est plus précise que la notion de modèle conceptuel, en ce sens qu'elle relie des concepts entre eux selon un diagramme dont la forme est très variable. Par contre, le réseau conceptuel ne se construit pas selon une technique définie. Si les références théoriques ne sont pas citées, il semble assez apparent qu'il faudrait les rechercher dans les sciences de l'information, la cybernétique ou la systémique.

Enfin, le **modèle conceptuel** ne semble pas répondre à une définition précise, compte tenu de la polysémie des deux termes associés et de son caractère englobant. Si les trois premiers groupes ne posent pas de problème quant à la nature didactique de la représentation spatiale, le groupe des modèles conceptuels semble difficile à analyser du fait de la diversité des références théoriques. Ainsi, un modèle conceptuel peut aussi bien représenter : une procédure de recherche, un modèle pédagogique ou un processus cognitif. Ceci nous a conduits à l'éliminer de l'analyse qualitative de notre corpus.

3. ANALYSE DES REPRÉSENTATIONS SPATIALES DE CONCEPTS SCIENTIFIQUES

Fort de cette typologie, nous avons pu reprendre notre dépouillement systématique. Nous avons répertorié les articles par revue et avons sélectionné les articles concernant les cartes, trames et réseaux conceptuels. Nous avons pu observer que certaines revues utilisaient davantage les représentations spatiales que d'autres. Sur les trente et un articles que nous avons retenus pour l'analyse qualitative, dix-neuf (soit 60 %) sont issus de deux revues anglo-saxonnes (onze pour le *Journal of Research in Science Teaching* et huit pour l'*International Journal of Science Education*).

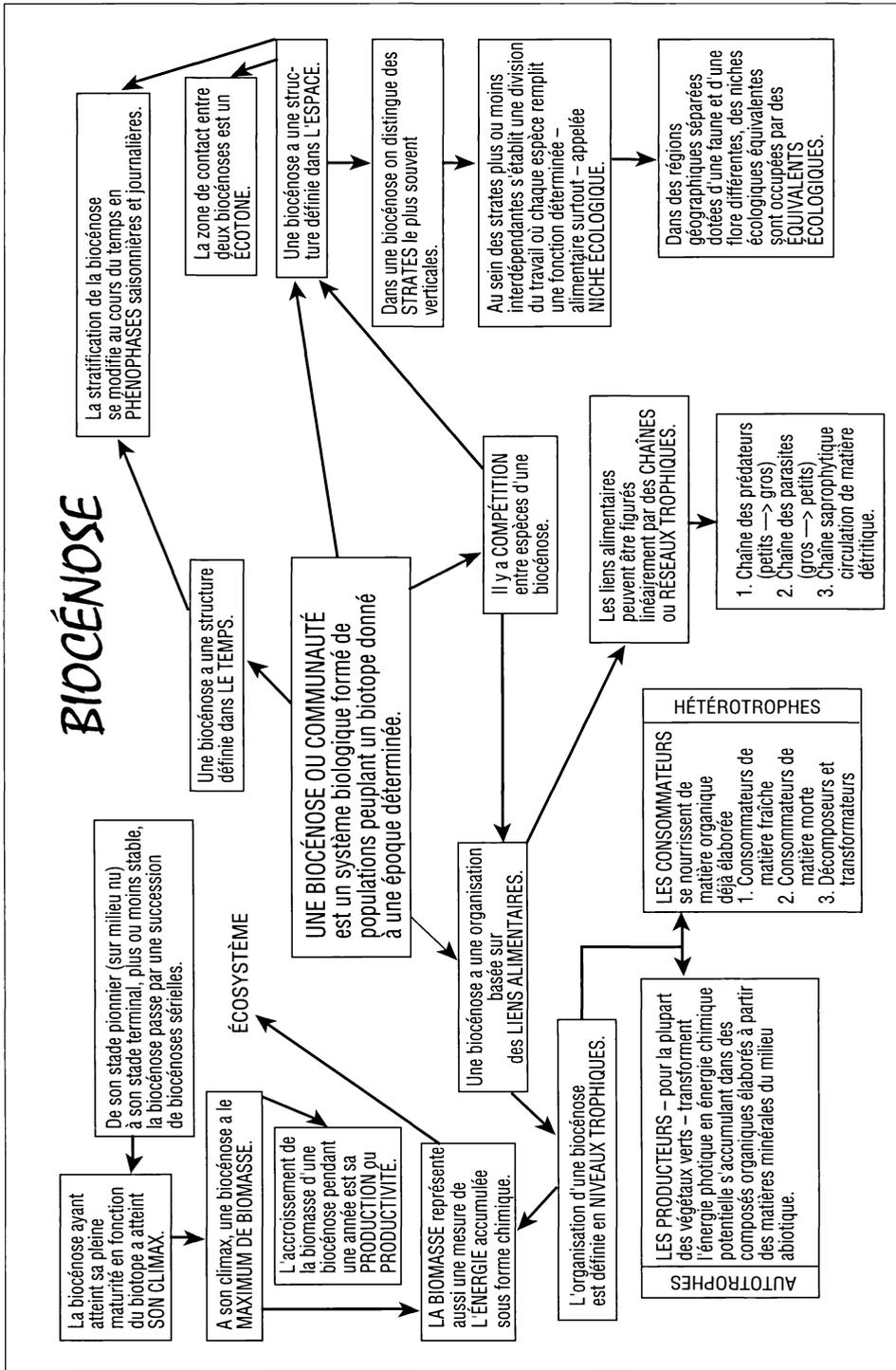


Figure 2 : Trame conceptuelle tirée d'ASTOLFI J.-P. et al. (1990). Trames conceptuelles. Document de travail. Paris, INRR.

La répartition des articles par type de représentation spatiale montre que les cartes sont actuellement les plus fréquentes et cela dans les revues anglo-saxonnes (tableau 1). Sans accorder une importance excessive à ces résultats partiels, on remarque aussi que la trame est une représentation seulement utilisée dans les revues francophones. Tandis que le modèle conceptuel paraît être une exclusivité des revues anglo-saxonnes.

Type de représentation	articles retenus		articles en anglais		articles en français	
	total	%	total	%	total	%
Cartes conceptuelles	21	42,86 %	19	90,48 %	2	9,52 %
Trames conceptuelles	2	4,08 %	0	0 %	2	100 %
Réseaux conceptuels	7	14,29 %	5	71,43 %	2	28,57 %
Modèles conceptuels	19	38,78 %	19	100 %	0	0 %
Nombre total d'articles retenus	49		43		6	

Tableau 1 : Analyse quantitative des articles retenus

Une analyse qualitative plus fine des représentations spatiales retenues dans les articles fournit quelques renseignements supplémentaires. En ce qui concerne les cartes conceptuelles, Tochon (1990) avait déjà remarqué trois orientations dans leur utilisation : les cartes créées par les apprenants, les cartes créées par un expert ou un enseignant, les cartes de concepts utilisées dans la recherche. Nous retrouvons sensiblement les mêmes orientations dans nos investigations, mais la diversité des figures rencontrées et l'éloignement plus ou moins grand par rapport à la technique proposée par Novak rendent toute catégorisation difficile.

3.1. Les cartes conceptuelles fidèles à la technique de Novak

Du point de vue de la recherche, il nous semble intéressant de classer les cartes conceptuelles selon leur utilisation. Nous pouvons alors distinguer :

- les cartes de conceptions d'apprenants ou d'enseignants, non traitées sur un plan didactique et qui peuvent être individuelles ou collectives. Elles sont avant tout une méthode pour enregistrer et visualiser des résultats d'investigation ;

- les cartes de conceptions, composites ou de synthèse, issues d'une recherche didactique. Ces cartes ont été analysées, voire interprétées, par un chercheur et peuvent servir à définir une stratégie d'enseignement ;

- les cartes-modèles, résultats de recherche, proposent une représentation spatiale de concepts comme modèle de référence.

3.2. Les cartes conceptuelles s'éloignant de la technique de Novak

Peu d'articles proposent des représentations graphiques dont la construction reste fidèle à la procédure précise de Novak. Nous trouvons ainsi :

– des représentations de concepts appelées cartes conceptuelles qui n'en sont pas véritablement, car les liens ou les ponts disposés entre les concepts ne sont ni stables, ni identifiés. Par exemple, Leclerc et al. (1993) proposent une carte conceptuelle du contenu relatif à la protection des cultures en agrotechnique qui se présente comme une structure arborescente de concepts, de nature très diverse, reliés entre eux par des traits dont la signification n'est pas explicitée ;

– des représentations de concepts à dénominations diverses qui proposent un autre type de spatialisation. À titre d'exemples nous avons trouvé :

- la *flow-map* ou *carte de flux* qui représente les mécanismes d'un processus ;
- le *Vee-diagram* ou *Vee-map* qui représente la structure de la connaissance et les éléments épistémologiques qui sont impliqués dans la construction de la connaissance. Le *Vee-diagram* a été lui aussi formalisé par Wandersee dans le *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 27, p. 934 ;
- le *Knowledge-Mapping* ou *K-Map* est une cartographie de la connaissance définie comme un arrangement spatial de nœuds et de liens représentant les informations conceptuelles et relationnelles pour un domaine de connaissance donné (Mc Cagg & Dansereau, 1991) ;
- l'arrangement de concepts, représentation spatiale de concepts non reliés, mais organisés dans un espace à deux dimensions. Dans l'exemple tiré de l'article d'Hauslein et al. (1992), les concepts sont étiquetés et le critère de spatialisation est la proximité géographique ;
- le diagramme conceptuel, représentation de concepts sous une forme iconique très éloignée de la carte conceptuelle. Notons cependant que ce diagramme est publié dans un article de Clement (1993) faisant référence à Novak.

Pour le groupe des trames conceptuelles, l'analyse des articles faisant référence à cette notion est beaucoup plus simple. Nous n'avons rencontré qu'une seule proposition de trame conceptuelle dans un article de Paccaud (1991). Les autres articles relatent des propositions méthodologiques au sujet de la trame conceptuelle mais n'en produisent pas d'exemple. La trame serait-elle davantage un objet virtuel qu'une figure ? Dans la seule représentation spatiale, baptisée par son auteur *trame conceptuelle*, la figure trouvée ressemble à une carte conceptuelle : les étiquettes se présentent sous forme de mots et non d'énoncés opératoires.

Enfin, pour le groupe des réseaux conceptuels, là encore, nous observons une diversité de représentations, certaines se rapprochant des cartes conceptuelles, d'autres de tableaux à double entrée (on parle alors de *framework*). Dans deux articles de Paton (1993), plusieurs représentations spatiales

sont présentées comme des réseaux conceptuels, certaines sous forme de structures arborescentes de concepts, d'autres sous forme de réseaux d'icônes. Par contre, le *conceptual framework* présenté par Finegold & Pundak (1991) est un classique tableau à double entrée.

4. LES LOIS D'UN GENRE

L'investigation que nous avons menée montre la difficulté de distinguer et classer les représentations spatiales de concepts. À l'évidence ni les techniques de spatialisation ne sont stabilisées, ni les projets de cartographie ne sont systématiques et organisés. Deux hypothèses au moins peuvent être avancées. Les techniques de représentation spatiale qui ont été formalisées par certains de leurs promoteurs, comme la carte conceptuelle ou la trame conceptuelle, exigent une connaissance approfondie de la méthode utilisée. Peu de chercheurs semblent posséder une telle connaissance. La diversité ne serait alors que le fruit de la bonne volonté maladroite d'épignes mal informés.

Mais il est possible aussi de penser que les chercheurs en didactique ne sont pas satisfaits des représentations habituelles. Le chercheur paraît éprouver le besoin de bricoler ses propres méthodes pour répondre à la question qu'il pose. Comme s'il était plus simple et plus souple de travailler ainsi, plutôt que de s'astreindre à l'apprentissage d'une technique. Dans ce cas, il faut se demander quel est le statut réel de ces figures. Sont-elles des productions achevées, pensées, contrôlées et finies ou des états intermédiaires de réflexion et de pré-conceptualisation ?

Si, par contre, les techniques de représentation spatiale de concepts sont bien des instruments de recherche ou de formation, il est important de les caractériser. Quels sont les principes qui permettent de passer, de concepts construits en langue naturelle et en discours, à des représentations plus compactes et qui les tirent vers le figural ? Il est évident que les présupposés et les cheminements sont hétérogènes. Pourtant, la construction d'une représentation spatiale d'un concept scientifique repose toujours sur la même succession d'étapes, comme si l'on obéissait aux lois d'un genre.

1) Il faut d'abord remarquer que, en aval de la carte elle-même, celle-ci prend appui sur ce que Chevallard (1985) a appelé la textualisation du savoir. Les connaissances scientifiques prennent nécessairement la forme de discours échangés dans la classe ou celle de textes édités dans des manuels. Cette textualisation du savoir, en langue, rend possible la suite du travail de spatialisation.

2) C'est dans le texte et l'enchaînement des phrases qu'est opérée l'étape essentielle suivante : celle de l'étiquetage. Étiqueter des concepts est une opération fondamentale. Et elle suppose de réaliser simultanément trois actes différents et implicites. Découper le texte en unités (mots, syntagmes), sélectionner parmi ces unités celles qui paraissent les plus remarquables, leur conférer un statut paradigmatique en les isolant physiquement du reste du

texte. Enfin leur faire acquérir leur statut d'étiquette en visualisant le contour géométrique qui les autonomise. Les étiquettes sont des placards équivalents, contenant au moins un mot, et détourés par une ligne (le plus souvent de forme rectangulaire).

3) Les étiquettes ne sont cependant pas équivalentes. Les concepts, isolés du texte, sont donc classés, ce qui suppose un travail de sériation et de hiérarchisation. Ce travail prend appui sur des logiques hétérogènes. Certaines sont seulement terminologiques : on va du terme générique au terme spécifique en fonction de la relation superordonnée ou hyperonymique existant entre les unités isolées (Mortureux, 1990). D'autres relations s'appuient sur la causalité ou la consécution, l'inclusion, etc.

4) La hiérarchisation précède immédiatement la mise en relation des étiquettes. Chaque étiquette est reliée à une ou plusieurs autres étiquettes par des traits ou des flèches. Ces traits ne sont pas anodins. Certains sont en gras, d'autres en pointillé, ce qui correspond à une syntaxe nommée par certains ponts ou liens. Les ponts ou liens devraient en principe avoir une valeur sémantique et cette valeur demeurer univoque.

5) Enfin le travail du cartographe se termine par la construction d'une figure. C'est-à-dire qu'il dispose et spatialise les étiquettes et les liens sur la page. Apparaît alors une ultime préoccupation : celle de conférer une vue d'ensemble à la représentation. Cette vue d'ensemble suppose un lissage, un arrangement ou même le choix délibéré d'une forme préférée. On obtient ainsi des représentations arborescentes hiérarchisées, des réseaux autocentrés, des dispositions élégantes et équilibrées, pyramidales...

La diversité observée des représentations spatiales résulte des choix différents effectués par les auteurs lors des étapes successives pour en principe parvenir au même résultat : représenter de façon simplifiée et résumée, sous une forme visuelle et synoptique, plusieurs concepts et leurs interrelations. Ces choix qui, par ailleurs, ne sont pas toujours explicités, ne permettent que très rarement au lecteur d'accéder au sens d'une telle représentation. Ainsi, l'utilisation d'une représentation spatiale d'un concept ne peut que s'avérer difficile lorsqu'il manque une légende qui justifie le choix de la procédure et des règles de construction de la représentation spatiale, et le projet d'utilisation de cette représentation.

Le paradigme des représentations spatiales de concepts scientifiques paraît très ouvert. N'est-il pas cependant indispensable de s'interroger sur le statut de ces représentations spatiales et sur leur rôle dans la construction de la connaissance ?

ANNEXE : Liste des revues consultées

Nous précisons entre parenthèses, après le titre de chaque revue, le nombre de numéros consultés, le nombre total d'articles qui a été consulté et le nombre qui a été retenu par revue dans les groupes de cartes conceptuelles, trames conceptuelles et réseaux conceptuels.

Revues en français

- *Aster* (6 numéros, 56 articles dont 5 retenus)
- *Éducation Permanente* (10 numéros, 169 articles dont 0 retenu)
- *Les Sciences de l'Éducation pour l'Ère Nouvelle* (13 numéros, 63 articles dont 1 retenu)
- *Perspectives Documentaires en Éducation* (9 numéros, 72 articles dont 0 retenu)
- *Revue Française de Pédagogie* (12 numéros, 93 articles dont 0 retenu)

Revues en anglais

- *Educational Research* (8 numéros, 51 articles dont 2 retenus)
- *European Journal of Education* (12 numéros, 89 articles dont 0 retenu)
- *International Journal of Science Education* (16 numéros, 150 articles dont 8 retenus)
- *Journal of Biological Education* (12 numéros, 82 articles dont 1 retenu)
- *Journal of Research in Science Teaching* (30 numéros, 200 articles dont 11 retenus)
- *Studies in Educational Evaluation* (9 numéros, 81 articles dont 1 retenu).
- *The Journal of Educational Research* (17 numéros, 119 articles dont 1 retenu)

BIBLIOGRAPHIE

ANDERSON O.M. & DEMETRIUS O.J. (1993). A flow-map method of representing structure based on respondents' narrative using science content. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 30, n° 8, pp. 953-969.

ASTOLFI J.-P. et al. (1990). *Trames conceptuelles*. Document de travail. Paris, INRP.

CHEVALLARD Y. (1985). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, La Pensée Sauvage.

CLEMENT J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 30, n° 10, pp. 1241-1257.

COBERN W.W. (1993). College student's conceptualizations of nature. An interpretive world view analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 30, n° 8, pp. 935-951.

FINEGOLD M. & PUNDAK D. (1991). A study of change in students' conceptual frameworks in astronomy. *Studies in Educational Evaluation*, vol. 17, pp. 151-166.

HAUSLEIN P.L., GOOD R.G. & CUMMINS C.L. (1992). Biology content structure : from science student to science teacher. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 29, n° 9, pp. 939-964.

JACOBI D. (1984). Figures et figurabilité de la science dans les revues de vulgarisation. *Langages*, n° 75, pp. 32-42. Paris, Larousse.

LECLERC L.-P., BESANÇON J. & NIZET I. (1993). Élaboration de modèles conceptuels adaptés à l'enseignement professionnel : une application en agrotechnique. *Aster*, n° 15, pp. 101-119.

Mc CAGG E.C. & DANSEREAU D.F. (1991). A convergent paradigm for examining knowledge mapping as a learning strategy. *The Journal of Educational Research*, vol. 84, n° 6, pp. 317-324.

MOHENO P.B.B. (1993). Toward a fully human science education : an exploratory study of prospective teachers' attitudes toward humanistic science education. *International Journal of Science Education*, vol. 15, n° 1, pp. 95-106.

MORTUREUX M.-F. (ed. 1990). *L'hyponymie et l'hyperonymie*. *Langages*, n° 98. Paris, Larousse.

NOVAK J.D. (1990). Concept mapping : a useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 27, n° 10, pp. 937-949.

PACCAUD M. (1991). Les conceptions comme levier d'apprentissage du concept de respiration. *Aster*, n° 13, pp. 35-58.

PATON R.C. (1993). Understanding biosystem organisation. Part 1 : Verbal relations. *International Journal of Science Education*, vol. 15, n° 4, pp. 395-410.

PATON R.C. (1993). Understanding biosystem organisation. Part 2 : towards a theoretical framework. *International Journal of Science Education*, vol. 15, n° 6, pp. 637-653.

ROLLNICK M. & RUTHERFORD M. (1993). The use of conceptual change model and mixed language strategy for remediating misconceptions on air pressure. *International Journal of Science Education*, vol. 15, n° 4, pp. 363-381.

ROSS B. & MUNBY H. (1991). Concept mapping and misconceptions : a study of high school students' understandings of acids and bases. *International Journal of Science Education*, vol. 13, n° 1, pp. 11-23.

ROTH W.M. & ROYCHOUDHURY A. (1993). The concept map as a tool for the collaborative construction of knowledge : a microanalysis of high school physics students. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 30, n° 5, pp. 503-534.

TOCHON V.F. (1990). Les cartes de concepts dans la recherche cognitive sur l'apprentissage et l'enseignement. *Perspectives documentaires en éducation*, vol. 21, pp. 87-105.

WANDERSEE J.H. (1990). Concept mapping and the cartography of cognition. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 27, n° 10, pp. 923-936.



Homomorphismes réel-représentation et signifié-signifiant

Exemples en mathématiques

Gérard VERGNAUD

CNRS, GR Didactique
46, rue Saint-Jacques
75005 Paris, France.

Texte transcrit par Philippe Prévost

Le texte de l'exposé de Gérard Vergnaud peut sembler à première vue s'écarter du thème de ce dossier. En évoquant de façon très transversale la question de la représentation, il replace le cas des cartes de concepts dans un ensemble plus large. Ce qui lui permet de mettre au jour des interrogations fortes, comme celle du rapport entre le réel et sa représentation, ou encore les différences entre représentation et symbolisation.

De plus, en illustrant cet exposé de nombreux exemples empruntés aux mathématiques, il souligne pourquoi la possibilité de disposer de plusieurs représentations (ou symbolisations), différentes mais homomorphes, peut devenir un atout. Ces représentations autorisent en effet plusieurs chemine-ments, par exemple pour une résolution de problèmes, qui diffèrent les uns des autres. Les cartes conceptuelles apparaissent ainsi comme un nouvel épisode d'une préoccupation permanente chez les didacticiens : disposer d'une panoplie aussi large que possible pour aider des apprenants à s'appropriier des langages ou des procédures.

P. Prévost et D. Jacobi

Résumé

Situant les représentations spatiales des concepts scientifiques dans le cadre plus général de la représentation conceptuelle, l'auteur souligne l'importance du concept d'homomorphisme dans l'analyse des rapports entre le réel et sa représentation, tant dans la conceptualisation que dans la symbolisation.

L'auteur s'interroge en particulier sur la fonctionnalité des représentations spatiales de concepts scientifiques. D'une part, il relie le problème de la sélection des éléments avec les opérations de pensée nécessaires à la lecture d'une représentation graphique. D'autre part, il pose le problème de la relation entre l'organisation de la représentation spatiale d'un concept scientifique et le rapport signifiant/signifié.

Mots clés : *concepts scientifiques, représentations spatiales, représentation conceptuelle, homomorphisme, conceptualisation, symbolisation, théorie de la représentation.*

Abstract

In this article, the author emphasizes that the concept of homomorphism is important for analyzing the relations between reality and its representation, as well as for graphic representations (concept maps and others) and other representations of scientific concepts.

The research adresses the functionality of the spatial representations of scientific concepts. On one hand, the problem of selecting elements can be related with the thought operations necessary for reading a graphical representation. On the other hand, the relation between the organization of the graphical representation and the signifier/signified link poses a symbolization problem.

Key words : *scientific concepts, graphical representations, conceptual representation, homomorphism, conceptualization, symbolization, representation theory.*

Resumen

Situando las representaciones espaciales de conceptos científicos en el marco más general de la representación conceptual, el autor enfatiza la importancia del concepto de homomorfismo en el análisis de las relaciones entre lo real y su representación, tanto en la conceptualización como en la simbolización.

El autor se interroga en particular sobre la función de las representaciones espaciales de conceptos científicos. De una parte, él relaciona el problema de la selección de los elementos, con las operaciones de pensamiento necesarias en la lectura de una representación gráfica. Por otra parte, él plantea el problema de la relación entre la organización de la representación espacial de un concepto científico y la relación signifiante/significado.

Palabras claves : *conceptos científicos, representación conceptual, homomorfismo, conceptualizaci n, simbolizaci n, teoría de la representación.*

Pour une analyse rationnelle des rapports entre langage et pensée, entre représentations symboliques et conceptualisation, une théorie de la représentation aussi précise que possible est nécessaire.

Le concept d'homomorphisme, comme correspondance entre les éléments de l'ensemble d'arrivée et des classes d'éléments de l'ensemble de départ, est une clef de l'analyse des rapports entre réel et représentation conceptuelle, et des rapports entre signifié et signifiant.

Le concept d'homomorphisme a du sens à deux niveaux au moins :

– au niveau de la représentation en général, comme fonction psychologique : s'il n'y avait pas d'homomorphismes entre le réel et la représentation, celle-ci ne serait pas fonctionnelle ;

– au niveau du rapport signifié/signifiant : dans une représentation spatiale ou une représentation langagière, il faut savoir quelles propriétés du signifiant représentent quelles propriétés du signifié.

		COULEURS		
		jaune	bleu	rouge
FORMES	carré			
	rond			
	triangle			
	rectangle			

Classes d'objets possibles

Figure 1 : Un exemple de tableau à double entrée : la classification croisée

Ainsi, dans les repr sentrations spatiales de concepts scientifiques, le rapport signifiant/signifié peut être traité en terme d'homomorphismes.

La métaphore spatiale introduit les propriétés de l'espace que sont les alignements, les directions, l'orthogonalité, l'ordre et la mesure ainsi que les symétries, le centre et la périphérie, etc. Certaines repr sentrations peuvent utiliser plusieurs de ces propriétés.

Par exemple, une classification à double entrée utilise les alignements ligne-ligne et colonne-colonne, ainsi que l'orthogonalité et l'indépendance (figure 1).

Il en va de même pour la repr sentrations de la double proportionnalité qui utilise l'espace. Dans un lycée professionnel, avec des élèves du bâtiment, on peut montrer les propriétés de la double proportionnalité à l'aide du diagramme commutatif ci-dessous (figure 2). Si quatre ouvriers, en trois jours, font vingt-cinq mètres linéaires de fondation, combien font douze ouvriers en six jours ? On utilise à la fois le fait qu'apparaissent verticalement des durées, horizontalement des nombres d'ouvriers, et à l'intérieur, la longueur de la fondation fabriquée, fonction des deux autres variables, indépendantes entre elles.

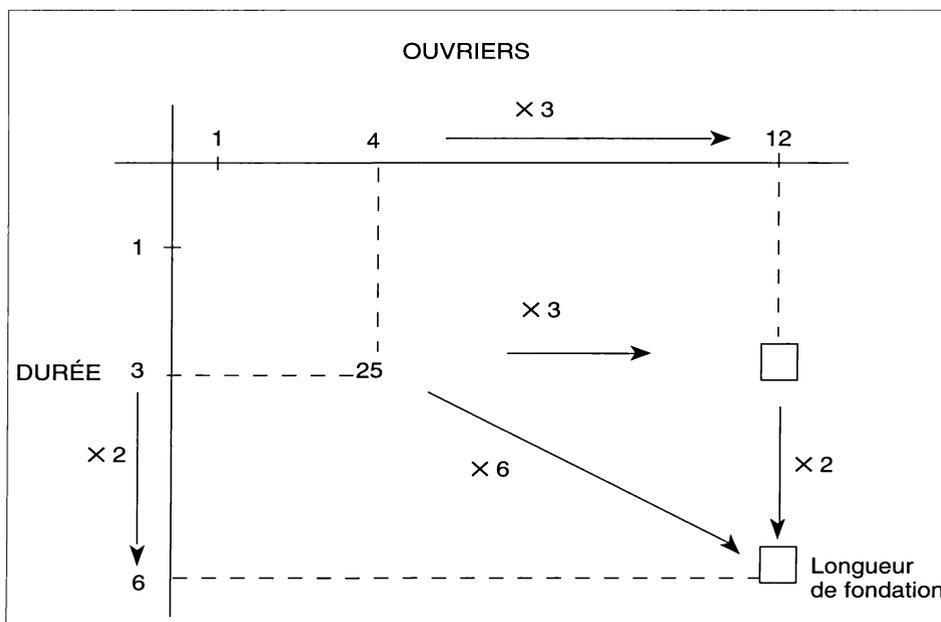


Figure 2 : Un autre exemple : la proportionnalité double

Avec cet exemple, on utilise un peu plus que les seules propriétés de l'espace puisque, sur cet espace, il y a un calcul relationnel, c'est-à-dire un raisonnement. Il est alors utile de distinguer dans les fonctions du signifiant

l'aide à la sélection des informations et l'aide à l'organisation des relations : la seconde est une aide au raisonnement. La représentation spatiale va non seulement aider à représenter les relations, mais elle va aider aussi au passage de la représentation du problème à celle de sa solution.

Dans la représentation spatiale d'un concept, il n'y a pas que l'espace qui est concerné parce qu'il y a également présence de traits, de flèches, de pavés (ou étiquettes) ronds, ovales ou rectangulaires. De même, des problèmes de voisinage peuvent induire certaines idées, qui sont utilisées consciemment ou inconsciemment. On peut avoir ainsi des effets pervers de l'espace. Dans un grand nombre de représentations spatiales utilisées en psychologie cognitive, on peut se poser la question de savoir si elles sont vraiment utiles. Parfois les propriétés de symétrie piègent l'auteur. On dispose par exemple à gauche et à droite des éléments qui n'ont guère de rapports, et on fait une mauvaise lecture de ces éléments.

Enfin, dans les cartes et autres représentations spatiales, les mots et les énoncés pèsent d'un certain poids. Si les propositions ou les énoncés sont susceptibles de vérité ou de fausseté, ce n'est pas le cas des mots. Et un mot ne résume pas toutes les propriétés d'un concept. De ce point de vue, les trames conceptuelles, qui utilisent beaucoup d'énoncés, et les cartes conceptuelles, qui n'utilisent guère que des mots, ne sont pas équivalents. On ne dit pas en général ce que le lecteur doit retenir ou comprendre des mots.

Des cartes, pour quoi faire ?

L'utilisation des représentations spatiales demande qu'on s'interroge sur leur fonctionnalité.

À titre d'exemples, en mathématiques, certains schémas résument assez bien les différentes relations d'addition et de soustraction.

Dans les représentations ci-après (figure 3), la première exprime la réunion de deux parties en un tout, la seconde la transformation par augmentation ou diminution d'un état initial, la troisième la relation de comparaison entre un référé et un référent. Les autres représentent la composition de deux transformations, la composition de deux relations et la transformation d'une relation. Avec ces schémas, on fait à peu près le tour de toutes les relations de base dans le domaine de l'addition et de la soustraction. La représentation spatiale contribue à faire comprendre le cadre théorique qui permet de rendre compte du cheminement des enfants dans le processus de conceptualisation des structures additives, car elle montre comment les enfants saisissent progressivement certaines relations et pas d'autres et, pour une même relation, certaines classes de problèmes et pas d'autres.

Mais pourquoi cette représentation est-elle symétrique ? La disposition sur une même ligne des relations II et III, ou IV et V, n'était pas une obligation.

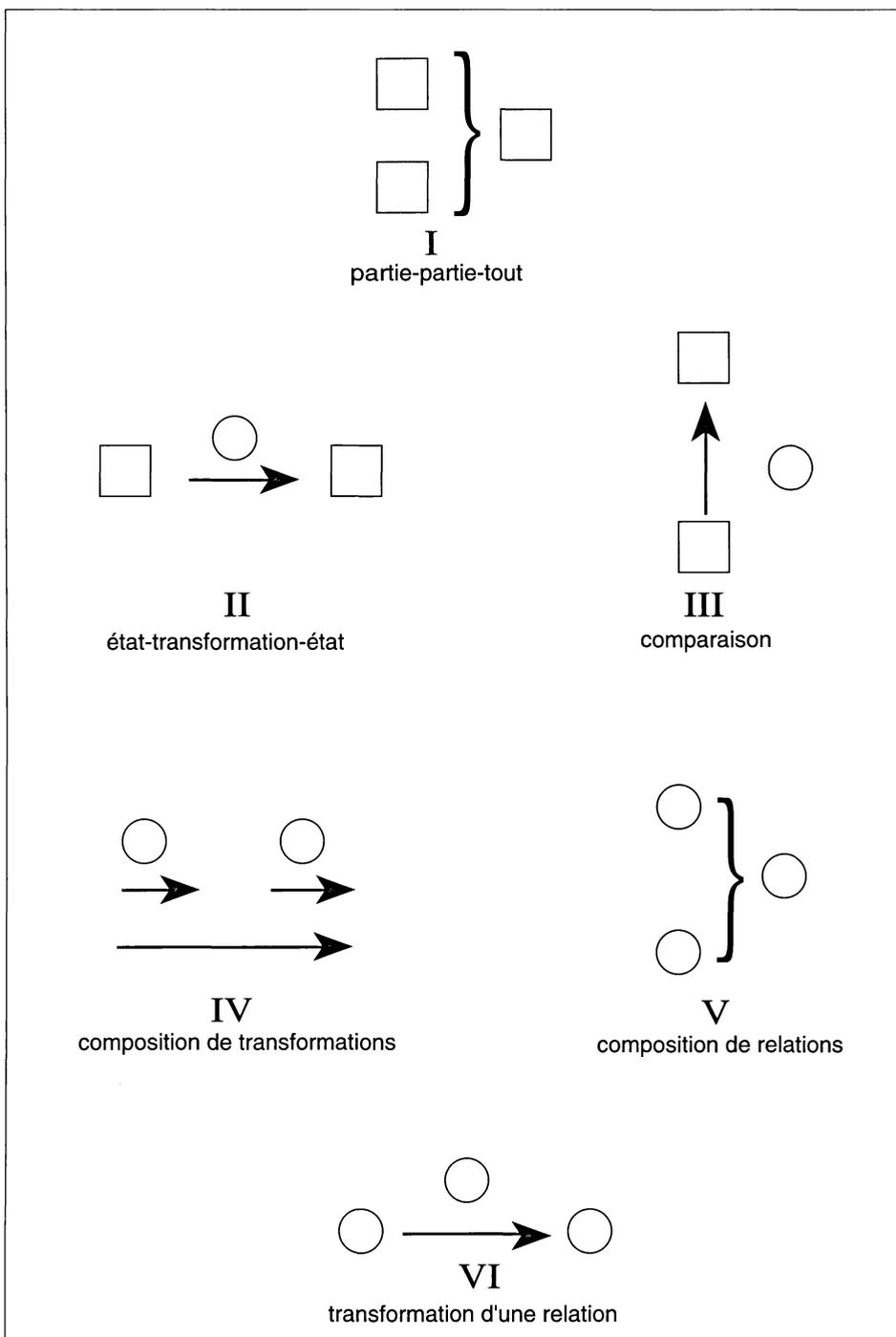


Figure 3 : Les six relations additives de base

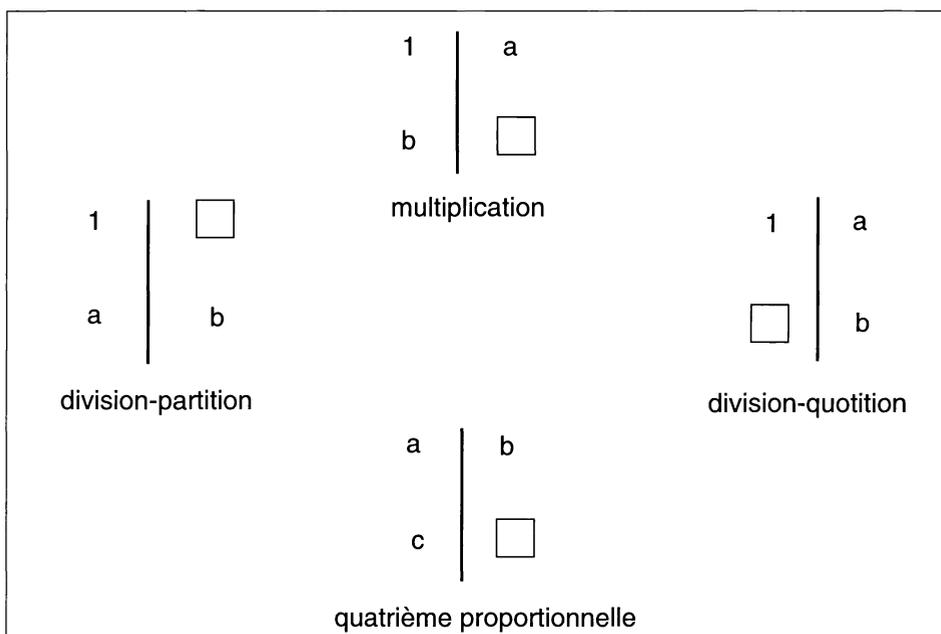


Figure 4 : Les quatre catégories de problèmes dans la proportion simple

Prenons un autre exemple, celui de la proportionnalité simple (figure 4) :

– la multiplication se trouve en haut avec deux variables proportionnelles l'une à l'autre. Par exemple, un gâteau coûte 3 F, combien coûtent 6 gâteaux ?

– les deux catégories de divisions sont placées sur la ligne suivante. À gauche, la recherche d'une valeur unitaire, ou partition (j'ai acheté 5 gâteaux pour 30 F, combien coûte chaque gâteau ?), à droite la quotition (un gâteau coûte 6 F, j'ai 24 F, combien puis-je acheter de gâteaux ?).

Et je place toujours au-dessous la recherche d'une quatrième proportionnelle, pour des raisons de symétrie.

La contingence joue son rôle dans ce travail de représentation spatiale. On fait des catégorisations et on essaie de les résumer dans l'espace sous une forme laconique, mais il y a une part non négligeable de contingence.

L'espace graphique permet sans nul doute de représenter certains concepts plus aisément : par exemple, l'ordre total et l'ordre partiel. Le formalisme de l'ordre partiel transitif mais non connexe, est très lourd ; l'espace est une ressource intéressante pour représenter la notion d'ordre partiel.

Dans un modèle développemental comme celui représenté à la figure 5, on comprend que la compétence E et la compétence F s'appuient toutes les deux sur la compétence A, que la compétence E ne s'appuie pas sur la compétence B, que la compétence F s'appuie à la fois sur A et sur B, et H sur G, E, C et A, bien que E et G soient des compétences indépendantes.

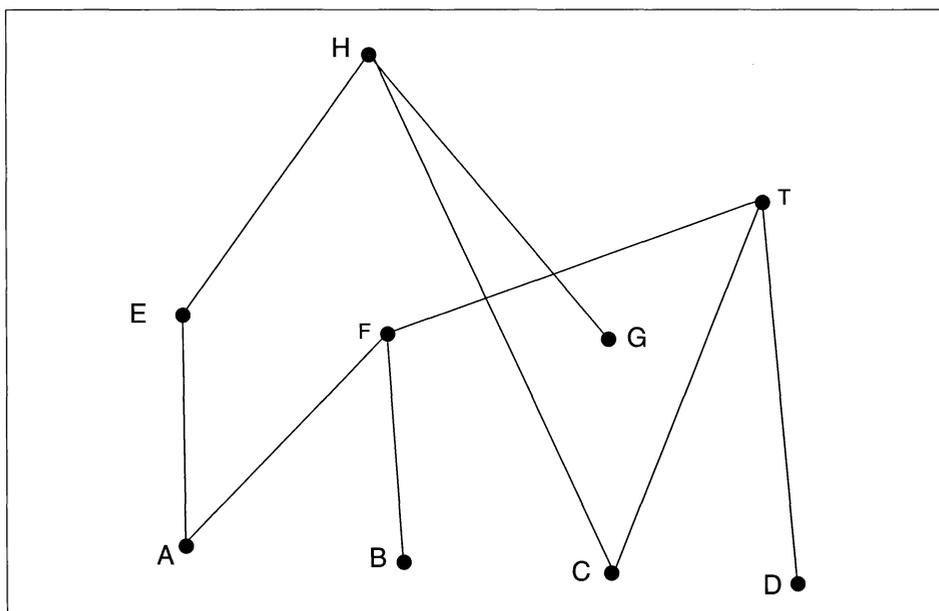


Figure 5 : Un exemple d'ordre partiel : la formation des compétences

Ainsi, les représentations spatiales aident dans de nombreux cas à visualiser des concepts, mais deux problèmes se posent dans la représentation spatiale des concepts scientifiques : celui de la sélection des éléments et celui de l'établissement de liens, autrement dit de l'organisation.

La sélection et l'organisation des éléments

C'est un besoin général de la représentation que d'être sélective. L'espace aide certainement à sélectionner ce qui est pertinent ; mais encore faut-il que l'on retienne ni trop, ni trop peu. Quand on regarde certaines cartes conceptuelles, on a des doutes. Il me paraît donc indispensable d'analyser à chaque fois ce qui est retenu, ce qui ne l'est pas, ce qui est opératoire, etc.

La sélection est une caractéristique très générale de la pensée, qui vaut à la fois pour l'action, l'expression linguistique et l'expression graphico-spatiale. Elle s'effectue à trois niveaux au moins.

– La prise d'information sur le réel : en situation, nous sélectionnons une très petite partie de l'information, celle qui est pertinente. Ce sont les invariants opératoires, les concepts en acte et théorèmes en acte, qui assurent cette sélection de l'information pertinente et son traitement.

– La forme linguistique de la connaissance : on n'exprime pas tout ce qu'on a retenu dans la perception et dans l'action. Les mots ne disent pas tout de la pensée. Par exemple, pour les structures additives, on peut faire la liste

d'une bonne quinzaine de concepts indispensables pour comprendre la manière dont les élèves traitent les problèmes en situation. Mais on ne retient pas cette quinzaine de concepts lorsqu'on parle des structures additives à l'école élémentaire. On n'en retient que trois ou quatre. Par exemple les relations de comparaison quantifiées existent quand on écoute les enfants parler entre eux. Mais on n'en parle pas et on ne les représente pas à l'école. Quand un enfant utilise l'imparfait pour un état initial et le présent pour un état final, l'opposition entre les temps verbaux suffit pour indiquer qu'il s'agit de l'état initial et de l'état final. Mais l'étiquetage état initial/état final est une nominalisation qui n'est pas faite habituellement en classe.

- La représentation spatiale : elle introduit une sélection supplémentaire en même temps qu'elle modifie le rapport signifiant/signifié. On sait aujourd'hui qu'il y a une énorme ambiguïté sur ce que signifient les représentations graphiques pour les enfants de l'école primaire et du collège, à commencer par le fait qu'un point n'est pas mesurable et qu'il y a quelque paradoxe à représenter une donnée numérique par un point. On ne sait faire cela que depuis Descartes ; les enfants n'ont pas de raison de réinventer Descartes seuls. L'une des questions est de savoir quelles opérations de pensée sont nécessaires pour lire une représentation spatiale.

Quant à l'**organisation de la représentation spatiale**, elle renvoie au problème général du rapport signifiant/signifié. Quelles propriétés du signifiant représentent quelles propriétés du signifié ; et parmi ces propriétés, lesquelles sont vraiment utiles dans l'apprentissage ?

Cette question ne pourra jamais être abordée tant que l'on ne distinguera pas, dans la représentation, la référence aux objets et la référence aux situations. Dans le triangle épistémologique classique (figure 6), on distingue l'objet réel, la représentation de l'objet, et le symbolisme associé à la représentation de l'objet. Les objets ont des propriétés, des relations avec d'autres objets, s'intègrent dans des systèmes, et sont soumis à des transformations.

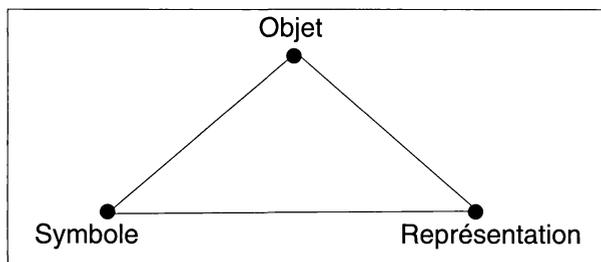


Figure 6 : Le triangle épistémologique classique

Notre conceptualisation du réel est liée à notre action sur le réel et la référence aux objets est ainsi liée à l'action du sujet. Il est donc nécessaire de complexifier le triangle. Le réel doit être regardé non pas comme un simple ensemble d'objets munis de propriétés et de relations (c'est le discours habi-

tuel de la science), mais aussi comme un ensemble de situations. Il faut intégrer une vision du réel en termes de classes de situations. Mais les situations ne se laissent pas classer facilement ; pourtant si l'on n'a pas une double lecture du réel, comme un ensemble de situations et comme un ensemble d'objets, on ne peut pas comprendre les processus de conceptualisation qui accompagnent l'action sur le réel. Ainsi, plutôt qu'un triangle, il faut considérer quatre termes pour une théorie de la représentation (figure 7) :

- le réel fait d'objets et de situations,
- les invariants opératoires, concepts-en-acte et théorèmes-en-acte, contenus dans les schèmes et algorithmes que développe le sujet pour traiter les situations,
- les signifiés véhiculés par la langue et les autres représentations symboliques,
- les signifiants.

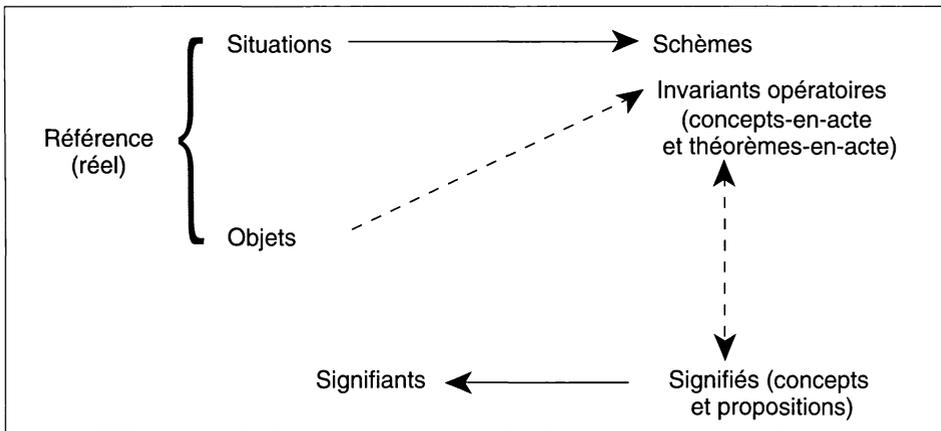


Figure 7 : Une analyse alternative de la représentation

Ces deux derniers termes sont étroitement interdépendants et forment des systèmes distincts selon qu'il s'agit de la langue ou de l'espace graphique. L'utilisation de représentations spatiales pose donc inévitablement le problème plus large de la conceptualisation, et des homomorphismes. La didactique appelle une théorie du fonctionnement et du développement cognitifs dans laquelle on puisse traiter convenablement, sans sophistication excessive, mais avec rigueur, la manière dont un sujet peut agir efficacement dans des situations données et la manière dont il peut être aidé pour cela, par les formes symboliques en usage dans la société et dans l'enseignement. Seule une théorie intégrée de la représentation peut répondre à cette exigence, mais cette théorie demande à être articulée autour de deux questions distinctes : la conceptualisation et la symbolisation. Le concept d'homomorphisme est indispensable pour les deux, mais les deux processus ne doivent pas être confondus, même si la symbolisation contribue à la conceptualisation, tout en la supposant.



Terminologie et représentation des connaissances

Anne CONDAMINES

Équipe de Recherches en Syntaxe et Sémantique
(ERSS, URA 1033)

Maison de la Recherche, Université Toulouse le Mirail
5, allées Antonio Machado
31058 Toulouse cedex, France.

Ce dossier était en cours de rédaction quand j'ai rencontré dans un colloque sur les terminologies, où nous étions tous deux conférenciers invités, Anne Condamines¹. Son exposé était doublement intéressant. D'une part, il portait sur les difficultés de communication et de traduction (entre professionnels du secteur de l'industrie aéronautique et spatiale) qu'entraîne la polysémie de certains concepts techniques. D'autre part, il était accompagné de transparents qui ressemblaient fortement à des cartes conceptuelles. Comment et pourquoi une linguiste est-elle amenée à spatialiser des concepts dûment étiquetés et à les relier par des ponts ? De plus, il est rare que des linguistes centrent leurs recherches sur les langues de spécialité et plus particulièrement les terminologies techniques mobilisées par les chercheurs, ingénieurs et techniciens de l'industrie. Cet éclairage était évidemment stimulant pour une revue qui a pour projet de s'intéresser, entre autres, à la communication de ces savoirs techniques. Mais surtout il nous a paru utile de compléter le point de vue de l'intelligence artificielle par celui d'une linguiste qui, il est vrai, est par ailleurs soucieuse d'intégrer certaines des méthodes des informaticiens.

D. Jacobi

1. Anne Condamines et l'équipe CNRS à laquelle elle appartient ont reçu pour leurs travaux le prix de la valorisation 1994 du département SHS du CNRS et de l'ANVIE.

Résumé

La terminologie est à un moment crucial de son histoire. La rencontre avec l'intelligence artificielle, les besoins accrus des entreprises en ce qui concerne la communication technique, devraient l'aider à structurer et organiser les recherches futures dans ce domaine. Un rapprochement avec la linguistique pourrait être fructueux, et permettrait de trouver un terrain d'entente avec l'intelligence artificielle. La terminologie et l'intelligence artificielle ont en commun de travailler sur la représentation des connaissances, la première via l'étude des concepts désignés par les termes, la seconde via l'étude de la formalisation de la connaissance. Cet article se propose de montrer comment et pourquoi la collaboration est possible entre ces deux disciplines.

Mots clés : *intelligence artificielle, représentation de la connaissance, réseau conceptuel, réseau sémantique, terminologie.*

Abstract

Terminology has reached an important moment in its development as a discipline. The confluence with artificial intelligence on the one hand, the increasing industrial needs for communication on the other could help terminology to structure its future researches. They could find a fruitful terrain in closer contacts with linguistics and, consequently, with artificial intelligence. Terminology and artificial intelligence share the same aim, that of knowledge representation : terminology via the study of concepts denominated by terms, and artificial intelligence via knowledge formalisation. This article proposes to show how and why the collaboration is possible between these two disciplines.

Key words : *artificial intelligence, conceptual networks, semantic networks, knowledge representation, terminology.*

Resumen

La terminología está en el momento crucial de su historia. El encuentro con la inteligencia artificial de una parte, y, por otra parte las necesidades del incremento industrial en lo que concierne a la comunicación técnica, debería ayudarla a estructurar y organizar las futuras investigaciones en este dominio. Ellas deberían encontrar un terreno fértil en un acercamiento con la lingüística, acercamiento que les permitirá encontrar un terreno de entendimiento con la inteligencia artificial. La terminología y la inteligencia artificial tienen en común el trabajar sobre la representación del conocimiento, la primera, via el estudio de los conceptos designados por los términos, la segunda, via el estudio de la formalización del conocimiento. El artículo se propone mostrar cómo y por qué la colaboración es posible entre estas dos disciplinas.

Palabras claves : *inteligencia artificial, representación del conocimiento, red conceptual, red semántico, terminología.*

INTRODUCTION

La rencontre entre la terminologie et la représentation des connaissances, issues de courants de recherches différents et poursuivant apparemment des objectifs différents, ne peut se faire sans des conditions particulièrement favorables. Il semble que ces conditions se mettent en place et que ceci soit à rattacher, en grande partie, à l'émergence d'un besoin en entreprise. Dans ce type de lieu cohabitent, en s'ignorant le plus souvent, des services de traduction, où se pratique la terminologie, et des départements de recherche et développement en informatique linguistique et documentaire et en intelligence artificielle, qui, tout comme les services de traduction, sont amenés à traiter des textes spécialisés ; dans les deux cas, les travaux visent une amélioration de la communication technique.

Dans le même temps, une collaboration s'est développée dans les laboratoires de recherche entre linguistes et informaticiens, autour de la problématique du traitement automatique du langage naturel. Cette collaboration commence à porter ses fruits et permet de proposer un début de réponse aux entreprises en permettant une mise en contact des travaux sur la terminologie et sur l'informatique.

L'état des recherches sur la terminologie et l'intelligence artificielle sera présenté dans cet article, ainsi que les nécessaires évolutions auxquelles devraient conduire la rencontre terminologie/intelligence artificielle. Puis nous exposerons un modèle de Base de Connaissance Terminologique, manifestant la rencontre entre ces deux disciplines.

1. TERMINOLOGIE, REPRÉSENTATION DES CONNAISSANCES : LES POSSIBILITÉS DE RENCONTRE

Héritière des travaux sur la classification du siècle dernier, la terminologie s'est constituée en discipline autonome grâce à Wuster, il y a une cinquantaine d'années. Depuis, l'activité de terminologie s'est essentiellement développée dans des objectifs de traduction ou de normalisation non dénués d'ambitions politiques (protection des langues) ou économiques (meilleur rendement des traducteurs et éventuellement, tentative de faire imposer les termes en cours dans une entreprise par exemple). Ces développements se sont souvent faits avec une vision un peu naïve de la terminologie qui ne serait qu'une sorte de représentation parfaite d'un système conceptuel sous-jacent :

“[Pour les philosophes des sciences], la connaissance scientifique procédant du raisonnement logique, il est possible de bâtir un système sémiotique optimal entièrement fondé sur la logique. L'unité minimale est le terme, “pur” de toute connotation, univoque, monoréférentiel et précis.” (Slodzian, 1994)

“Si le positivisme logique est aujourd'hui largement rejeté, certaines de ses conclusions continuent de prévaloir localement. La terminologie tra-

duit dans ses préceptes les plus dogmatiques la survivance d'un positivisme révolu." (ibidem)

Le flou le plus regrettable dans les travaux existants vient certainement de ce que l'objet de la terminologie n'est pas suffisamment clairement défini ; en particulier, les réflexions autour de la définition même du terme ne nous semblent pas assez poussées. Les possibilités offertes par l'informatique mais aussi les nouvelles questions qu'elle pose ne font que renforcer ce malaise.

Aujourd'hui, la terminologie est certainement à une étape importante de son histoire et nous pensons que la confrontation avec d'autres disciplines lui permettra d'élargir et de mieux comprendre son champ d'investigation.

Pour nous, une des disciplines avec laquelle la confrontation est la plus fructueuse, c'est l'informatique et, plus particulièrement, l'intelligence artificielle. De cette confrontation, des possibilités et des limites qu'elle montre, il semble qu'on peut d'ores et déjà tirer l'idée que, tant pour son avenir propre que pour pouvoir s'ouvrir à la fois à de nouvelles disciplines et à de nouvelles applications, la terminologie doit s'ancrer encore davantage dans une science qui lui permettra d'aller plus loin dans l'explication des fonctionnements : la linguistique.

1.1. Le nécessaire ancrage de la terminologie dans la linguistique

Deux éléments, présentés ci-dessous, semblent avoir éloigné les travaux sur la terminologie de la linguistique, et ce malgré le rapprochement préconisé par Wuster.

1.1.1. Héritant du positivisme du XIX^e siècle, les terminologues ont parfois tendance à ne considérer les termes que comme des étiquettes d'éléments de la réalité :

"Par l'intermédiaire du sens, le terme est en rapport avec le référent qu'il représente et dont on parle surtout s'il s'agit d'objets matériels." (Kocourek, 1982)

Seule la fonction de représentation du terme est alors considérée ; l'étiquetage du référent est fixé hors discours et de façon permanente. Une telle approche suppose que le terme-étiquette peut apparaître dans n'importe quel contexte sans que son "sens" en soit affecté. En réalité, les points de vue sur les référents entraînent des conceptualisations différentes qui peuvent amener à des dénominations différentes.

Ainsi, dans la terminologie du spatial, le satellite artificiel qui correspond à un référent unique, peut être vu comme objet dont il faut simuler le comportement, objet qu'il faut réellement envoyer dans l'espace, objet qu'il faut maintenir, etc. Suivant les départements concernés, le point de vue n'est pas le même et les contextes d'apparition seront aussi très différents. Même si, dans ce cas, il n'y a pas de variations dans la dénomination, il faut bien donner un sens au fait que les contextes d'apparition sont très différents. Nous considérons qu'il y a alors plusieurs concepts en jeu.

Par ailleurs, toujours chez Kocourek, il est étonnant de voir associer le “sens” d’un terme qui renvoie à un fonctionnement linguistique au “réfèrent” que, depuis Saussure, on considère comme n’appartenant pas au champ d’investigation de la linguistique. N’est-ce-pas effectuer un sérieux raccourci que d’établir ainsi un lien direct entre terme et réfèrent ?

Nous pensons que, s’intégrant dans le système linguistique d’une langue de la même façon que n’importe quel mot¹, le terme doit être avant tout considéré comme un signe linguistique.

Il est vrai cependant que, parce que la terminologie est toujours associée à un domaine particulier, il semble possible de considérer que la plupart des termes entretiennent une relation stable avec les concepts (et non pas les référents) du domaine ; on peut ainsi faire l’hypothèse que les termes peuvent constituer des clés d’accès à la connaissance du domaine. *Via* l’examen linguistique des termes et de leurs contextes d’apparition, on peut accéder aux éléments conceptuels stabilisés du domaine :

“Bien entendu, en règle générale, un concept donné a pour pendant, dans une langue donnée, un signifié qui en tient lieu dans les limites de cette langue, mais la pensée n’est pas la langue et réciproquement.”
(Lerat, 1988)

Ne serait-ce que pour rendre l’analyse terminologique opérationnelle, nous pensons qu’il faut distinguer réfèrent, concept et signifié.

Le réfèrent concerne la perception et ne fait pas partie d’un système.

Le concept concerne la conceptualisation et fait partie d’un système.

Le signifié ne concerne que le linguistique et fait partie d’un système.

Le novice qui rencontre une partie d’un satellite, par exemple la charge utile, perçoit un objet, mais il ne sait pas à quoi il sert ni comment il s’intègre au système du satellite (il n’a accès qu’au réfèrent). Un expert, quelle que soit sa langue, sait parfaitement la fonction et la façon d’utiliser cet objet, il sait l’intégrer à un système de concepts (il en a une bonne conceptualisation). Ce même expert sait donner un nom à cet objet dans sa langue et, probablement, dans d’autres langues (il connaît le signe linguistique adéquat).

Il est clair que, tout comme il existe des relations entre signifié et concept, il en existe entre concept et réfèrent. Ainsi, il est entendu que notre façon de percevoir est influencée par notre façon de concevoir, elle-même étant influencée par notre façon de dire. Mais il convient de ne pas confondre les niveaux et de mesurer à quelles conditions on peut établir des équivalences entre eux.

1.1.2. Dans son entreprise pour définir la langue comme objet d’étude de la linguistique, Saussure a délibérément exclu tout ce qui renvoyait à l’énon-

1. Dans la majorité des cas, les termes s’insèrent en discours en obéissant à toutes les règles linguistiques, aussi bien en ce qui concerne l’accord que le fonctionnement syntaxique et sémantique (les seules exceptions concernent les sigles et les symboles chimiques, considérés comme termes, qui ne prennent pas les marques du féminin et du pluriel).

ciation et à la prise en compte du locuteur. Ce n'est que depuis quelques dizaines d'années que les travaux sur l'énonciation et la sociolinguistique se sont intéressés aux conditions de production de la langue, et on peut noter des différences dans ces productions, en fonction de la provenance sociale par exemple. Au niveau d'un domaine particulier, on peut faire l'hypothèse forte que c'est la différence de compétences qui sera manifestée dans les productions langagières ; on pourra distinguer les productions de novices des productions d'experts, en particulier par le fait que ces derniers utiliseront beaucoup plus de termes spécifiques.

Pourtant, la terminologie, directement concernée par la définition d'un domaine de compétences (et donc, d'un domaine de production langagière) a très peu bénéficié des apports de ces recherches¹. L'explication tient peut-être à la difficulté des linguistes d'aller sur le terrain même des productions terminologiques, c'est-à-dire, pour l'essentiel de la terminologie technique, les entreprises². Dans les entreprises, lorsque des travaux de terminologie existent, ils sont, la plupart du temps, cantonnés dans les services de traduction et uniquement considérés comme une pratique visant à recueillir et traiter les termes au fur et à mesure des difficultés de traduction rencontrées.

Cependant, depuis quelques années, conscients des besoins nouveaux en terminologie, reliés notamment à des difficultés dans la communication technique ou à la volonté de mémoriser leur propre savoir-faire, certaines grandes entreprises ont mis en œuvre des projets d'envergure dans lesquels les ressources terminologiques constituent un des éléments majeurs. C'est le cas en particulier pour toutes les entreprises qui ont entrepris des projets de Traitement Automatique du Langage Naturel (TALN) ou de représentation des connaissances. Le plus souvent, ces entreprises participent à des projets internationaux visant à une définition commune des besoins et à la constitution d'outils (par exemple, dans le projet EUROLANG, d'outils d'aide à la traduction automatique), à charge pour chaque partenaire de recueillir sa terminologie et les informations nécessaires pour que l'outil fonctionne dans son entreprise. Pour n'en citer que quelques-unes, EDF, AÉROSPATIALE, SIEMENS participent à des projets de ce type. Dans un certain nombre de cas, les responsables de ces projets ont une formation en linguistique, ce qui est le signe d'une mutation puisque, jusqu'à présent, les terminologues avaient une formation de traducteurs.

La terminologie a tout à gagner à se rapprocher de la linguistique (tout en gardant ses spécificités). Tout d'abord, elle y gagnera du point de vue méthodologique ; la linguistique dispose de méthodes d'analyse qui trouvent tout à fait leur place dans la description de terminologie. Ainsi, l'analyse des contextes permet de mieux cerner un mot dont on ne connaît pas le sens, en

1. Il faut noter cependant qu'il existe un courant de réflexion sur la "socioterminologie", en particulier à l'université de Rouen (Gaudin, 1993).

2. La psychologie n'a pas hésité, elle, à pénétrer le tissu industriel depuis plusieurs dizaines d'années ce qui a conduit à la création d'une nouvelle discipline : l'ergonomie. Or, il n'est pas rare que, sur des problèmes qui relèvent nettement de l'étude de la langue, les entreprises fassent appel aux ergonomes, déjà sur place, mais qui n'ont peut-être pas toujours toutes les compétences qui seraient requises.

faisant appel aux connaissances linguistiques que l'on a sur le reste de la phrase ; elle permet aussi de repérer les relations sémantiques qu'un mot entretient avec d'autres mots du même paradigme (relation de hiérarchie essentiellement ; pour plus de précision, cf. Condamines, 1993).

Presque tout reste à faire pour adapter les méthodes de l'analyse linguistique à l'analyse des termes. Le fonctionnement linguistique des termes est mal connu. Pour ne prendre qu'un exemple, nombreux sont les termes qui sont aussi des mots de la langue courante ; quelles spécificités dans leur comportement en contexte font qu'on peut repérer un fonctionnement terminologique (qui permet d'établir un lien privilégié avec un concept), et pas seulement un fonctionnement linguistique ? Nous proposons par ailleurs (Condamines, à paraître) une première liste de critères qui permettent de repérer les termes. D'autre part, dans le rapprochement avec la linguistique, la terminologie sera gagnante parce qu'elle se trouvera sur un terrain d'entente avec d'autres disciplines et, en particulier, avec l'intelligence artificielle (cf. ci-dessous). Enfin, le rattachement à la linguistique ouvrira de nouveaux horizons à la terminologie et, du point de vue applicatif (aide à la rédaction de documents techniques, enseignement assisté par ordinateur par exemple), l'aidera à mieux adapter le travail aux besoins des entreprises.

1.2. Représentation des connaissances : TALN, IA

Presque tous les types d'utilisation de la terminologie dans des projets applicatifs font appel à des ressources qui doivent rendre compte du double fonctionnement du terme : comme signe linguistique et comme clé d'accès à une connaissance spécialisée. Dans ce paragraphe, nous souhaitons montrer les liens qui peuvent s'établir entre les travaux sur la terminologie et les travaux existant en informatique sur la représentation des connaissances. Deux types de courants de recherche, eux-mêmes fortement corrélés, sont engagés sur la représentation des connaissances : le Traitement Automatique du Langage Naturel (TALN) et l'Intelligence Artificielle (IA).

1.2.1. TALN

Depuis les débuts du traitement automatique du langage naturel, la plupart des chercheurs savent qu'ils ne peuvent (ne pourront) réussir dans leur entreprise que s'ils se focalisent sur des domaines de connaissance particuliers. Or, cette idée de domaine de connaissance est un des éléments qui permettent de caractériser la terminologie. Et en effet, la plupart des mots ou groupes de mots qui doivent être traités dans ces systèmes de TALN sont des termes ("capteur d'acquisition solaire", "étagiste", "bus fond de panier" sont des termes extraits de la terminologie de Matra Marconi Space (MMS), dont le recueil et le traitement sont indispensables dans un système de traitement automatique de la langue).

De plus, ces systèmes ont besoin des deux types de données que l'on retrouve, de façon plus ou moins développée, dans les Bases de Données Terminologiques (BDT) : des données linguistiques (nature, genre, types de

constructions admis...) et des données sur la connaissance du monde (essentiellement, des données sur les relations que les concepts désignés par les termes entretiennent entre eux).

Cependant, par rapport à la terminologie classique, l'intégration à un système de traitement automatique demande que soient posées un certain nombre de questions qui ne sont pas sans conséquence sur la façon d'envisager le traitement terminologique.

– Toutes les formes de réalisations linguistiques doivent être considérées, et pas seulement les formes nominales comme c'est souvent le cas dans les BDT existantes : ainsi, dans la terminologie de MMS, on trouve non seulement des noms, en grand nombre il est vrai ("banc d'intégration satellite"), mais aussi des formes verbales ("surveiller passivement"), des formes adjectivales ("différé en temps immédiat"), des formes adverbiales ("au fil de l'eau").

– Il faut s'interroger sérieusement sur les rapports entre le lexique général et la terminologie. D'un point de vue théorique, la principale question qui se pose concerne sans doute la notion de concept, assez facile à appréhender dans un domaine de compétence particulier, mais qui devient plus abstraite quand cohabitent compétence particulière et compétence générale, concepts experts et concepts généraux, termes et mots généraux.

– Enfin, une autre question devient incontournable, celle de l'établissement de relations entre termes, plus précisément, entre concepts dénommés par des termes. Dans le meilleur des cas, en terminologie, seules sont considérées les relations paradigmatiques de type est-une-sortie-de ou est-une-partie-de. Or, ces relations s'avèrent insuffisantes pour le TALN. Pour prendre le cas de la résolution automatique d'anaphore, certains cas nécessitent qu'aient été enregistrées de nombreuses données pas toujours faciles à définir *a priori*. Ainsi dans l'exemple :

"Paul s'est promené au Parc Borelli, il a vu une fleur magnifique, le jardinier lui a dit que c'était une amaryllis".

Pour résoudre l'anaphore concernant le défini "le", le système doit savoir le lien qui existe entre "fleur", "jardinier" et, probablement, "parc". On est loin des relations de hiérarchie, paradigmatiques, on est dans le syntagmatique où les relations sont beaucoup plus difficiles à analyser, à prévoir. Cependant, on peut penser que, dans un domaine de connaissance particulier, il est plus facile de définir ces relations (c'est d'ailleurs une des raisons pour lesquelles les systèmes de TALN ne fonctionnent "bien" que pour des langues de spécialité).

1.2.2. Intelligence artificielle

Depuis quelque temps, des voix se sont élevées pour réclamer une plus grande prise en compte des études de terminologie par les chercheurs en IA ; plus rarement, des chercheurs en IA ont encouragé leurs collègues à regarder du côté des résultats sur la terminologie (Ahmad, 1993). Le plus souvent, une commune indifférence règne, ce qui est regrettable. Dans le processus de construction de Systèmes à Base de Connaissance, propre à l'IA, on peut

distinguer deux étapes : l'acquisition de connaissance et la représentation des connaissances. À ces deux étapes-clés, la prise en compte de travaux sur la terminologie pourrait avoir un intérêt.

1.2.2.1. Acquisition de connaissance

Dans sa version actuelle, l'acquisition de connaissance a renoncé à passer directement du modèle cognitif de l'expert au système de représentation interne de la machine (Aussenac et al., 1992). Ce qui est en jeu actuellement, c'est de constituer un modèle de connaissance organisé en **modèle des données**, statique, et **modèle de raisonnement**, dynamique. Si le modèle de raisonnement peut être considéré comme étant propre à l'expert, le modèle des données doit être indépendant de l'expert et donc faire l'objet d'un accord à peu près consensuel dans la communauté experte du domaine concerné.

Or, n'est-ce pas justement ce consensus que recherchent les études sur la terminologie ? Dans sa démarche de définition des concepts manifestés par les termes, ces études ne cherchent-elles pas précisément à trouver les délimitations acceptables par l'ensemble des experts du domaine ? Et au bout du compte, la base de données terminologiques (ou plutôt une version évoluée de ce concept, cf. partie 2) ne contient-elle pas les éléments conceptuels stables à partir desquels peuvent s'élaborer des raisonnements individuels, qui, exprimés par des termes reconnus du domaine, sont compréhensibles par tout membre de la communauté ?

Bien que cela paraisse assez nettement, dans beaucoup de cas, il reste à en convaincre les chercheurs en IA.

1.2.2.2. Représentation des connaissances

Une bonne partie des systèmes de représentation de connaissances se situent dans la lignée initialisée par Quillian avec ses réseaux sémantiques¹.

"[Les réseaux sémantiques] sont formés sur la notion simple de graphe, formé de nœuds – représentant les concepts – reliés par des arcs. Cette unité de base qu'est le concept n'acquiert tout son sens que par les relations qui le lient aux autres concepts. Les arcs du graphe représentent alors des relations (généralement binaires) entre ces concepts. Les nœuds, comme les arcs sont étiquetés." (Sabah, 1988)

Dans la grande majorité des cas, parce que la connaissance représentée est spécifique d'un domaine, les étiquettes de ces nœuds correspondent à des termes et les relations retenues pourraient être considérées (du moins pour une part d'entre elles) dans la construction d'une base de données terminologiques.

Par ailleurs, il est regrettable que soit occulté, dans de tels systèmes de représentation, le fait que les termes utilisés pour étiqueter les nœuds et les

1. Rappelons que Quillian était un psycholinguiste qui voulait construire un modèle de mémoire sémantique.

relations sont aussi des signes linguistiques et ce, au moins pour deux raisons :

- au moment de la validation de ces réseaux, il faut que l'expert puisse retrouver la terminologie qu'il connaît pour se concentrer sur la seule évaluation du raisonnement,

- dans beaucoup de cas (sinon tous les cas), ces réseaux constituent les bases de connaissance qu'il faudrait associer à des systèmes de TALN tels que ceux dont nous parlions ci-dessus. Il est donc nécessaire que les deux types d'information, linguistiques (grammaticales) et cognitives (relations avec les autres concepts), puissent être attachées à chaque terme et que les termes soient intégrés à la base lexicale du système.

La rencontre entre terminologie et intelligence artificielle est possible car, nous espérons l'avoir montré, elle est bénéfique aux deux sciences, à condition que chacune accepte l'interdisciplinarité qui, bien souvent, avant d'être profitable est déstabilisante. L'intelligence artificielle peut trouver, dans la linguistique et la terminologie, des méthodes d'acquisition et de représentation de la connaissance. La terminologie peut trouver, dans l'intelligence artificielle, des modèles, voire des outils qui peuvent l'aider dans la constitution des bases de données terminologiques, essentiellement sans doute, pour construire des réseaux notionnels. Pour manifester cette convergence, le concept de Base de Connaissance Terminologique nous semble parfaitement approprié¹.

2. UN NOUVEAU CONCEPT : LA BASE DE CONNAISSANCE TERMINOLOGIQUE

Pour répondre aux nouveaux besoins concernant la terminologie, il est indispensable de créer de nouveaux modèles de stockage des données qui rendent compte à la fois du fonctionnement linguistique des termes et de leur lien fort avec les concepts du domaine². Ingrid Meyer, la première, (Meyer et al., 1992) a proposé le concept de Base de Connaissance Terminologique (BCT).

Nous concevons une Base de Connaissance Terminologique comme une amélioration d'une Base de Données Terminologiques classique enrichie par des relations conceptuelles. Ces relations concernent soit la partie descriptive du domaine (et l'on retrouve ici les relations bien connues est-un-type-de et a-pour-partie), soit la partie raisonnement, à condition qu'il emporte l'adhésion de l'ensemble des experts du domaine.

En effet, ce qui devrait être modélisé dans une BCT, c'est essentiellement ce qui est **consensuel** dans le domaine. Il est certain que puisque nous nous situons à la fois dans le domaine de la langue et celui de la connaissance, le consensus est très difficile à atteindre (un expert se distingue par l'origina-

1. L'auteur anime, avec Didier Bourigault, un groupe de réflexion sur le thème "Terminologie et Intelligence Artificielle" qui est financé par le Ministère de la Recherche.

2. Il est nécessaire aussi d'engager des études de fond sur le fonctionnement linguistique des termes et sur la façon dont ils établissent un lien avec la connaissance du domaine. Nous travaillons également sur ces problèmes mais nous ne les évoquerons pas ici.

lité de son raisonnement, non par un raisonnement partagé). Cependant, il semble raisonnable de penser que, dans tous les domaines, surtout s'il s'agit de domaines spécialisés, la possibilité d'une communication possible, *via* une langue spécialisée essentiellement caractérisée par des termes, est le signe du partage d'un minimum de connaissances communes. Plus précisément, le fait que la communication fonctionne, dans les domaines scientifiques, plutôt mieux que dans le domaine général, permet de faire l'hypothèse que les utilisateurs d'une langue de spécialité, à même niveau de compétence, peuvent s'entendre sur la définition des termes du domaine dans lequel ils évoluent.

C'est cette connaissance commune qui devrait être recueillie dans une Base de Connaissance Terminologique, cette BCT constituant un noyau de ressources qui pourrait être développé, adapté, enrichi en fonction des besoins.

2.1. Base de Connaissance Terminologique et Système à Base de Connaissance

Faisant l'hypothèse que la Base de Connaissance Terminologique constitue une ressource stable et fiable, il reste à montrer qu'en effet, la constitution d'un Système à Base de Connaissances (donc un système de stockage de données concernant le raisonnement d'un expert) est facilitée parce qu'il constitue une élaboration, un développement de la BCT. Si nous avons l'expérience de constitution de BCT (cf. 2.2), il faut préciser que leur utilisation pour la constitution de SBC n'a pas encore été testée.

Nous pouvons résumer ainsi les caractéristiques d'une Base de Connaissance Terminologique (BCT) et d'un Système à Base de Connaissance (SBC).

BCT	SBC
<ul style="list-style-type: none"> • Associée à un domaine • Rend compte de la connaissance consensuelle • Rend compte du fonctionnement linguistique et cognitif associé aux termes 	<ul style="list-style-type: none"> • Associée à un domaine, une application et un raisonnement • Rend compte de la connaissance statique et dynamique propre à un expert • Rend compte du fonctionnement cognitif

Sur la plupart des points, le SBC apparaît comme un enrichissement de la BCT, en particulier comme un affinement de la connaissance qui n'est plus générale mais spécifique à un expert. Cependant, la BCT présente l'avantage de permettre de conserver le lien avec la langue, ce qui est d'un grand intérêt (cf. partie 1). Il reste pourtant une question, fondamentale, à résoudre : les SBC sont des systèmes qui sont gérables par une machine, cela suppose que soient respectés un certain nombre de critères logiques (complétude, cohérence).

Or, il n'est pas certain que ces critères puissent être respectés au moment de la construction de la BCT. En particulier, la notion de complétude pose problème ; en effet, un domaine de connaissance n'est jamais isolable complètement de la connaissance générale ou d'autres connaissances spécifiques, elle prend ancrage dans la connaissance commune. En d'autres termes, comment peut-on envisager un réseau clos par lui-même ? Aux marges du domaine, il est très difficile de déterminer les concepts qui y appartiennent et ceux qui n'y appartiennent pas ; il est surtout impossible de ne pas relier ces concepts-limites à des concepts d'une autre connaissance ou de la connaissance générale.

2.2. Un exemple de BCT

Dans le cadre du laboratoire mixte ARAMIHS (Action Recherche et Application Matra/Irit en Interface Homme/Système), nous avons conçu un modèle de BCT que nous avons mis à l'épreuve des faits, d'abord à MATRA MARCONI SPACE puis, après qu'il eut été amélioré au sein de l'ERSS (Équipe de Recherche en Syntaxe et Sémantique), au CNES et à AÉROSPATIALE.

Les principales caractéristiques de ce modèle sont les suivantes.

- Une égale importance est accordée au fonctionnement linguistique (T) du terme (informations sur la nature, le genre, le type de complémentation...) et à son fonctionnement comme indice de concept (ou de concepts en cas d'homonymie) (C) (essentiellement, définition et relations avec les autres concepts).

- Les conditions d'usage (L T/C) constituent un champ à part entière ; elles s'intercalent dans le lien entre le terme comme mot d'une langue et comme indice de concept (en effet, c'est bien parce qu'on est dans telle ou telle entreprise, que l'on considère tel ou tel niveau d'expertise, que l'on peut justifier des divergences dans la dénomination). Cette organisation permet de rendre compte des cas courants où un même concept est dénommé par plusieurs termes dans une même entreprise, ce qui évite la normalisation trop brutale.

- On peut établir des relations entre les concepts ; ces relations, qui contiennent au moins est-une-sortre-de et a-pour-partie avec leur réciproque sont choisies en fonction du domaine.

Les relations entre termes sont calculées. Ainsi, deux termes seront totalement équivalents si :

- ils sont reliés au même concept ;
- ils ont la même nature grammaticale : en effet, nous considérons par exemple que, du point de vue conceptuel, un verbe et un nom, ou un adjectif et un nom... peuvent désigner le même concept, par exemple, "gel d'un test" et "geler un test" renvoient au même concept ; mais, si on parle d'équivalence linguistique, alors, l'appartenance à la même catégorie grammaticale est requise ;
- les valeurs respectives des attributs sont identiques ; si ces valeurs ne sont pas identiques, l'équivalence n'est pas totale.

Dans le schéma ci-dessous, T1 et T2 (qui renvoient au même concept) sont identiques si la catégorie grammaticale de T1 est la même que celle de T2 et si LT1/T2 et LT2/C1 sont identiques.

On peut, de la même façon, calculer l'équivalence interlinguistique en rajoutant une restriction sur la langue.

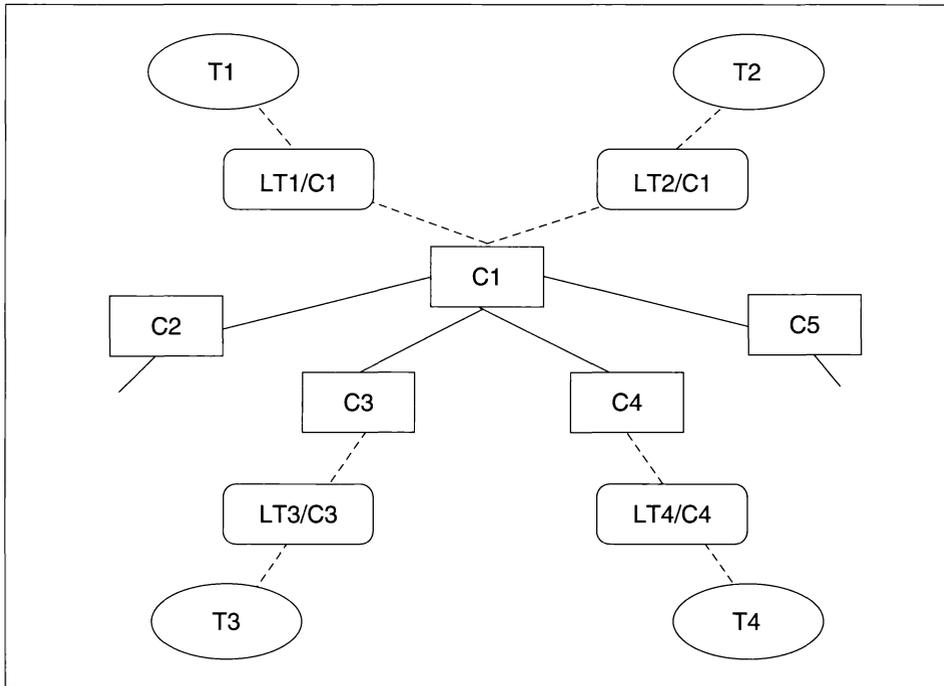


Figure 1 : Exemple de BCT

Les concepts C1, C2, C3, C4 et C5 sont reliés par des relations conceptuelles est-un, partie-de, éventuellement cause, conséquence... Chaque concept se manifeste par une réalisation linguistique (T) ou par plusieurs comme le concept C1. Les liens LT/C rendent compte des conditions d'usage.

La figure 2 propose un exemple de mise en œuvre du modèle.

Dans cet exemple, on a, pour le même concept étiqueté (arbitrairement) *capteur*, trois réalisations linguistiques : capteur, senseur et détecteur. Les conditions d'usage font intervenir l'utilisation effective dans l'entreprise et le statut dans une norme parue au *Journal Officiel* ; ces conditions d'usage n'étant pas identiques, les trois termes ne sont pas totalement équivalents bien qu'ils renvoient au même concept. Le concept *capteur* est intégré à un réseau de concepts dont une partie seulement est présentée ici : il est une partie du SCAO (Système de Contrôle d'Attitude et d'Orbite) et admet au moins deux concepts spécifiques : "capteur d'orientation" et "capteur de position".

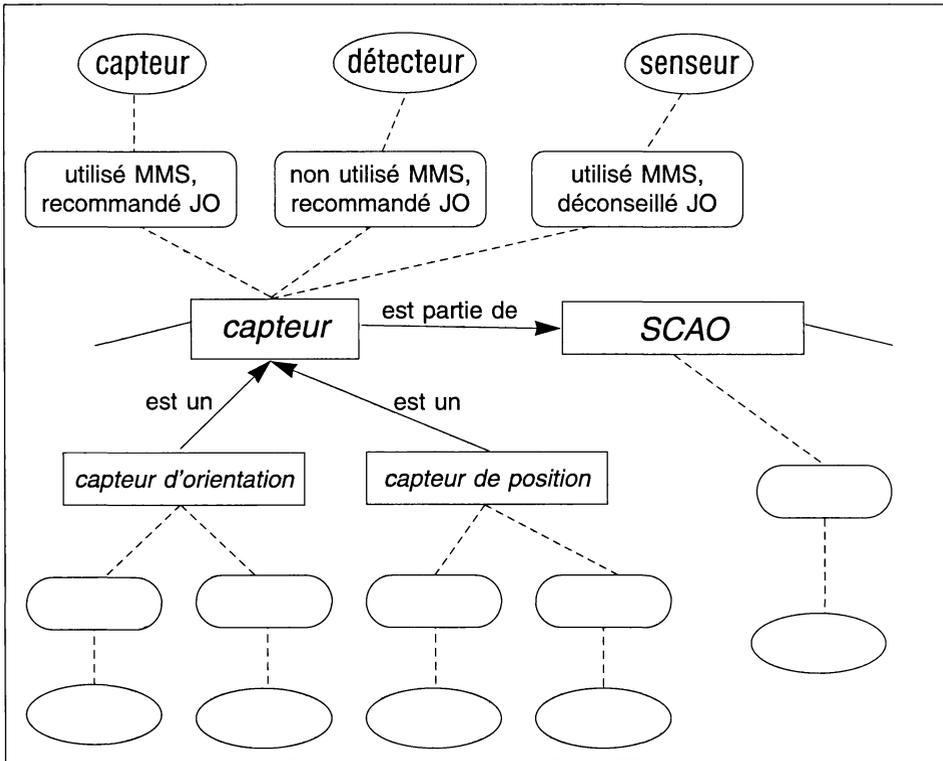


Figure 2 : Exemple de mise en œuvre de la BCT

2.2.1. Méthodologie de constitution de la BCT

La méthodologie de recueil et de traitement des termes que nous avons mise au point s'inspire à la fois des méthodes de sémantique des concordances et de celle de l'acquisition des connaissances de l'intelligence artificielle.

L'analyse linguistique se fait sur des gros volumes de données textuelles, à l'aide d'outils informatiques (extracteurs de termes candidats, outils d'analyse de contenu, concordanciers, gestionnaires de terminologie). Elle consiste à étudier le fonctionnement du terme et du ou des concepts auxquels il renvoie en analysant ses contextes d'apparition ; l'analyse se fait sur les deux plans, syntagmatique et paradigmatic (Condamines, 1992). De la même façon, une parenté de contextes aussi bien à droite qu'à gauche de deux termes différents amène à penser que ces deux termes renvoient en réalité au même concept. Enfin, l'étude des contextes permet d'établir une ébauche de réseau conceptuel.

L'entretien avec un (ou mieux, plusieurs experts) du domaine se fait sur la base des résultats de l'analyse linguistique. L'expert confirme ou invalide les

résultats et les complète, le cas échéant. La présence des textes permet une discussion objectivée, le linguiste n'étant là que pour rendre compte de ses conclusions ; l'expert peut ainsi, dans certains cas, être confronté à un fonctionnement (linguistique et conceptuel) qu'il ne connaissait pas, mais qui existe dans d'autres départements que le sien, ou auquel il ne pensait pas¹.

Dans la plupart des expériences de traitement des termes que nous avons, le linguiste est dans l'entreprise, sur les lieux même de production langagière, ce qui lui permet aussi de s'immerger dans la culture d'entreprise.

L'expérience de collaboration avec des entreprises, qui s'étale parfois sur plusieurs années, nous permet de rendre compte d'un très réel intérêt de leur part pour ce concept de Base de Connaissance Terminologique et pour sa mise en œuvre. Nous avons démontré qu'il est possible de construire de telles bases de connaissances. Il reste à prouver que l'originalité de cette approche est fructueuse, c'est-à-dire que ces BCT sont utilisées soit dans une consultation directe, soit par leur intégration dans des projets de plus grande envergure.

CONCLUSION

Notre expérience de collaboration avec des chercheurs en intelligence artificielle d'une part, avec des ingénieurs et des responsables de départements "Recherche et Développement" d'autre part, nous permet de rendre compte d'un réel besoin en entreprise et d'une réelle possibilité de rencontre entre les travaux sur la représentation des connaissances et les travaux sur la terminologie.

Cette rencontre n'en est qu'à ses débuts. Une réflexion approfondie reste nécessaire, elle devrait offrir un nouveau terrain d'investigation aux recherches sur les rapports entre langue et connaissances et sur les problèmes liés à la formalisation de la langue. Le besoin en entreprise devrait donner un coup de fouet à ces travaux en permettant aux chercheurs un accès facilité à la documentation technique et aux experts du domaine.

BIBLIOGRAPHIE

AHMAD K. (1993). Terminology and knowledge acquisition : A Text Based Approach. In K.-D. Schmitz (Ed.), *Proceedings TKE93 (Terminology and Knowledge Engineering)*. Frankfurt, Indeks Verlag, pp. 56-70.

AUSSENAC N., KRIVINE J.-P. & SALLENTIN J. (1992). Éditorial du numéro spécial sur l'acquisition de connaissance. *Revue d'Intelligence Artificielle*, vol. 6, n° 1-2, pp. 7-18.

1. La description de cette méthodologie est très succincte ; elle ne fait pas apparaître toutes les conditions préliminaires de sa mise en œuvre (choix du domaine, choix des relations conceptuelle, recueil des corpus...).

CONDAMINES A. (1992). Aide à l'acquisition de connaissance par la spécification de la terminologie d'un vocabulaire de spécialité. In *Actes des Journées d'Acquisition de Connaissance*. Dourdan, pp. 89-100.

CONDAMINES A. (1993). Un exemple d'utilisation de connaissances de sémantique lexicale : acquisition semi-automatique d'un vocabulaire de spécialité. *Cahiers de Lexicologie*, n° 62, pp. 25-65.

CONDAMINES A. & AMSILI P. (1993). Terminology between language and knowledge : an example of a terminological knowledge base. In K.-D. Schmitz (Ed.), *Proceedings TKE93 (Terminology and Knowledge Engineering)*. Frankfurt, Indeks Verlag, pp. 316-323.

CONDAMINES A. (à paraître). Terminology : New Needs, New perspectives. *Terminology*.

GAUDIN F. (1993). *Pour une Socioterminologie, des problèmes sémantiques aux pratiques institutionnelles*. Publications de l'Université de Rouen, n° 182.

KITTREDGE R. (1982). Variation and Homogeneity of Sublanguages. In R. Kittredge & J. Lehrberger (Eds), *Sublanguage. Studies of Language in Restricted Semantics Domains*. Berlin, New York, De Gruyter.

KOCOUREK R. (1982). *La langue française de la technique et de la science*. Wiesbaden, Brandestetter Verlag.

LERAT P. (1988). Terminologie et sémantique descriptive. *La Banque des mots*, numéro spécial, pp. 11-30.

LERAT P. (1989). Les fondements théoriques de la terminologie. *La Banque des mots*, numéro spécial, pp.51-62.

MEIJS W. & VOSSEN P. (1991). In so Many Words, Knowledge as a Lexical Phenomenon. In J. Pustejowsky & S. Bergler (Eds), *Lexical Semantics and Knowledge Representation, Proceedings Workshop 17 June 1991*. University of California, pp. 113-126.

MEYER I. (1991). Knowledge Management for Terminology-Intensive Applications : Needs and Tools. In J. Pustejowsky & S. Bergler (Eds), *Lexical Semantics and Knowledge Representation, Proceedings Workshop 17 June 1991*. University of California.

MEYER I., SKUCE D., BOWKER L. & ECK K. (1992). Towards a New Generation of Terminological Resources : an Experiment in Building a Terminological Knowledge Base. In *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Computational Linguistics (COLING)*. Nantes, pp. 956-960.

PORTELANCE C. (1991). Fondements linguistiques de la terminologie. *META, Journal des traducteurs*, vol. 36, n°1, pp. 64-70. Presses Universitaires de Montréal.

RASTIER F. (1987). *Sémantique et Intelligence Artificielle*. *Langages*, n° 87. Paris, Larousse.

RASTIER F. (1993). *Sémantique et recherches cognitives*. Paris, PUF.

REY A. (1979). *La terminologie, noms et notions*. Paris, PUF, Que sais-je ?

SABAH G. (1988). *L'Intelligence Artificielle et le Langage*. Paris, Hermès.

SAGER J.C. (1990). *A practical Course in Terminology processing*. Amsterdam/Philadelphie, John Benjamins Publishing Company.

SKUCE D. & MEYER I. (1991). Terminology and Knowledge Engineering : Exploring a Symbiotic Relationship. In *6th International Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems*. Banff, Canada, pp. 21-29.

SLODZIAN M. (1995). La doctrine terminologique, nouvelle théorie du signe au carrefour de l'universalisme et du logicisme. In *Actes de Langue française et de Linguistique (ALFA)*. Universitas Dalhousiana, Halifax, Nova scotia, Canada, Vol. 7/8, pp. 121-136.



Choix sous-jacents à la construction de représentations spatiales de concepts

Andrée TIBERGHEN

CNRS-IRPEACS, Équipe COAST
École Normale Supérieure de Lyon
46, allée d'Italie
69364 Lyon cedex 07, France.

Résumé

Dans ce texte, nous considérons les représentations de type carte ou trame conceptuelle qui sont utilisées pour communiquer entre chercheurs, entre enseignants et élèves ou encore entre décideurs et enseignants. Ces représentations spatiales peuvent soit correspondre à un ensemble de connaissances déjà connu et écrit, comme la physique enseignée, soit être l'explicitation des connaissances d'individus, d'élèves par exemple. Dans tous les cas, il s'agit d'un découpage des connaissances fait nécessairement à partir de choix, implicites ou explicites, qui vont affecter le sens porté par ces cartes. Nous analysons le cas des connaissances à enseigner et celui des connaissances des élèves en explicitant certains de ces choix, en particulier celui du savoir de référence sous-jacent lors du découpage.

Mots clés : cartes conceptuelles, savoir, didactique des sciences, fonctionnement des connaissances.

Abstract

In this paper, we deal with the concept map representations which are used in communicating between researchers, teachers and students, or deciders and teachers. These spatial representations can correspond to a set

of knowledge which is already known and written, such as physics to be taught, or being an explicitation of individuals' knowledge, such as that of students. In every case, cutting out a set of knowledge necessarily implies making choices, which are implicit or explicit and which will affect the meaning of these maps. In our analysis of two cases, the knowledge to be taught and students' knowledge, we present the possible implicit choices, and in particular the knowledge used as reference when cutting out.

Key words : *concept maps, knowledge, didactics of sciences, knowledge processing.*

Resumen

En este texto, nosotros consideramos que las representaciones del tipo mapa de concepto son utilizadas para comunicar entre investigadores, entre enseñantes y alumnos o entre las personas que tienen el poder de decisión y enseñantes. Estas representaciones espaciales pueden corresponder a un conjunto de conocimientos ya conocido y escrito, como la física enseñada, o ser la explicación de los conocimientos de individuos, de alumnos por ejemplo. En cada caso se trata de un desglose de conocimientos hecho necesariamente a partir de una selección, implícita o explícita, que van afectar el sentido dados por estos mapas. Analizamos el caso de los conocimientos a enseñar y aquel de los conocimientos de los alumnos explicando ciertas selecciones, en particular aquella del saber de referencia subyacente en el momento del desglose.

Palabras claves : *mapas conceptuales, saber, didáctica de las ciencias, funcionamiento del conocimiento.*

Dans toutes les représentations du type carte conceptuelle, on effectue un étiquetage de concepts ou notions, avec en général une hiérarchisation et des mises en relation. Puis une spatialisation de ces étiquettes et de leurs liens est réalisée (Jacobi et al., dans ce numéro). Il y a donc découpage d'un ensemble de connaissances qui dépend de choix liés aux buts visés.

Ces cartes conceptuelles sont principalement utilisées pour communiquer :

- entre chercheurs,
- entre enseignants et élèves,
- entre concepteurs (et/ou décideurs) de programmes ou curriculums, et enseignants.

Dans la plupart de ces utilisations, elles assurent une fonction d'organisation des connaissances relatives à des concepts. Le choix des termes pour les étiquettes implique l'élimination d'autres termes ; la place des différentes étiquettes explicite souvent une hiérarchie. Ces choix, quelquefois implicites

car certains termes semblent évidents pour les familiers d'un enseignement ou d'une recherche, sont néanmoins sous-jacents et doivent donc être considérés comme importants.

En ce qui concerne le type de connaissances, au moins deux cas se présentent :

- l'ensemble de connaissances auquel correspondent les représentations spatiales est déjà connu et écrit ; c'est le cas des connaissances à enseigner qui se réfèrent à des corpus disponibles ;

- l'ensemble de connaissances est celui d'individus, en particulier d'élèves ; il n'est bien sûr pas explicité par écrit, et ces représentations sont un moyen d'y parvenir.

Nous aborderons ces deux cas en posant la même hypothèse : le sens des connaissances dépend de leur découpage.

1. L'IMPLICITE DANS LES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES ENSEIGNÉES

Dans ce paragraphe, nous insisterons sur les choix sous-jacents aux découpages d'un ensemble de connaissances, dans le cas de l'enseignement par objectifs, et dans celui des traités de base de physique.

1.1. Behaviorisme, pédagogie par objectifs et programmes

Rappelons les liens entre les cartes conceptuelles, le début de la pédagogie par objectifs, en particulier aux États-Unis, et le behaviorisme.

La formalisation du *Concept Mapping* par Novak, en 1972, s'inscrit dans le mouvement du behaviorisme qui a donné naissance à la pédagogie par objectifs. La grande idée de cette pédagogie porte sur le découpage de la connaissance en autant d'unités enseignables, le critère de choix étant, avant tout, la possibilité d'acquisition liée à celle d'évaluation (Johsua & Dupin, 1993 ; Weil-Barais, 1993). L'hypothèse d'apprentissage est ici que, si l'on découpe suffisamment les connaissances, il est toujours possible à un élève de les apprendre et au professeur d'en évaluer l'acquisition.

Comparons ce choix de découpage des connaissances enseignables avec ceux faits en France lors de la rédaction des programmes. Pour cela, il est intéressant d'analyser la structure des textes de base sur lesquels sont souvent fondés les programmes.

1.2. Textes de base en physique

Ces textes sont les livres considérés comme "base" au niveau de l'université. Les ouvrages de Feynman en sont un exemple mondialement connu (Feynman et al., 1969). Je reprends ici l'analyse faite par un épistémologue des

sciences relative aux textes de base en physique (Giere, 1988). Prenons l'exemple de la mécanique et plus précisément de la deuxième loi de Newton ($F = ma$). Ces livres proposent une série de chapitres fondés sur les différentes formes de dépendance fonctionnelle de la force. D'un texte à l'autre le groupement et l'ordre des chapitres varient. *“Néanmoins, ce sont les différentes dépendances fonctionnelles de la force qui fournissent un principe organisateur dans la grande majorité des livres de mécanique classique. Une progression typique est de traiter d'abord le mouvement à une dimension, et dans cette catégorie de progresser des forces uniformes aux forces comme fonction de la position seule, aux forces qui sont à la fois fonction de la position et de la vitesse, et finalement aux forces qui sont une fonction de la position, de la vitesse et du temps.*

Chacune de ces fonctions est illustrée par un ou plusieurs exemples, certains sont déjà dans les Principia : la chute d'un corps dans un champ uniforme de gravitation, une masse soumise à une force linéaire, une masse sur un ressort dans un milieu visqueux (oscillateur harmonique amorti), etc. Par exemple dans le cas des oscillations linéaires : les exemples avec un ressort et le pendule simple sont très fréquemment utilisés.” (Giere, 1988, p. 66)

Ceci n'est qu'en apparence une digression par rapport aux cartes conceptuelles. Elle a pour but de montrer qu'une **“étiquette”**, telle que *oscillateurs linéaires*, est associée, pour la communauté scientifique, à une définition, des équations, ainsi qu'à un ensemble de modèles de situations “idéales” et de situations réelles correspondantes. Si cette connaissance, attachée aux étiquettes, est partagée par les individus qui communiquent à l'aide de ces représentations, alors il y a partage implicite d'un ensemble de connaissances. Les “textes de base” sont des connaissances partagées par l'ensemble de la communauté des physiciens. Aussi, quel que soit le choix des termes pour les étiquettes, titres des grandes parties des livres ou des chapitres, ou concepts clés (masse, vitesse, force) ou encore exemples typiques (pendule simple), la communication pourra s'établir grâce à l'implicite, dans la mesure où la communauté attache un même ensemble de connaissances à ces termes. On retrouve la notion de paradigme développé par Kuhn, partagé par la communauté et non entièrement explicite dans le cas de la science “normale” (Kuhn, 1972).

Notons, à la suite de Giere, que ce découpage n'est pas le seul concevable, même s'il est choisi dans la majorité des textes de base. Par exemple, il aurait été possible de considérer les lois du mouvement comme des axiomes d'un système à partir duquel on déduit des théorèmes, mais ceci n'est pas dans la pratique de la communauté scientifique.

1.3. Comparaison de choix sous-jacents

Nous nous plaçons maintenant dans le cas où des représentations spatiales d'un ensemble de connaissances sont un instrument de communication entre des communautés **ne partageant pas le même savoir relatif à ces représentations**. L'implicite des étiquettes et de leurs liens, important comme nous l'avons vu dans le cas des textes de base, n'est plus nécessai-

rement partagé. Nous considérons alors que ce découpage de la connaissance n'a pas la même signification pour les différentes communautés. C'est le cas de toutes les cartes utilisées, soit entre décideurs et enseignants, soit entre enseignants (ou plus généralement formateurs) et élèves. La question de la taille des éléments de base, dans le découpage d'un ensemble de connaissances (ou encore son niveau de *granularité* comme en parlent les spécialistes de l'intelligence artificielle), et celle de leur hiérarchisation deviennent alors très importantes.

Aux débuts de la pédagogie par objectifs, il semble, de manière un peu caricaturale, qu'il n'y ait pas eu de question soulevée concernant la possibilité d'une modification du sens de la connaissance selon son découpage. La taille des éléments est seulement conditionnée par la possibilité de les faire apprendre et de les évaluer, la pertinence de l'apprentissage de ces éléments pour l'acquisition des connaissances d'une discipline étant supposée *a priori*. La question du sens n'est pas posée par les concepteurs, et donc, pour eux, l'acquisition du sens est indépendante du découpage.

Comme nous l'avons déjà écrit dans l'introduction, notre hypothèse est opposée.

Dans le cas des programmes, en particulier au niveau des lycées, les découpages de la connaissance en titres de chapitres correspondent souvent aux grandes parties des traités de physique, associées à des modèles et à leur champ d'application. Les débats se situent souvent autour de ce que les décideurs considèrent comme plus ou moins essentiel dans leur discipline. Les débats anciens et récents sur le contenu de l'enseignement de l'énergie autour de la place du principe de conservation fournissent de bons exemples de la nature des choix sous-jacents¹. Depuis 1957 jusqu'à maintenant, l'enseignement de l'énergie au lycée commence et porte essentiellement sur des cas spécifiques dans le domaine de la mécanique ; l'énergie cinétique et l'énergie potentielle sont présentées avant le principe de conservation, qui est pourtant celui qui donne le sens de ce concept. Dans les nouveaux programmes, le choix est différent, le principe de conservation est présenté en premier. Cet exemple montre que les principes fondamentaux ne sont pas nécessairement présentés comme structurant l'ensemble. Dans ces choix différents de hiérarchisation des connaissances, ce sont les relations entre grandeurs physiques constituant les modèles "idéaux" (chute libre, oscillateur...) qui sont habituellement favorisées aux dépens des principes, ce qui rejoint d'ailleurs, comme nous l'avons vu, les choix de structuration des textes de base.

Ainsi, ce découpage des connaissances, qu'il soit spatial comme dans les représentations de type carte ou trame conceptuelle, ou temporel comme c'est le cas dans les programmes et dans l'enseignement (séquentialisation), relève de choix d'ordre épistémologique. À notre avis, certains des choix de structuration supposent implicitement un certain partage des mêmes para-

1. Mentionnons seulement, car ce n'est pas l'objet de ce texte, qu'il ne faut pas considérer que ces choix vont conditionner tout le contenu de l'enseignement. L'élaboration des contenus d'enseignement (livres avec exercices, modes d'évaluation) et leur mise en œuvre par les enseignants vont jouer également un rôle considérable (Chevallard, 1991).

digmes entre professeur et élèves. Le fonctionnement est supposé être celui de la science “normale”, proposé par Kuhn, dans lequel les modèles sont plus explicites que les paradigmes.

De manière plus générale, ces représentations spatiales supposent nécessairement des connaissances partagées ; il serait important que celles-ci soient prises en compte pour s’assurer qu’elles sont effectivement connues des individus et/ou communautés impliquées dans leur utilisation. Le sens des connaissances en jeu, construit à partir de ces représentations, dépend fortement du découpage choisi si ces paradigmes ne sont pas partagés. On rejoint le problème de la relation entre l’acquisition des connaissances d’une part, le contenu et la forme de l’enseignement d’autre part.

2. LES CHOIX ÉPISTÉMOLOGIQUES RELATIFS AU FONCTIONNEMENT DES CONNAISSANCES DES ÉLÈVES

Dans ce paragraphe, la question abordée porte sur les choix faits par les chercheurs dans leurs analyses du fonctionnement des connaissances des élèves, en particulier sur les références utilisées pour le découpage de ces connaissances. Dans de nombreux cas, ce sont les concepts de physique : force, accélération, intensité, courant...

Je prendrai l’exemple d’une recherche que j’ai menée à propos de situations matérielles qui, pour le physicien, sont habituellement interprétées en terme de chaleur et de température. Cet exemple est relatif au mode d’utilisation des cartes visant à représenter les connaissances d’un élève ou d’un groupe. Il illustre combien le découpage des connaissances doit être traité avec soin et suppose des hypothèses organisatrices.

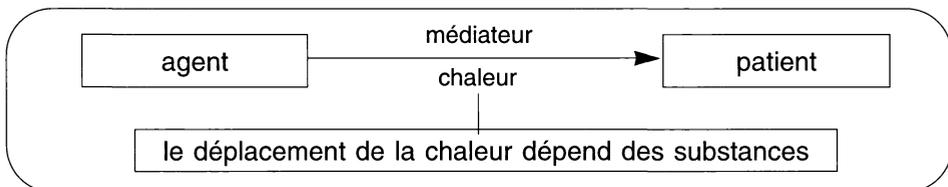
Nous avons fait l’hypothèse que la plupart des interprétations construites par les élèves, et plus généralement par les individus, dépendent de “théories”, même si elles sont implicites. Ces “théories” consistent en des principes, c’est-à-dire des “unités” de connaissance qui sont considérées comme évidentes par l’individu et qui, donc, ne sont pas à remettre en question (on reprend ici la notion de “théorie naïve” de Carey, 1985). Ces “théories” ont un champ expérimental de validité qui peut être très différent de celui du scientifique, même si les principes ne le sont pas, au moins à un certain niveau. Nous considérons donc que le fonctionnement des connaissances, aussi bien chez les élèves qu’en physique, met en jeu des “principes”, des modèles et un champ de validité. Ceci ne suppose pas que les principes ou les modèles soient semblables ; **ils sont souvent de nature différente** pour l’élève et pour le physicien, de même que la cohérence entre principes, modèles et champ expérimental. Notre insistance sur ce niveau “théorique” vient du fait que, dans l’enseignement au niveau des collèges et lycées (le cas de l’université est différent), les principes de base, ou plus généralement les paradigmes, de la physique enseignée sont différents de ceux sous-jacents aux connaissances des élèves sur les situations matérielles étudiées. C’est ce que nous illustrons succinctement ci-dessous (Tiberghien, 1994).

Une investigation approfondie avec des élèves de 11-14 ans a montré que le découpage, à partir des notions d'isolant et de conducteur de la chaleur, n'est pas suffisant pour rendre compte des "théories naïves" et de leur champ d'application (Tiberghien, 1989). Nous avons étudié les interprétations des élèves au sujet d'un ensemble de situations matérielles mettant en jeu chauffage et isolation (nous prenons ici volontairement les termes techniques). Dans le questionnaire destiné aux élèves, n'étaient utilisés ni les notions physiques, ni même les mots de chaleur, température, conducteur, isolant. Nous avons regroupé les situations à partir de la similitude des interprétations, et nous avons obtenu trois catégories.

Dans le cas des situations où il y a une source de chauffage reconnue comme telle par les élèves, la source n'étant pas en contact direct avec l'objet à chauffer, les élèves utilisent, au moins implicitement, ce que l'on pourrait appeler l'équivalent d'un principe (figure 1a, dans le rectangle à bord arrondi) : la source de chauffage (l'agent) chauffe en donnant de la chaleur qui se déplace jusqu'à l'objet à chauffer (le patient). Ce type d'explicitation comporte, souvent avant enseignement, et presque très majoritairement après enseignement, les termes d'*isolant* et de *conducteur*.

Notons que, lorsque source et objet à chauffer sont en contact, certains élèves ne font pas appel à un médiateur, ils utilisent simplement une action directe.

"Théorie Élève"



"Modèle Élève"

La chaleur se déplace dans le métal.
 La chaleur ne se déplace pas dans le bois ou le plastique.
 Après enseignement, les mots "conducteur" et "isolant" sont ajoutés et attachés respectivement à "se déplace" et "ne se déplace pas".

"Champ expérimental Élève"

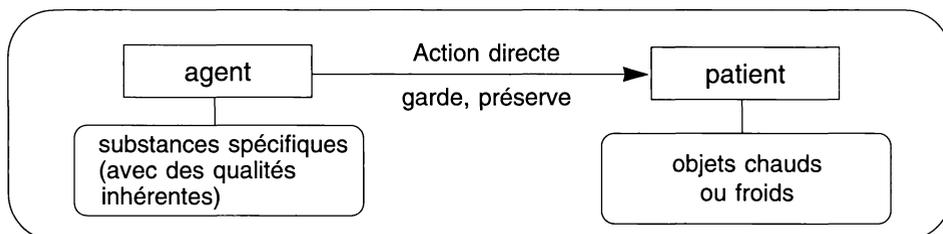
Situations de chauffage dans lesquelles la source de chauffage et l'objet à chauffer sont à distance.

Figure 1a : Reconstruction des interprétations d'élèves en terme de théories "naïves", modèle et champ expérimental dans les cas du chauffage à distance.

Dans le cas d'un autre champ expérimental, avec des situations d'isolation au sens commun ou technique du terme, par exemple des glaçons ou de l'eau chaude dans un récipient, ou de la laine ou du coton entourant un récipient, les interprétations des élèves sont différentes. Nous avons modélisé les interprétations des élèves, toujours avec un principe, mais bien différent. L'agent est non plus la source de chauffage (objet chaud) mais la substance avec laquelle le contenant est faite.

Pour ce champ expérimental, l'interprétation des élèves n'est pas la même ; les significations des termes *isolant* et *conducteur* sont différentes de celles mises en œuvre à propos de situations de chauffage (figure 1b). Ainsi le fer peut devenir un isolant seulement pour le froid "parce qu'il est froid lui-même", ou isolant pour le chaud et le froid "parce qu'il est solide". Si bien que pour certains élèves, un même matériau peut être un bon conducteur dans une situation de chauffage et un mauvais conducteur dans une situation d'isolation.

"Théorie Élève"



"Modèle Élève"

Le coton	garde bien	des objets chauds
L'aluminium	garde bien	des objets froids

"Champ expérimental Élève"

Situations d'isolation.

Figure 1b : Reconstruction des interprétations d'élèves en terme de théories "naïves", modèle et champ expérimental dans les cas d'isolation

Cet exemple montre l'importance de gérer deux contraintes. La première est d'explicitier au maximum le domaine d'application des concepts et leurs relations afin de ne pas identifier, pour deux groupes différents d'individus, le domaine d'application des "théories", même si celles-ci, utilisant les mêmes termes, peuvent sembler avoir la même signification. Dans le cas présenté, si on se contente d'étudier la notion de conducteur et d'isolant pour un seul type de situation (le chauffage), alors on prend le risque de supposer que ces notions vont s'étendre spontanément à un autre ensemble (situation d'isolation).

La seconde contrainte est de chercher les structures de connaissances sous-jacentes aux interprétations qui permettent de mieux comprendre les différences d'interprétation des élèves.

On rejoint à nouveau la complexité du concept. Notre choix épistémologique suppose qu'un concept n'est pas construit empiriquement par l'abstraction de traits communs d'un ensemble d'objets ou de situations, il est un quadruplet (cf. article de G. Vergnaud dans ce numéro) associant une étiquette (signifiant), un signifié, un référent et les invariants opératoires associés. Les rapports entre concepts et monde réel sont extrêmement complexes et il serait illusoire de supposer qu'une même complexité est partagée par un ensemble d'individus de culture et de niveau différents.

En conclusion, les représentations spatiales des concepts, qu'elles correspondent à un ensemble de connaissances déjà connu et écrit, comme la physique enseignée, ou à un ensemble de connaissances d'individus, des élèves par exemple, véhiculent des choix. Ainsi, dans le cas des connaissances scientifiques enseignées, si, par exemple, une étiquette désigne un concept, les scientifiques lui associent un même ensemble de principes, de modèles, d'expériences types. Il y a pour eux partage implicite des connaissances sous-jacentes. Ce n'est plus le cas si cette représentation s'adresse à l'élève : l'essentiel du sens de cette représentation ne lui est pas accessible. L'implicite véhiculé doit alors être explicité.

Dans le cas des individus, les termes et la structure de la représentation de leurs connaissances (ou de leur fonctionnement), supposent d'avoir choisi un niveau, les deux choix les plus fréquents étant les interprétations types ou les "principes" sous-jacents à ces interprétations. Ainsi, ces représentations impliquent des choix sur la nature et le fonctionnement des connaissances. De ce fait, si ces représentations sont utilisées pour communiquer entre des individus ou des groupes qui ne partagent pas les mêmes connaissances, alors l'implicite sous-jacent aux choix devient important ; à notre avis il ne peut pas être éliminé complètement, il faut alors faire des hypothèses sur les connaissances partagées.

BIBLIOGRAPHIE

CAREY S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA, MIT Press (Bradford Books).

CHEVALLARD Y. (1991). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, La Pensée Sauvage.

FEYNMAN R.P., LEIGHTON R.B. & SANDS M. (1969). *Le cours de physique de Feynman*. London, Addison Wesley.

GIERE R.N. (1988). *Explaining science, a cognitive approach*. Chicago, University of Chicago.

JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.

KUHN T.S. (1972). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris, Flammarion.

TIBERGHIE A. (1989). Learning and teaching at middle school level of concepts and phenomena in physics. The case of temperature. In H. Mandl, E. de Corte, N. Bennett & H.F. Friedrich (Eds), *Learning and instruction. European research in an international context*, vol. 2.1. Oxford, Pergamon Press, pp. 631-648.

TIBERGHIE A. (1994). Modelling as a basis for analysing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, vol. 4, n° 1, pp. 71-87.

WEIL-BARAIS A. (1993). *L'homme cognitif*. Paris, PUF.



Représentations graphiques et intelligence artificielle

Christophe FOUQUERÉ

LIPN (Laboratoire d'Informatique de Paris Nord)
Université Paris-Nord
Avenue J.-B. Clément
93430 Villetaneuse, France.

Résumé

Nous discuterons, dans cet article, des représentations graphiques en intelligence artificielle. Comme pour d'autres domaines, les représentations graphiques permettent l'expression, informelle, des données, structures de programmes ou de systèmes. Nous développerons toutefois plus avant ce qui est sans doute spécifique de l'intelligence artificielle, à savoir le fait que certains types de représentations graphiques sont "théorisés" afin de pouvoir effectuer interprétations et calculs. Réseaux sémantiques et graphes conceptuels serviront de support à notre propos. Nous indiquerons enfin l'état actuel des formalisations et les difficultés faisant l'objet de recherches actuelles.

Mots clés : *représentation graphique, intelligence artificielle, graphe conceptuel, réseau sémantique.*

Abstract

We discuss the way graphical representations are used in artificial intelligence. As in other domains, graphical representations are used to informally express the structure of information in programs or systems. We mainly develop here what is perhaps specific to artificial intelligence : some of these

types of graphical representations are currently formalized in order to be able to interpret and compute. Semantic networks and conceptual graphs will exemplify our subject. Finally, we describe the current state of research in this area, and particularly what problems remain.

Key words : *graphical representation, artificial intelligence, conceptual graph, semantic network.*

Resumen

Discutiremos en este artículo, las representaciones gráficas en inteligencia artificial. Como para otros dominios, las representaciones permiten la expresión informal de datos, estructuras de programas o de sistemas. Desarrollaremos sin embargo previamente lo que es sin duda específico de la inteligencia artificial, a saber el hecho de que ciertos tipos de representaciones gráficas son teorizadas a fin de poder efectuar interpretaciones y cálculos. Redes semánticas y grafos conceptuales servirán de soporte a nuestro propósito. Indicaremos por último el estado actual de las formalizaciones y las dificultades que están siendo objeto de investigaciones actuales.

Palabras claves : *representación gráfica, inteligencia artificial, grafo conceptual, red semántica.*

1. INTRODUCTION

La représentation des connaissances, en particulier des connaissances graphiques, est un problème central en intelligence artificielle. Parmi les questions essentielles auxquelles les chercheurs se trouvent confrontés, signalons le choix du formalisme de représentation, les méthodes et moyens d'accès aux connaissances, la modification et la mise à jour de ces connaissances. Ces chercheurs se font fort de pouvoir représenter des connaissances d'experts ou des connaissances de sens commun, voire des deux, afin de développer des systèmes dits "intelligents". Les graphiques sont alors utilisés non seulement comme outil explicatif, à l'instar de ce qui se fait dans d'autres disciplines scientifiques et techniques, mais encore comme **modèle** des théories proposées. Pour que la correspondance graphisme/système soit parfaite, une formalisation précise de la représentation graphique adoptée est nécessaire. Après avoir rappelé les cadres dans lesquels le problème de la représentation des connaissances se pose, nous indiquerons les capacités actuelles des systèmes d'intelligence artificielle, et en particulier les limitations (drastiques sur certains aspects) de ces systèmes à travers deux familles significatives de représentations graphiques utilisées en intelligence artificielle, les *réseaux sémantiques* et les *graphes conceptuels*.

La représentation des connaissances de sens commun est indispensable dans de nombreux domaines relevant de l'intelligence artificielle. C'est le cas en particulier en compréhension de textes, dans les systèmes de dialogue, et dans les systèmes de robotique... Les systèmes intégrant des connais-

sances d'experts sont généralement conçus dans un but d'aide, de simulation, de diagnostic ou plus simplement de traitement sur des domaines restreints (médecine, gestion, processus industriels, etc.). Les graphiques constituent une part appréciable, parce qu'explicative, des données servant à la description de tels domaines : il suffit d'ouvrir un livre technique ou scientifique pour s'en convaincre, les graphiques permettent dans une certaine mesure à l'expert d'extraire la structure essentielle d'un jargon technique. La boucle se referme lorsque l'on sait que le graphique est aussi un outil commode pour représenter la structure de programmes ou l'architecture de projets relevant de l'intelligence artificielle, et plus généralement de l'Informatique. Ceux-ci peuvent en effet être d'une taille telle qu'une description uniquement formelle, littérale ou algorithmique en rend la maintenance ou la réutilisabilité rédhitoires.

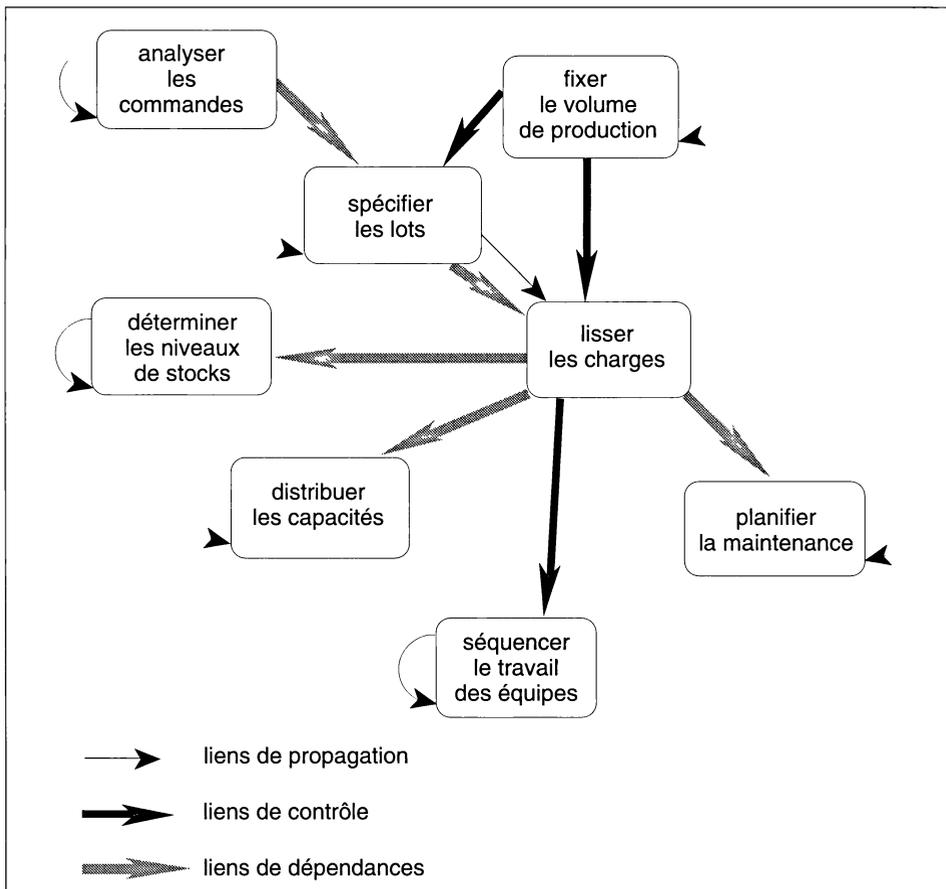


Figure 1 : Description partielle d'un réseau de supervision d'après AYEL (1988). A Conceptual Supervision Model in Computer Integrated Manufacturing. In Y. Kodratoff (Ed.), *European Conference on Artificial Intelligence*. London, Pitman Publishing, pp. 427-432.

La figure 1 est ainsi une représentation graphique de l'architecture du contrôleur d'un système informatique. Il est notable de constater que le graphique est censé se suffire à lui-même : les différents types de traits et de boîtes ne sont pas définis dans le texte attendant, ce procédé est constaté de manière similaire dans d'autres domaines (cf. autres articles de ce numéro). Nous nous restreindrons ici à ce qui est caractéristique de l'intelligence artificielle.

Dans la suite de cet article, nous focaliserons notre attention sur les représentations graphiques servant de modèles aux systèmes d'intelligence artificielle. Nous rappellerons les objectifs de telles représentations et les problèmes posés par la contrainte d'un traitement algorithmique. "*L'intelligence artificielle cherche à comprendre les mécanismes de compréhension*" (Farreny & Ghallab, 1987). Cet objectif ambitieux impose une double contrainte. D'une part, le champ d'investigation de l'intelligence artificielle englobe des domaines où la formalisation reste fragmentaire. Ainsi, et malgré des travaux fort nombreux, la linguistique résiste encore à une formalisation suffisante. Or ces connaissances ne peuvent être utilisables que dans la mesure où est définie une notation ayant une sémantique claire. Il est en effet essentiel que les modèles soient suffisamment précis pour admettre une mathématisation complète. Comme nous l'avons noté précédemment, les légendes des descriptions graphiques sont elles aussi trop souvent fragiles : ce qui d'un côté indique sans conteste une puissance explicative devient incompatible avec la notion de description formelle. D'autre part, la formalisation proposée doit permettre un **calcul effectif standard**. Le problème et les propriétés des données et mécanismes d'inférence sont censés être représentables sur machine. Or les problèmes même intuitivement très simples soit apparaissent trop complexes à mettre en œuvre, soit admettent des représentations de nature non algorithmique (Schmidt-Schauß, 1989).

2. REMARQUES PRÉALABLES SUR LA REPRÉSENTATION DES CONNAISSANCES

Rappelons que l'ensemble des connaissances caractérisant un domaine (le *monde*) est défini par un ensemble d'*objets* (individus, concepts...) et un ensemble de *relations* sur ces objets. La valeur de ces relations permet de préciser l'*état* du monde. La spécification est complétée par la donnée d'un ensemble de *transformations* entre états. Deux schémas de représentation sont couramment utilisés.

– La représentation graphique est la caractérisation naturelle : celle-ci est définie par des nœuds et des traits entre nœuds. Toutefois le nombre et la nature des relations entre objets peuvent être trop importants pour que la représentation graphique soit **lisible**. Les nœuds représentent un ensemble d'objets (concepts, individus, situations, états...), les liens entre nœuds sont typés et définissent les relations (appelées quelquefois rôles ou attributs). Le type du lien peut être représenté graphiquement (utilisation de traits ou de flèches, en gras ou pointillé, etc.) ; là encore, si le nombre de types de liens

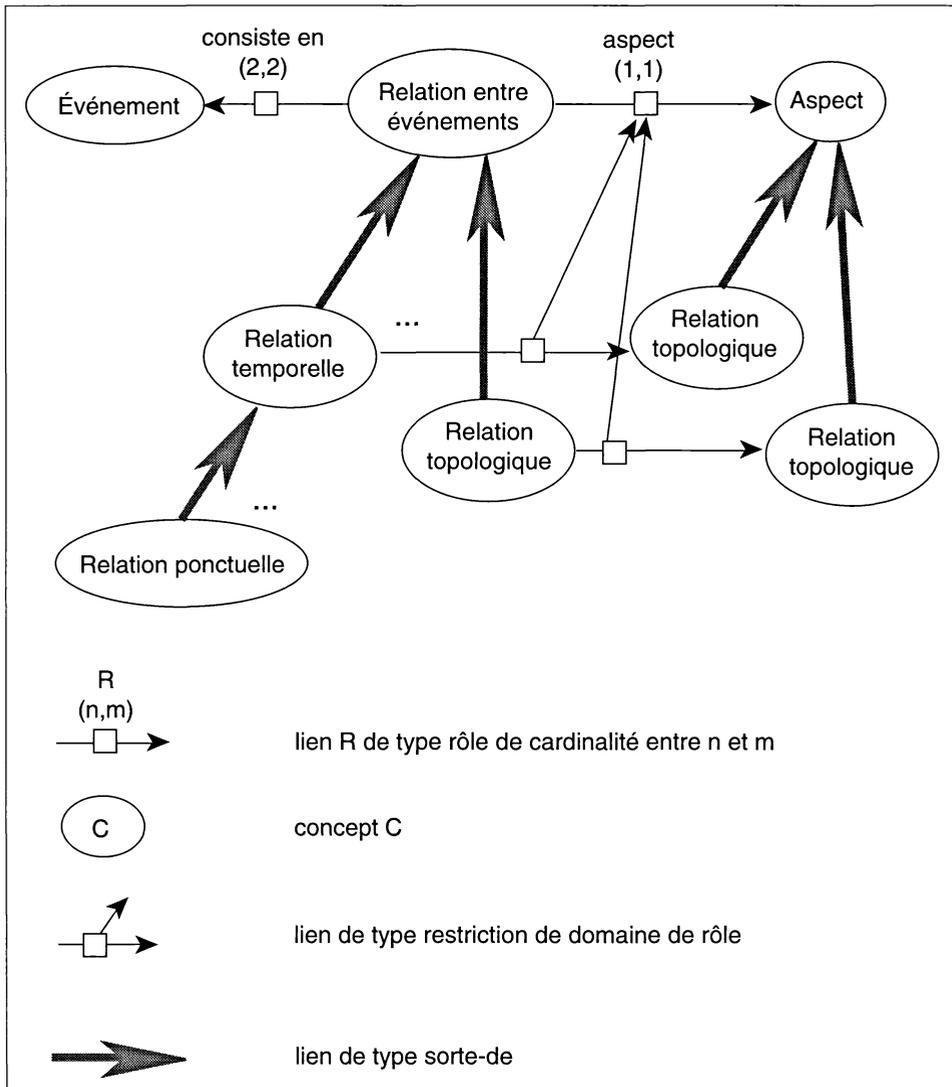


Figure 2 : Réseau sémantique partiel décrivant le concept de relation d'après KRICKHAHN et al. (1988). Applying the KADS Methodology to Develop a Knowledge Based System - Net Handler -. In Y. Kodratoff (Ed.), *European Conference on Artificial Intelligence*. London, Pitman Publishing, pp. 11-17.

est important, les types sont dénotés par des symboles associés aux relations : c'est le cas dans la figure 2 où le mot associé à un carré sur une flèche détermine le type du lien. Le graphisme peut être planaire (réseaux sémantiques) ou structuré (réseaux partitionnés, graphes conceptuels). Les mécanismes de parcours du graphisme indiquent les déductions potentielles.

– La représentation logique (ou algébrique, ou algorithmique) est la seule permettant une justification du système calculatoire développé (logiciels) au travers des propriétés liant la syntaxe (du calcul) à la sémantique (de la représentation) : un système doit être complet, *i.e.* tout ce que l'on peut montrer doit être prouvable, il doit aussi être bien-fondé, *i.e.* ce que l'on peut prouver doit être vrai. Les mécanismes inférentiels (implication, calcul de forme normale, calcul algorithmique) sont les pendants des mécanismes de parcours de graphe, quand une représentation graphique existe. Dans ce cas, la représentation graphique apparaît comme un modèle de la description logique, il est alors nécessaire de (savoir) vérifier les propriétés précédentes.

Avant de décrire plus avant réseaux sémantiques et graphes conceptuels, il convient de noter que la représentation graphique des connaissances masque des problèmes peu ou pas du tout résolus en représentation logique. En conséquence, la représentation logique d'un problème ne correspond qu'à un fragment de la connaissance implicitement représentée dans un graphisme. D'un point de vue logique, les différents symboles utilisés (types de relations, mots) n'ont que le sens défini par une axiomatique : le calcul est transparent à la notation choisie. Ce n'est pas toujours le cas dans une représentation graphique où on peut implicitement donner aux mots un sens qui dépasse le cadre graphique dans lequel ceux-ci ont été utilisés. La connaissance manipulée, y compris sur un domaine restreint, est vaste. Son organisation est donc extrêmement importante. Or la pertinence de l'organisation des données est un facteur essentiel à la pertinence du modèle de représentation choisi. Les réseaux sémantiques (par leurs liens "Sorte-de" : un chien est une sorte d'animal par exemple) intègrent une organisation hiérarchique. La représentation des connaissances au travers de la description des liens entre objets ne rend pas compte des méta-connaissances en jeu (en particulier au niveau graphique) : comment en effet représenter les connaissances heuristiques d'exploitation des connaissances, les connaissances procédurales d'organisation, de ré-organisation, de mise à jour, ou de modalité sur ces connaissances (négation, connaissances générales, exceptionnelles, etc.) ? Ces questions préoccupent depuis quelques années les chercheurs (les articles y faisant référence sont majoritaires dans les récents congrès d'intelligence artificielle), mais posent des problèmes tels qu'ils obligent à reconsidérer les choix logiques effectués dans les années antérieures.

3. DEUX EXEMPLES : RÉSEAUX SÉMANTIQUES ET GRAPHES CONCEPTUELS

Caractéristiques des modèles de représentation des connaissances, les réseaux sémantiques et les graphes conceptuels permettent aussi d'associer à une description logique une description graphique. Le lecteur trouvera dans les deux paragraphes suivants les remarques essentielles que l'on puisse faire sur ce sujet en l'état actuel.

Dans les années 1970, la notion de *réseaux sémantiques* a été (informatiquement) développée. Ceux-ci consistent en concepts (nœuds) et relations entre concepts (Sorte-de, encore appelé Est-un). La prolifération des

types de liens (et la non-standardisation de leur représentation graphique) a très rapidement rendu ces descriptions informatiquement inutilisables. Les liens étaient en effet très mal définis sémantiquement, voire pas du tout pour certains d'entre eux. Quelques articles critiques (Minsky, 1975 ; Woods, 1975) ont réorienté les études vers une réflexion sur une formalisation logique parallèle à la description graphique. KL-ONE (Brachman, 1978) fut ainsi le premier système de traitement d'informations symboliques représentées par des réseaux sémantiques ayant une sémantique claire. La formalisation a par ailleurs permis de comprendre les difficultés techniques inhérentes à certains types de liens (non-calculabilité dans certains cas !). De nombreuses études et implémentations ont affiné la proposition (Fahlman et al., 1981 ; Fikes & Nado, 1987 ; Woods, 1991). Des prototypes sont d'ores et déjà utilisés dans un cadre industriel (connaissances médicales par exemple). Trois méthodes d'organisation de l'information sont actuellement utilisées :

- la **reconnaissance** consiste à repérer pour un individu donné le ou les concepts (on dit aussi types génériques) auxquels cet individu appartient (on dit alors que l'individu est une *instance* du concept) : l'individu Paul peut ainsi être reconnu comme étant un étudiant, ou une personne ou..., selon les propriétés déclarées pour l'individu Paul ;

- l'**agrégation** consiste à relier un individu à d'autres individus : l'objet Paul peut ainsi être relié à l'objet symbolisant son bras... Il faut évidemment que la représentation soit telle qu'un bras ne puisse appartenir qu'à une unique personne. Lors des mises à jour (on décide par exemple d'ôter l'individu Paul de la base de connaissances), il faut aussi supprimer tout ce qui en est directement dépendant (le bras de Paul en l'occurrence) ;

- la **classification** consiste à hiérarchiser un ensemble de concepts. Un concept peut ainsi être considéré comme sous-concept d'un autre (oiseau par rapport à animal). Classer un concept C sous un autre concept C', c'est indiquer que toutes les propriétés de C' sont aussi des propriétés de C (on parle dans ce cas d'*héritage* de propriétés). La sémantique des relations d'héritage est particulièrement complexe dès que l'on cherche à rendre compte des propriétés par défaut, des exceptions, ou à masquer des valeurs de propriétés (Ducourneau & Habib, 1989 ; Stein, 1992 ; Touretzky, 1986) : dans la figure 3, Nixon apparaît à la fois comme républicain et comme quaker. On indique qu'un républicain est en général non pacifiste (~pacifiste), et qu'un quaker est en général pacifiste. En tout état de cause, les républicains, comme les quakers, sont des personnes. Nixon est-il pacifiste ou non ? Si la contradiction rend le système logique caduc, elle est pourtant intuitivement concevable ! C'est donc que l'information graphique ne se suffit pas à elle-même : il se peut que cette propriété dépende du contexte (politique, social, etc.). Comme on peut le constater, il y a loin du graphisme à un système opérationnel.

À côté du courant précédent, le formalisme des *graphes conceptuels* (Sowa, 1991) a fait aussi particulièrement l'objet de recherches. L'approche logique est différente, la représentation graphique aussi (cf. figure 4). Les nœuds carrés correspondent à des instanciations de concepts (Dupont est un malade par exemple), dans les cas où un nom spécifique n'a pas été donné à l'instance, le nom du concept est seul spécifié. Les nœuds ronds correspondent aux prédicats. Le lexique associe à chaque concept ou prédicat un graphe de définition (le "sens" du concept ou du prédicat). Il est notable de

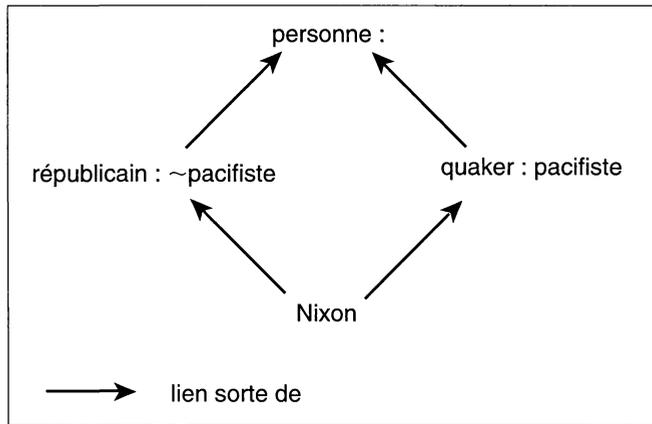


Figure 3 : (Réseau sémantique) le diamant de Nixon

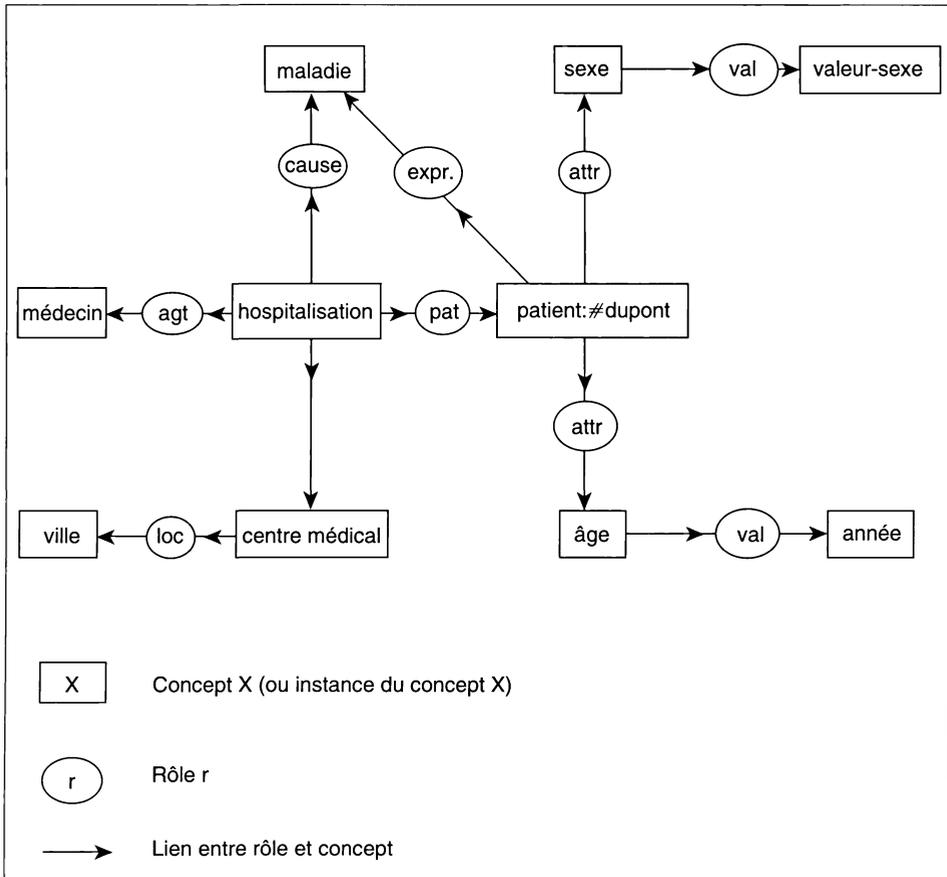


Figure 4 : Graphe conceptuel partiel décrivant le concept d'hospitalisation

constater que les réseaux sémantiques sont principalement utilisés en représentation de connaissances (d'experts), alors que les graphes conceptuels sont associés à l'étude du langage naturel. La notion de discours (de proposition, de modalités sur les propositions) y joue un rôle important ; c'est pourquoi l'enchâssement des représentations (grâce aux nœuds carrés à double valeur) y est une notion clé. Le formalisme des graphes conceptuels a été dès le départ associé à une formalisation logique : le nombre de type de liens est faible, *a contrario* les concepts de base sont fréquemment sous-définis (la sémantique de la plupart des modalités y est notoirement sous-définie par exemple). La représentation est plus féconde que celle des réseaux sémantiques, les mécanismes algorithmiques sont malheureusement plus complexes.

4. CONCLUSION

Quelle est l'orientation actuelle ? Il suffit de consulter les derniers actes des conférences d'intelligence artificielle (*European Conference on Artificial Intelligence, International Joint Conference on Artificial Intelligence* par exemple) pour constater l'importance des représentations graphiques. Force aussi est de constater l'effort consenti en intelligence artificielle pour définir une modélisation logique adéquate. Jusqu'à présent, cet effort n'a abouti que dans les cas où on réduisait drastiquement les types de liens (les réseaux réellement formalisés ne tiennent compte que des liens de type Sorte-de, de la négation, de rôles simples). La démarche actuelle vise donc à accroître le pouvoir d'expression des langages de représentation des connaissances en intégrant un à un de nouveaux types de liens (des modalités, des liens de type défaut ou de type exception...).

Rappelons pour terminer qu'il y a encore un fossé important entre utilisation effective des graphiques et formalisation de ceux-ci. Non seulement l'implicite contenu dans un graphique est souvent hors de portée des théories actuelles, mais encore il convient de noter qu'il existe un décalage important entre la théorisation de notions telles que la catégorisation et la conceptualisation en psycholinguistique et ce que l'intelligence artificielle est supposée en faire ; les différences dans les définitions des termes utilisés sont à ce sujet significatives. Ainsi, un concept est dénoté en intelligence artificielle fondamentalement par un ensemble d'individus, c'est-à-dire un ensemble de propriétés pris parmi un ensemble primitif, et les travaux actuels ne font pas référence à d'éventuelles différences entre propriétés et caractéristique, entre prototype et instance d'un concept. L'approfondissement de ces notions est plus que jamais à l'ordre du jour. En particulier, une mise en commun des résultats obtenus dans les disciplines liées aux sciences cognitives apparaît nécessaire.

BIBLIOGRAPHIE

AYEL J. (1988). A Conceptual Supervision Model in Computer Integrated Manufacturing. In Y. Kodratoff (Ed.), *European Conference on Artificial Intelligence*. London, Pitman Publishing, pp. 427-432.

BRACHMAN R. (1978). *A structural Paradigm for Representing Knowledge*. BBN Report n° 3605, Bolt Beranek and Newman Inc.

DUCOURNAU R. & HABIB M. (1989). La multiplicité de l'héritage dans les langages à objets. *Technique et Science Informatiques*, vol. 8, n° 1, pp. 41-62.

ETHERINGTON D.W. (1987). Formalizing nonmonotonic reasoning systems. *Artificial Intelligence*, vol. 31, n° 1, pp. 41-85.

FAHLMAN S.E., TOURETZKY D.S. & van ROGGEN W. (1981). Cancellation in a parallel semantic network. In A. Drinan (Ed.), *International Joint Conference on Artificial Intelligence*. San Mateo, Morgan Kaufmann, pp. 257-263.

FARRENY H. & GHALLAB M. (1987). *Éléments d'intelligence artificielle*. Paris, Hermès.

FIKES R. & NADO R. (1987). Semantically Sound Inheritance for a Formally Defined Frame Language with Defaults. In K. Forbus & H. Schrobe (Eds), *National Conference of the American Association for Artificial Intelligence*. San Mateo, Morgan Kaufmann, pp. 443-448.

KRICKHAHN R., NOBIS R., MÖHLMANN A. & SCHACHTER-RADIG M.-J. (1988). Applying the KADS Methodology to Develop a Knowledge Based System -Net Handler-. In Y. Kodratoff (Ed.), *European Conference on Artificial Intelligence*. London, Pitman Publishing, pp. 11-17.

MINSKY M. (1975). A Framework for Representing Knowledge. In P.H. Winston (Ed.), *The Psychology of Computer Vision*. New York, McGraw-Hill Book Company, pp. 211-277.

SCHMIDT-SCHAUß M. (1989). Subsumption in KL-ONE is undecidable. In R.J. Brachman, H.J. Levesque & R. Reiter (Eds), *Principles of Knowledge Representation and Reasoning*. San Mateo, Morgan Kaufmann, pp. 421-431.

SMITH E. (1989). Concepts and Induction. In M.I. Posner (Ed.), *Foundations of Cognitive Science*. Cambridge, MIT Press, pp. 501-526.

SOWA J. (1991). *Principles of Semantic Networks*. San Mateo, Morgan Kaufmann.

STEIN L.A. (1992). Resolving ambiguity in nonmonotonic inheritance hierarchies. *Artificial Intelligence*, vol. 55, n° 2-3, pp. 259-310.

TOURETZKY D.S. (1986). *The Mathematics of Inheritance Systems*. Los Altos, Morgan Kaufmann.

WOODS W.A. (1975). What's in a link ? Foundations for semantic networks. In D.G. Bobrow & A.M. Collins (Eds), *Representation and understanding : studies in cognitive science*. New York, Academic Press, pp. 35-82.

WOODS W.A. (1991). Understanding Subsumption and Taxonomy : A Framework for Progress. In J. Sowa (Ed), *Principles of Semantic Networks*. San Mateo, Morgan-Kaufmann, pp. 45-94.



Des représentations spatiales de concepts : pour quoi faire ?

Cécile DE BUEGER-VANDER BORGH

Laboratoire de Pédagogie des Sciences
Université catholique de Louvain
2, rue du Compas
B1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

Joëlle LAMBERT

Unité de linguistique française
Université catholique de Louvain
1, place Blaise Pascal
B1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

Résumé

Dans cet article, nous présentons deux outils de représentation spatiale de concepts : la carte conceptuelle et le réseau terminologique. Nous expliquons leurs objectifs, les différentes étapes de leur construction et mettons en évidence leurs avantages, leur complémentarité et leurs limites.

La carte conceptuelle met particulièrement l'accent sur la logique disciplinaire sous-jacente au discours didactique. Le réseau terminologique permet de visualiser les liens effectivement formulés par l'enseignant entre les termes, la densité et le sens de ces relations entre termes.

Mots clés : *carte conceptuelle, réseau terminologique, réflexe.*

Abstract

In this article two different tools for the spatial representation of concepts are presented : the concept map and the terminological network. The objectives of these tools and the steps taken for their construction are explained. The advantages and limitations of each of them are discussed as well as their complementary characteristics.

The concept map focuses on the logic of the discipline being taught during didactic discourse. The terminological network enables to visualise the actual linkages formed by the teacher among the different terms, their density and the meaning they are given.

Key words : *concept map, terminological network, reflex.*

Resumen

En este artículo presentamos dos instrumentos de representación espacial de concepto : el mapa de concepto y la red terminológica. Explicamos sus objetivos, las diferentes etapas de su construcción y ponemos en evidencia sus ventajas, su complementaridad y sus límites.

El mapa de concepto focaliza particularmente sobre la lógica disciplinaria subyacente al discurso didáctico. La red terminológica permite visualizar los vínculos efectivamente formulados por el enseñante entre los términos la densidad y el significado que ellos dan.

Palabras claves : *mapa de concepto, red terminológica, reflejo.*

Dans leur article du présent numéro, D. Jacobi, M. Boquillon et P. Prévoist rappellent brièvement les règles qui sont généralement admises pour la construction de cartes de concepts : *“Le chercheur isole et choisit les concepts pertinents, les hiérarchise par niveaux ordonnés, puis il relie les concepts entre eux par des ponts ou des liens homogènes.”*

Pour ces auteurs, *“l’utilisation et la diffusion [des cartes conceptuelles] dans quantité de domaines semblent avoir engendré une certaine ambiguïté dans la notion de carte. Faut-il penser que beaucoup d’auteurs les tracent sans connaître et donc respecter leurs règles de construction ?”* D. Jacobi et al. mettent en effet en évidence que la plupart des cartes proposées dans la littérature s’éloignent sensiblement du modèle de carte proposé par Novak.

Nous pensons que l’ambiguïté des cartes ne résulte pas seulement d’un non-respect des règles de construction, mais aussi d’un manque de précision de celles-ci et des objectifs visés par un tel outil.

Nous nous servons de représentations spatiales de concepts dans deux types de situations.

– En formation initiale d'enseignants : lorsque les futurs enseignants préparent leurs cours, nous leur demandons de présenter la carte conceptuelle du thème qu'ils enseigneront, carte proposant une représentation spatiale de concepts comme modèle de référence. L'objectif de ce travail de construction est de faire nommer par les étudiants les concepts qu'ils veulent enseigner et expliciter les relations qu'ils établissent entre les concepts.

– Dans le cadre de recherches en didactique : récemment, nous avons utilisé la carte conceptuelle dans un mémoire en didactique de la biologie relatif au concept de *réflexe* (Anneraed, 1994). Ce travail avait pour but d'analyser la logique disciplinaire, les concepts abordés et les liens entre ceux-ci, les types de reformulations du concept de *réflexe* que l'on pouvait trouver dans des discours écrits (deux ouvrages de référence, un manuel scolaire et des documents distribués en classe par des enseignants) et dans des discours oraux (transcrits) d'enseignants en classe.

Dans le cadre d'une recherche portant sur la verbalisation des concepts en classe à travers les discours oraux de professeurs de chimie et de biologie, nous avons été amenés à construire et à nous servir d'un nouveau type de représentation spatiale de concepts (Évrard, 1993) : le *réseau terminologique*.

Dans cet article, nous voudrions présenter carte conceptuelle et réseau terminologique et mettre en relation objectifs et règles de construction. Dans cette perspective et pour chacun des outils, nous expliquerons les différentes étapes de la réalisation, les problèmes que nous avons rencontrés, mais aussi les solutions que nous avons tenté d'y apporter. Nous souhaitons également montrer les avantages, les limites de ces outils et leur complémentarité.

Afin de permettre la comparaison, nous avons appliqué les deux outils au même document de départ : la transcription d'une heure de cours de biologie sur le concept de réflexe (cf. annexes 1 et 2).

Un premier problème que nous avons rencontré a été de délimiter le texte à analyser.

Dans l'analyse de la transcription d'un discours oral, on pourrait croire que la délimitation est "automatique" : on construit la représentation spatiale à partir des concepts du texte enregistré. Mais si l'on étudie les relations que l'enseignant établit entre les concepts, que faire des interventions des élèves dont le professeur est nécessairement obligé de tenir compte ? Réciproquement, si l'on analyse les interventions des élèves, que faire de celles de l'enseignant ? Ceux-ci peuvent en effet avoir une influence en amenant une idée, en posant une question, en proposant un exercice.

Dans l'analyse de discours d'enseignants, nous n'avons pas pris en considération le discours des élèves. Nous avons fait l'hypothèse que l'enseignant, tout au long de son cours, intégrait les informations (verbales ou non verbales) que lui envoyaient les élèves.

Nous pourrions aussi construire ces types de représentation spatiale à partir de documents écrits (ouvrage de référence ou manuel scolaire). Dans ce

cas, le même concept peut être abordé à divers endroits. Pour délimiter le texte à analyser, il faut souvent se référer à plusieurs passages. De plus, dans les chapitres consacrés au concept envisagé, certains paragraphes traitent de concepts apparentés à celui que l'on aborde. Par exemple, dans le paragraphe consacré à l'étude du réflexe d'étirement et du réflexe tendineux, l'auteur de l'ouvrage *Anatomie et Physiologie humaines* (Marieb, 1993) aborde l'anatomie du fuseau neuromusculaire et du fuseau neurotendineux. Ces aspects ne sont pas pris en compte lors de la construction d'une carte conceptuelle, car ils n'interviennent pas directement dans la compréhension du concept de réflexe.

1. CONSTRUCTION DE LA CARTE CONCEPTUELLE OU COMMENT REPRÉSENTER UNE HIÉRARCHIE DE CONCEPTS RELIÉS ENTRE EUX ?

Nous pensons que l'objectif de la construction de la carte conceptuelle est de permettre de visualiser une logique disciplinaire développée dans un cours. Par logique disciplinaire, nous entendons la désignation des concepts abordés, la hiérarchisation de ceux-ci les uns par rapport aux autres ainsi que la formulation des liens établis entre eux.

1.1. Étapes de la construction

Isoler et choisir les "concepts" pertinents

"Un traceur de carte doit souvent transformer la connaissance à tracer de sa forme courante, linéaire en une forme hiérarchique dépendante du contexte. Avant que cela puisse être fait, le traceur doit d'abord identifier les concepts-clés, les arranger du général au particulier, et les relier à chaque autre dans une voie signifiante." (Wandersee, 1990)

Il s'agit donc, dans un premier temps, de relever, dans le texte délimité, les différents termes-pivots, qui expriment les concepts (au sens d'idée générale et abstraite d'un objet) abordés explicitement par l'(les) auteur(s). Dans le texte utilisé, on trouve par exemple : *stimulus, récepteur, centre nerveux...* Il faut remarquer que le choix des mots est arbitraire. Quels mots sélectionner (substantifs, adjectifs...) pour dépasser cette difficulté ?

Hiérarchiser les concepts

Il s'agit, au cours de la lecture du texte, de repérer les catégories plus générales (implicites ou explicites), susceptibles de permettre un regroupement de concepts, puis d'établir un classement des concepts du plus générique au plus spécifique, de manière à faire percevoir une certaine hiérarchie, pour arriver, en fin de liste, aux exemples. Lorsque l'enseignant dit :

"Comment est ce qu'on a entamé le système nerveux/ le premier chapitre c'était quoi on a étudié quelques comportements/ humains... voilà on a

décrit un certain nombre de comportements dont le réflexe du petit bébé/ et le comportement intelligent [...] la réalisation d'un réflexe nécessite les éléments suivants/ la stimulation de récepteurs un influx nerveux jusqu'à un centre nerveux/ élaboration d'un réflexe/ au niveau du centre/ propagation de l'influx/ dans les fibres motrices/ réponse d'un organe effecteur/",

nous considérons que *réflexe* est plus général que *effecteur*, moins général que *comportement humain* et d'un même niveau de généralité que *comportement intelligent*.

Hierarchiser des concepts n'est pas chose simple et a suscité chez nous plusieurs questions.

– Sur quels critères se base-t-on pour affirmer qu'un concept est plus "général" qu'un autre ? Par exemple qu'est-ce qui fait dire à Novak que le terme *molécule* est plus général que le terme *liquide* (cf. figure 1 de l'article de Jacobi et al. précité) ? Associe-t-il "général" à "formel" au sens piagétien du terme ?

– Sa modalisation correspond-elle à une lecture linéaire d'un texte ou à une réorganisation des connaissances par le concepteur de la carte en fonction d'une hiérarchie "universelle", spécifique d'une discipline ? Par exemple, comment les chercheurs ont-ils procédé pour construire la figure 1 évoquée plus haut ? En d'autres termes, existerait-il une hiérarchisation des concepts déterminée *a priori*, indépendante de la logique de leur présentation par l'enseignant, le(s) auteur(s) de manuel(s) scolaire(s) ou d'ouvrage(s) de référence ? Et indépendante du projet que ces derniers poursuivent ? Dans ce cas, des textes présentant des logiques tout à fait différentes pourraient conduire à la construction d'une même carte. La réalisation d'un certain nombre de cartes conceptuelles à propos d'un même concept a permis de mettre en évidence que l'on pouvait construire des hiérarchisations différentes.

Construire la carte

Construire la carte demande d'utiliser la liste ordonnée des concepts comme "guide hiérarchique" et les conventions d'écriture suivantes.

– Les concepts sont désignés par un nom commun, un adjectif ou un verbe, lorsque ces deux derniers sont employés comme substantifs, ou encore par un adjectif lorsqu'il précise un concept plus général, écrits en lettres minuscules, et entourés par des ellipses, des rectangles ou des triangles selon le choix du constructeur.

Dans la liste des mots qui expriment les concepts figurent des termes utilisés comme synonymes par l'auteur du discours (exemple : arc réflexe = réflexe). La carte ne fait pas apparaître les synonymes. Dans l'exemple, nous avons choisi de retenir le terme "réflexe" car son occurrence était plus élevée.

– Chaque forme ne contient qu'un mot, excepté les cas où la compréhension d'un mot seul prête à confusion (exemple : système nerveux central...).

– Les concepts sont reliés par des mots-liens : on forme ainsi des propositions représentées par des lignes sur la carte (exemples : le réflexe **a la fonction de** protection, le réflexe **nécessite** la moelle épinière...).

– Les exemples sont placés en bas de page.

La formulation des liens pose un problème. Dans l'ensemble, il est important de noter les liens tels qu'ils sont formulés par l'enseignant. Il est cependant assez rare que celui-ci, ou l'auteur d'un document écrit, utilise une seule formulation pour relier deux concepts entre eux. Dans l'exemple choisi, le lien établi par l'enseignant pour relier "récepteur" à "peau", est formulé de différentes manières : *"la peau est un récepteur"*, *"le récepteur est contenu dans la peau c'est pas toute la peau"*. Pour construire la carte, nous avons tenu compte du plus grand nombre d'occurrences d'une même formulation.

1.2. La carte conceptuelle présente un certain intérêt...

Que ce soit dans le cadre d'une formation d'enseignants ou dans celui d'une recherche en didactique, la carte conceptuelle permet de mettre en évidence les concepts envisagés par l'auteur. Un enseignant différent de celui dont nous avons analysé le cours aurait pu par exemple :

- au lieu de situer le réflexe par rapport aux systèmes nerveux central et périphérique, aborder les concepts de réflexe inné et acquis,
- présenter le réflexe comme mécanisme permettant de maintenir l'intégrité de l'organisme vivant.

La carte conceptuelle permet également de montrer la façon dont l'auteur hiérarchise les concepts entre eux : l'enseignant aurait pu aborder les systèmes nerveux central et périphérique lorsqu'il parlait des centres nerveux comme étant indispensables au mécanisme du réflexe.

Elle montre aussi la façon dont sont formulés les liens entre les concepts.

La carte conceptuelle présente en outre l'avantage de révéler d'éventuelles imprécisions ou lacunes conceptuelles. Dans l'exemple proposé, l'enseignant relie le réflexe uniquement à la moelle épinière. Or (van den Bosch, 1991), le réflexe est toujours accompagné d'une afférence sensorielle transmettant l'information au cerveau.

Elle peut également servir de guide permettant à l'enseignant de voir, en un coup d'œil, les concepts abordés et ceux qui doivent encore l'être, et peut être employée, par le futur enseignant, comme "contrôle" lors de la rédaction de documents à l'usage des élèves.

1.3. ... mais aussi des limites

La carte conceptuelle ne nous donne aucune information à propos de la façon dont les concepts sont abordés, de leur ordre de présentation, de l'importance accordée à chacun, des différentes formulations des liens entre concepts et de l'occurrence de chacun de ces liens.

2. CONSTRUCTION DU RÉSEAU TERMINOLOGIQUE OU COMMENT REPRÉSENTER LES ASSOCIATIONS TERMINOLOGIQUES D'UN PROFESSEUR ?

Si l'on veut analyser le discours oral d'un enseignant et son impact éventuel sur la conceptualisation de l'élève, il n'est pas suffisant de connaître la logique disciplinaire sous-jacente à ce discours. Il faut pouvoir visualiser la densité et le sens des liens formulés explicitement entre les termes par l'enseignant. Cette visualisation permettrait de faire des hypothèses concernant l'importance que celui-ci accorde à l'une ou l'autre relation.

De plus, en situation scolaire, le discours de l'enseignant n'est pas "hiérarchisé" du concept le plus général vers le moins général tel qu'on l'entend lorsqu'on construit une carte conceptuelle. Il était donc important de pouvoir rendre compte des associations de termes effectuées par le professeur au fil de son discours, quel que soit leur niveau de spécificité. Dans cette perspective, nous avons été amenés à construire le réseau terminologique dont nous décrivons les étapes de la réalisation.

2.1. Étapes de la construction

Isoler et choisir les termes pertinents

Lors de la construction de la carte conceptuelle, nous avons souligné la difficulté de choisir les termes-pivots qui expriment les concepts : absence de synonymie, caractère arbitraire du choix des termes-pivots. Il fallait donc préciser les règles de ce choix sans perdre de vue que le travail réalisé lors de cette étape est d'ordre linguistique.

Comme le dit L. Vézin (1986), "*ce qui est appris est un ensemble de concepts dont le langage est un indice*". Toutefois, nous sommes conscients que "*la notion de concept ne peut être réduite au sens des mots qui expriment les concepts. Les mots sont des symboles, les signes conventionnels de nos concepts, ils ne sont pas le lieu propre de la signification, celui-ci est nos concepts. Les mots servent à évoquer les concepts mais ils n'en sont pas la réalité.*" (Vézin, 1986)

Dans cette perspective, nous parlons plutôt d'isoler les termes qui expriment les concepts. "*Il s'agit d'unités lexicales dont le sens est défini par les spécialistes dans les textes de spécialité. Les termes n'admettront pas de synonymie autre que référentielle et tendront vers la monosémie. Il s'agit là non d'une propriété réelle du terme mais d'une propriété idéale. Les termes étant des unités lexicales définies, c'est-à-dire des mots ou des syntagmes lexicaux spécifiques, ils ne représentent, potentiellement, que certaines acceptations de l'aire sémantique de l'unité lexicale, à savoir celles qui sont définies par les spécialistes dans les textes de spécialité, et non par les lexicographes dans les dictionnaires généraux.*" (Kocoureck, 1982)

Mais comment choisir ces termes ?

Puisque “*la langue scientifique est considérée comme un outil de communication fonctionnel, façonné par les seules exigences et contraintes particulières d’une discipline*” (Jacobi, 1987), pour fixer nos critères de sélection des mots, il était nécessaire de nous tourner vers les caractéristiques de cette langue scientifique.

Celle-ci “*a d’abord une remarquable précision sémantique. Cette précision a plusieurs conséquences : son lexique est plus étendu que celui de la langue commune. En outre, il fonctionne idéalement selon la loi de bi-univocité. C’est-à-dire que chaque concept ou notion a un seul nom et réciproquement chaque mot correspond à une seule chose*” (Jacobi, 1987). Il faut cependant souligner que la langue de spécialité partage certaines de ses ressources avec la langue courante et que la polysémie, par exemple, si caractéristique de la langue usuelle, n’est pas absente de la langue de spécialité (exemple : dans la transcription du discours que nous analysons dans ces lignes, le professeur de biologie n’hésite pas à utiliser le terme *information* pour désigner successivement une stimulation, un stimulus neutre ou encore un excitant absolu).

Dans la langue de spécialité, on trouvera donc “*la composition savante de noms scientifiques, la spécialisation d’un terme de la langue commune, l’emprunt à une langue étrangère*” (Jacobi, 1987).

Les termes dont nous tenons compte pour la construction du réseau terminologique appartiennent d’une part au domaine conceptuel étudié (ici, le réflexe et par extension le système nerveux), et d’autre part, à la langue de spécialité ou au langage courant lorsqu’ils sont “l’équivalent” d’un terme de la langue de spécialité (exemple : *cerveau* et *encéphale*).

Conventions d’écriture

– Les termes exprimant les concepts sont écrits en lettres minuscules et sont entourés par des ovales (dans l’exemple de réseau terminologique donné en annexe 2, les ovales foncés attirent l’attention sur les termes où arrivent ou dont partent beaucoup de liens). Précisons encore que le choix de l’ovale est tout à fait arbitraire, car il ne correspond ni à une distinction grammaticale, ni à une logique d’organisation bien précise.

– Nous n’avons retenu comme “terme-pivot” que les formes nominales simples (exemple : *réflexe*), excepté dans les cas où la compréhension de ces formes simples prêtent à confusion (exemples : *influx nerveux*, *moelle épinière*...).

C’est en toute conscience que nous avons fait ce choix et si nous l’avons fait, c’est d’une part, parce que nous pensons comme Georges Vignaux (1976) que les expressions nominales simples que nous avons retenues, c’est-à-dire les substantifs, permettent de dégager plus facilement des “entités”, des “substances” que les expressions nominales complexes. D’autre part, cette façon de procéder nous a permis d’éviter de mélanger diverses catégories grammaticales dans les représentations spatiales étudiées, sans compter les difficultés de représentation que la prise en compte de ces formes langagières aurait créées.

- Nous limitant à l'analyse des termes, nous n'avons pas pris en considération les exemples de molécules, pas plus qu'une partie de la grammaire iconographique (fonctions mathématiques, lettrage symbolique).
- Les termes sont reliés par des lignes.
- Des flèches sont ajoutées sur les lignes reliant les termes. Cela permet de mettre en évidence le sens privilégié de la relation entre termes.
- Des nombres sont également disposés sur ces lignes et correspondent au numéro de ligne du corpus transcrit dans laquelle se trouvent les termes reliés.

Construction du réseau terminologique

Le corpus transcrit est lu linéairement par le chercheur. Au fur et à mesure de la lecture du corpus, les termes employés par le professeur sont reportés dans un tableau. S'ils sont reliés à d'autres termes, et uniquement dans ce cas-là, ils sont inscrits sur le réseau, dans un ovale.

Au fil de la lecture, les mêmes termes, reliés à d'autres termes, se rencontrent à nouveau. Chaque fois que nous repérons un lien entre eux, nous dessinons celui-ci à côté des autres liens préexistants, à l'aide d'un trait. Dans les deux prises de parole suivantes :

Exemple 1 : L0 le point deux montre / que le *nerf sciatique* conduit des *influx* | – *centrifuges* [SC, L. 941]

Exemple 2 : L0 OK donc le *nerf sciatique* est le *conducteur moteur* [SC, L. 1115]

nous relevons trois termes (*nerf sciatique*, *influx centrifuges*, *conducteur moteur*) et deux liens entre d'une part, *nerf sciatique* et *influx centrifuges* et d'autre part, *nerf sciatique* et *conducteur moteur*. Sur le réseau, nous inscrivons ces relations de la manière suivante :

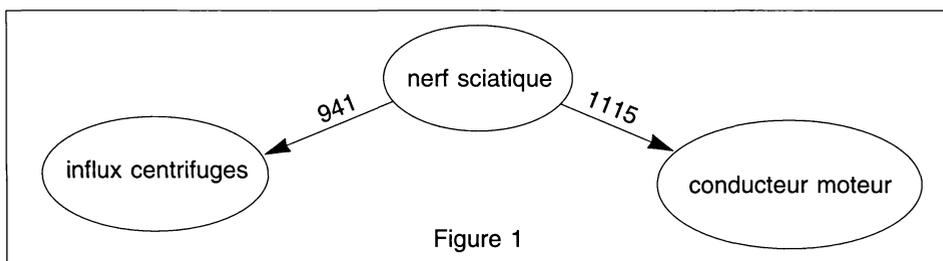


Figure 1

Précisons que la construction ne suit pas une logique linéaire et que la disposition des termes sur le réseau ne suit aucun ordre particulier. Dès que le terme apparaît, nous le notons sur l'espace resté libre.

Nous présentons le réseau terminologique d'un cours de biologie d'une heure en annexe 2 ¹.

¹ Les corpus étudiés se composent en moyenne d'une quinzaine de pages, nous n'avons pas pu les insérer en annexe. Toutefois, les corpus transcrits et les cassettes audio correspondantes sont disponibles au Laboratoire de Pédagogie des Sciences de Louvain-la-Neuve.

2.2. Intérêts du réseau terminologique

Rappelons que cet outil a été inventé pour les besoins d'une recherche visant notamment à décrire le discours oral du professeur de sciences dans sa classe. Les résultats obtenus grâce à l'utilisation du réseau terminologique sont développés dans un article à paraître (Évrard et al., à paraître). Nous nous contenterons de souligner ici quelques tendances générales, que nous illustrerons à partir d'exemples provenant du corpus de biologie analysé dans le cadre de cet article.

L'utilisation des réseaux a permis de mettre en évidence l'emploi de termes scientifiques considérés par l'enseignant comme de véritables pré-requis indispensables à la compréhension de la notion de réflexe (*nerf, neurone, moelle épinière...*) puisqu'il ne les définit pas lors de son cours.

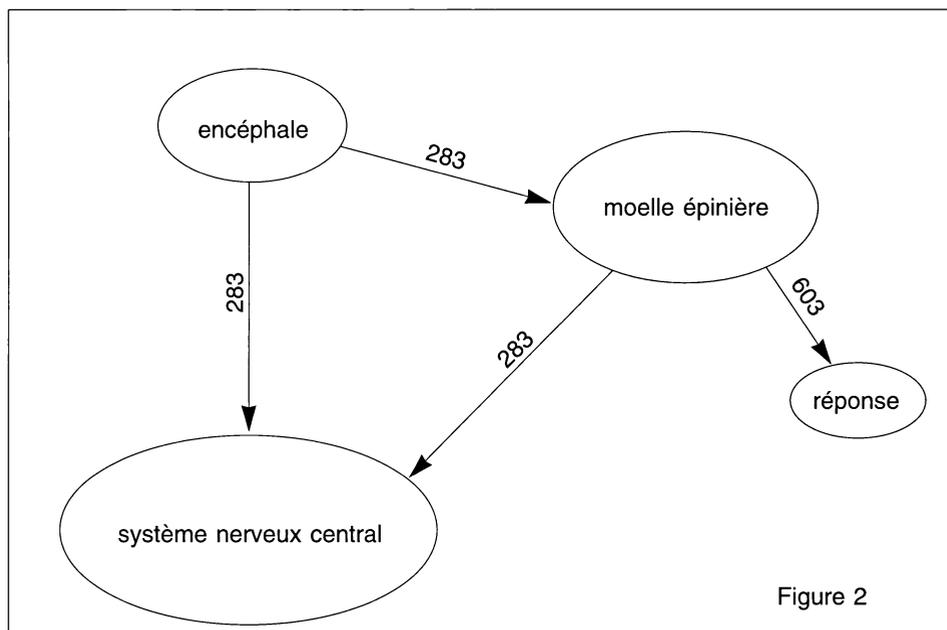
Ces réseaux ont fait apparaître un nombre impressionnant de termes introduits en une heure de cours, mais aussi l'absence de termes qu'on s'attendait à rencontrer, mais dont il existe des reformulations dans le corpus (par exemple, les termes *neurone moteur, neurone sensitif et neurone d'association*).

Ils permettent également de constater que certains termes revêtent un statut "périphérique", "central" ou "satellite". Nous entendons par terme périphérique un terme relié une seule fois sur la carte à un autre terme, autrement dit un terme dont ne part ou n'arrive qu'un seul lien (exemple : *conducteur moteur*) ; par terme central un terme où arrive ou dont part un nombre important de liens (exemple : *information*). Nous avons dénommé "satellites" deux termes reliés uniquement entre eux, mais non reliés au reste du réseau terminologique (exemples : *péricaryon et corps cellulaire*).

Les réseaux terminologiques rendent compte des termes exploités pour exprimer un concept, des liens énoncés entre ces termes en conservant la chronologie factuelle de leur apparition dans le discours. Par exemple (cf. annexe 2), si on observe les nombres apparaissant sur les traits reliant *nerf sciatique* et *information* (880-886-887-935-953), on constate que le professeur établit un lien entre ces deux termes à des moments d'énonciation très proches. Par contre, le professeur établit un lien entre *stimulus* et *réponse* en début (155) et vers le milieu du cours (615-752), c'est-à-dire à des moments relativement espacés. Dans la majorité des cas, on constate cependant que le professeur réalise ces associations à des moments temporellement proches. Ce qui nous laisse supposer qu'après avoir insisté sur le lien existant entre deux termes, l'enseignant passe à autre chose, sans aucune autre sorte de rappel.

Les réseaux terminologiques permettent de plus de quantifier la densité de la liaison entre deux termes et met en évidence des structures de liens, dyades et triades, dans lesquelles des termes sont reliés deux à deux ou trois à trois. Pour mieux cerner ces notions, nous donnons un exemple du réseau présenté.

Dans cet exemple, nous dégageons quatre dyades : *encéphale-moelle épinière, encéphale-système nerveux central, système nerveux central-moelle*



épinière, moelle épinière-réponse et une triade : *encéphale-moelle épinière-système nerveux central*. Ces structures montrent le niveau de complexité d'organisation des concepts, étant entendu qu'une triade présente une organisation plus complexe qu'une dyade.

Le nombre de liens entre termes, quant à lui, nous indique la densité de ces liens. Ainsi, la dyade *moelle épinière-réponse* dénombre un lien contre deux dans les trois autres dyades. Nous émettons l'hypothèse que plus le nombre de liens est élevé, plus le professeur insiste sur la relation entre concepts.

Par comparaison entre les corpus analysés dans le cadre général de la recherche entreprise, nous avons constaté que les enseignants privilégiaient les relations dyadiques simples, c'est-à-dire les relations entre deux termes seulement et à une seule occurrence. Nous avons de même dégagé des structures dyadiques et triadiques communes. Sont-elles le reflet d'une stratégie commune ou dépendent-elles uniquement des personnalités des enseignants ou encore de l'option du cours ?

Le sens des flèches attribué aux traits reliant les termes présente aussi un intérêt. Il permet de constater que certains liens se font toujours dans le même sens. Par exemple, les liens partent toujours d'*encéphale* vers *réflexe*, de *nerf sciatique* vers *information*, de *centre nerveux* vers *substance blanche* et *substance grise*... Sans vouloir en tirer des conclusions hâtives, ne pourrait-on pas y voir un manque de diversité dans la manière de présenter un savoir savant aux élèves ?

Les nombres apparaissant sur les traits établis entre termes nous permettent de re-contextualiser le moment d'énonciation et d'analyser les liens entre termes d'un point de vue sémantique et grammatical. L'analyse de ces liens est primordiale. En effet, les représentations graphiques mises au point jusqu'à ce jour élaquent très souvent les données linguistiques.

Ces réseaux terminologiques ont donc le mérite d'attirer l'attention sur les termes abordés ou non abordés, sur les termes reliés ou non reliés, voire isolés, sur les liens manquants, la densité et la complexité des liens entre termes, le statut central, périphérique ou satellite de certains termes-pivots.

Nous avons confronté certains professeurs avec les réseaux terminologiques de leur cours. Cette confrontation s'est révélée très intéressante. Ainsi, certains d'entre eux, après avoir parcouru leur réseau et celui des autres enseignants, se sont aperçus qu'ils utilisaient des termes considérés par eux comme superflus au détriment de termes jugés plus utiles, présents chez les autres professeurs.

3. POUR CONCLURE

Dans cet article, nous avons voulu mettre en évidence l'intérêt et les limites de deux types de représentations spatiales de concepts utilisés en recherche en didactique et/ou en formation d'enseignants. La carte conceptuelle met particulièrement l'accent sur la logique disciplinaire sous-jacente au discours didactique oral ou écrit. Le réseau terminologique permet de visualiser les liens effectivement formulés par l'enseignant entre les termes, la densité et le sens de ces relations entre termes.

Ces deux outils ne sont donc pas comparables mais complémentaires. En les décrivant, nous avons voulu montrer qu'une fois de plus, l'emploi d'un outil dépend des objectifs que l'on poursuit. Nous pensons que ces outils sont opérationnels puisqu'ils permettent de se poser de nouvelles questions, tant du point de vue de la recherche que de celui de la formation des enseignants.

Dans l'état actuel de notre recherche, nous pensons à la conception d'une grille d'analyse qui nous permettrait d'établir une classification sémantique de ces liens et de déterminer quelles formes grammaticales ces liens revêtent. Nous pensons pouvoir mettre en évidence, par exemple, l'utilisation constante de certains verbes avec certains concepts bien précis, dans certaines disciplines. Dans nos corpus, lorsque le professeur explique le passage de l'information à travers le système nerveux, c'est le verbe *véhiculer* que ce dernier utilise dans la majorité des cas. Pourquoi ? Quelles représentations se cachent derrière cet emploi récurrent ? Ces liens sont-ils explicitement formulés dans le texte ou sont-ils inférés à partir de ce qui a été dit ? Au cours des diverses reformulations qui ont lieu lors d'un cours, les liens entre les deux termes d'une dyade sont-ils de même nature ? Sont-ils répétés ?

À côté des avantages énoncés ci-dessus, il faut se poser la question de la rentabilité de ces deux outils. Sont-ils vraiment lisibles ? Visent-ils une

efficacité de diffusion, de communication optimale ? S'ils présentent des qualités non négligeables, ils n'offrent aucune information sur la construction du raisonnement, les procédures de reformulation employées par l'enseignant pour éclaircir ses propos, les termes isolés (non reliés), les glissements sémantiques et les emplois impropres. Toutefois, ces informations sont acquises lors de la construction de ces représentations.

Les règles que nous venons d'énoncer et les questions qu'elles ont suscitées montrent qu'il n'est pas aisé de construire une carte conceptuelle ou un réseau terminologique (le choix des termes à prendre en considération, par exemple, a été l'objet de longues discussions). Quoi qu'il en soit, nous pensons que la technique des cartes conceptuelles ou de tout autre type de représentation spatiale de concepts est intéressante, pour autant que les chercheurs aient déterminé les objectifs poursuivis par l'application d'un tel outil et précisé les règles de construction de manière à ce que chacun puisse l'utiliser.

BIBLIOGRAPHIE

ANNERAED H. (1994). *Approche lexico-sémantique du concept de réflexe*. Mémoire inédit. Louvain-la-Neuve, Université catholique de Louvain.

BANERJEE A.C. (1991). Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, vol. 13, n° 4, pp. 487-494.

DE BUEGER-VANDER BORGHT C. (1992). Utilité des cartes conceptuelles. Quelle utilité peuvent-elles avoir pour l'analyse de manuels scolaires dans le cadre de la formation des maîtres ? *FOCEN (Formation Continué des Professeurs d'École Normale)*, vol. 1, n° 4, pp. 36-51.

DE BUEGER-VANDER BORGHT C. & MABILLE A. (1989). The evolution in the meanings given by Belgian secondary schools pupils to biological and chemical terms. *International Journal of Science Education*, vol. 11, n° 3, pp. 347-362.

DION M., FONTANEL M., GIRARD L., MARTIN J., NOARS P. & R., TEYSSIER F., THOMAS R. (1983). *Biologie. Terminale D*. Paris, Nathan.

ÉVRARD N. (1993). *Communication d'un savoir scientifique en classe : de la verbalisation au concept d'équilibre chimique. Outil descriptif de trois discours d'enseignants*. Mémoire de DEA inédit. Louvain-la-Neuve, Université catholique de Louvain.

ÉVRARD N., HUYNEN A.-M., EVRARD T., LAMBERT J. & de BUEGER-VANDER BORGHT C. (à paraître). Communication d'un savoir scientifique en classe. De la verbalisation au concept de l'équilibre chimique. *Didaskalia*.

FRANCARD M. & PERONNET L. (1989). La transcription de corpus oraux dans une perspective comparative. La démarche du projet PLURAL. In *Actes du colloque de Laval, 7-8-9 décembre 1988*. Québec, CIRB, Relais, pp. 295-307.

GUSSARSKY E. & GORODETSKY M. (1990). On the concept "chemical equilibrium" : the associative framework. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 27, n° 3, pp. 197-204.

HEINZE-FRY J.A. & NOVAK D. (1990). Concept mapping brings long-term movement toward meaningful learning. *Science Education*, vol. 74, n° 4, pp. 461-472.

HORTO P.B., MC CONNEY A.A., GALO M., WOODS A.L., SENN G.J. & HAMELIN D. (1993). An investigation of the effectiveness of concept mapping as an instructional tool. *Science Education*, vol. 77, n° 1, pp. 95-111.

JACOBI D. (1987). *Textes et images de la vulgarisation scientifique*. Berne, Peter Lang.

JACOBI D. (1992). Dresser une carte de concepts : effets linguistiques et sémiotiques. *FOCEN (Formation Continué des Professeurs d'École Normale)*, vol. 1, n° 4, pp. 52-64.

KOCOUREK R. (1982). *La langue française de la technique et de la science*. Wiesbaden, Brantsletter Verlag, La Documentation Française.

LECLERC L.-P., BESANCON J. & NIZET I. (1993). Élaboration de modèles conceptuels adaptés à l'enseignement professionnel : une application en agrotechnique. *Aster*, n° 15, pp. 101-119.

LEMKE J.L. (1990). *Talking science. Language, learning, and values*. New Jersey, Ablex publishing corporation.

MARIEB N. (1993). *Anatomie et physiologie humaines*. Bruxelles, De Boeck.

MARKHAM M. (1994). The concept map as a research and evaluation tool : further evidence of validity. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 31, n° 1, pp. 91-101.

MASON C.L. (1992). Concept mapping : a tool to develop reflective science instruction. *Science Education*, vol. 76, n° 1, pp. 51-63.

NOVAK J. & GOWIN D.B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge University Press.

NOVAK J.D., GOWIN B. & JOHANSEN G.T. (1983). The Use of Concept Mapping and Knowledge Use Mapping with Junior High School Science Students. *Science Education*, vol. 67, n° 5, pp. 625-646.

PATON R.C. (1993). Understanding biosystem organisation. Part 1 : Verbal relations. *International Journal of Science Education*, vol. 15, n° 4, pp. 395-410.

PATON R.C. (1993). Understanding biosystem organisation. Part 2 : Towards a theoretical framework. *International Journal of Science Education*, vol. 15, n° 6, pp. 637-653.

ROLLNICK M. & RUTHERFORD M. (1993). The use of conceptual change model and mixed language strategy for remediating misconceptions on air pressure. *International Journal of Science Education*, vol. 15, n° 4, pp. 363-381.

ROSS B. & MUNBY H. (1991). Concept mapping and misconceptions : a study of high-school students' understandings of acids and bases. *International Journal of Science Education*, vol. 13, n° 1, pp. 11-23.

ROTH W.M. (1992). Comments to the "Methodological limitations for the use of expert systems techniques in science education research". *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 29, pp. 629-632.

ROTH W.M. & ROYCHOUDHURY A. (1992). The social construction of scientific concepts or the concept map as conscription device and tool for social thinking in high school science. *Science Education*, vol. 76, n° 5, pp 531-557.

ROTH W.M. & ROYCHOUDHURY A. (1993). The concept map as a tool for the collaborative construction of knowledge : a microanalysis of high school physics students. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 30, n° 5, pp. 503-534.

STENSVOLD M.S. & WILSON J.T. (1990). The interaction of verbal ability with concept mapping in learning from a chemistry laboratory activity. *Science Education*, vol. 74, n° 4, pp. 473-480.

STEWART J., VAN KIRK J. & ROWELL D. (1979). Concept maps : a tool for use in biology teaching. *The American Biology Teacher*, n° 41, pp. 171-175.

VAN DEN BOSCH DE AGUILAR P. (1990). *Morphologie fonctionnelle du système nerveux*. Cours inédit. Louvain-la-Neuve, Université catholique de Louvain.

VÉZIN L. (1986). *Communication des connaissances et activité de l'élève*. Saint-Denis, Presses Universitaires de Vincennes.

VIGNAUX G. (1976). *L'argumentation : essai d'une logique discursive*. Genève, Droz.

WANDERSEE J.H. (1990). Concept mapping and the cartography of cognition. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 27, n° 10, pp. 923-936.

WILLERMAN M. & MAC HARG R.A. (1991). The concept map as an advance organizer. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 28, n° 8, pp. 705-711.



Les trames conceptuelles, outils de formation en didactique de la biologie

Marie SAUVAGEOT

Centre IUFM de Dijon
51 rue Charles Dumont
21000 Dijon, France.

Résumé

Les premières trames conceptuelles furent élaborées à l'INRP au cours de différentes recherches en didactique des sciences expérimentales. L'écriture de ces trames est actuellement utilisée en formation initiale et continue, pour aider les enseignants à préparer leurs séquences de biologie ou de géologie. Cet article définit et donne des exemples de trames conceptuelles élaborées en fonction d'objectifs différents. Il fait aussi le point des difficultés rencontrées, lors de la construction des trames.

Mots clés : trame conceptuelle, niveau de formulation, formation, didactique de la biologie, structuration.

Abstract

The first conceptual frameworks have been developed at the INRP during different research projects about didactics of experimental sciences. Drawing these conceptual frameworks is to-day used for initial and continuing training in order to help teachers to prepare their biology and geology teaching sequences. This article will define and give examples of conceptual frameworks built up according to different goals ; then it will summarise still unresolved problems.

Key words : conceptual framework, level of formulation, formation, didactics of biology, structuration.

Resumen

Las primeras tramas conceptuales fueron elaboradas en el INRP durante diferentes investigaciones en didáctica de ciencias experimentales. Estas tramas son usadas en formación inicial y continua para ayudar a los enseñantes en la preparación de secuencias de biología y de geología. Este artículo presenta una definición y da ejemplos de tramas conceptuales elaboradas con diferentes objetivos. Describemos además las dificultades encontradas durante la construcción de estas tramas.

Palabras claves : trama conceptual, nivel de formulación, formación, didáctica de la biología, estructuración.

Compte-tenu du libellé très succinct des programmes consignés dans les Instructions officielles, des didacticiens ont ressenti la nécessité d'analyser de manière approfondie la matière à enseigner. Prenons par exemple cette phrase extraite du programme de l'école primaire du 15 mai 1985 : *"Les végétaux chlorophylliens ont besoin d'eau pour vivre. Ils ont aussi besoin d'autres aliments (sels minéraux...)"* Que désignent les points de suspension ? Devra-t-on parler du dioxyde de carbone, de l'air ? Que devient le besoin de lumière ? Quel critère utiliser pour définir un aliment, un besoin, etc. ? En se posant de telles questions, les enseignants prennent conscience que les contenus d'enseignement ne sont pas donnés, mais doivent être reconstruits, les différents manuels présentant chacun leur interprétation.

Un autre exemple, pris en 6^e (première année de collège) pose d'autres questions. Le programme stipule : *"La fermentation : définition. Un exemple d'application pratique : la fermentation alcoolique"*. Les compléments ajoutent : *"L'étude de la fermentation alcoolique sera l'occasion de montrer que certains êtres vivants sont susceptibles de vivre en l'absence d'oxygène. On montrera l'intérêt pratique du phénomène"*. Quelle définition du concept de fermentation et de respiration doit-on viser ? Quelles sont les notions constitutives de ce concept ? Quelles seront les notions à faire construire par des élèves de 10-11 ans ? Quelles notions sont abordées avant et après ce niveau d'enseignement ?

Pour répondre à ce type de questions, des formateurs ont proposé à leurs stagiaires, depuis une dizaine d'années, de construire des trames conceptuelles, inventées et perfectionnées au cours de recherches successives à l'INRP (Institut National de Recherche Pédagogique). C'est au cours d'une recherche qui se proposait d'analyser les conditions de construction de savoirs scientifiques dans l'enseignement que les premières trames conceptuelles furent construites, en 1983. On trouve une première définition formulée par A. Giordan (1987, p. 93) : *"Ces trames ont pour fonction d'analyser la matière enseignée en mettant en relations internes et externes chacun des concepts ; les relations internes sont celles qui lient les notions constitutives de concepts à elles-mêmes, les relations externes celles qui lient un concept à ceux qui lui sont limitrophes."*

Une autre recherche (Aster, 1985) a étendu ce travail aux concepts d'écosystème et d'énergie. Trois grands types de trames ont été définis et leur fonction a été précisée. On peut distinguer :

- des trames d'analyse de la matière, dites de savoir savant, trames établies avant l'élaboration d'une séquence, et cherchant à préciser le savoir et sa structure,
- des trames prévisionnelles d'analyse de la matière à enseigner à un niveau donné d'enseignement, en vue de préparer une progression pédagogique,
- des trames *a posteriori* reprenant les notions abordées et les démarches suivies pendant une séquence, trames-bilans pour l'enseignant qui analyse le travail réalisé avec les élèves, ou trames-bilans à faire produire en classe, pour aider les élèves à structurer le savoir.

Cette notion de trame conceptuelle fut reprise au cours de la recherche sur l'élaboration de documents de ressources en didactique des sciences. Le *Guide du formateur en didactique des sciences* (Astolfi et al., à paraître) résume ce travail ; il répertorie différents concepts didactiques et des dispositifs de formation, afin d'aider les formateurs. Les trames conceptuelles y sont présentées comme des modélisations graphiques qui permettent de figurer les réseaux conceptuels. "*Ce sont des outils pour visualiser les concepts, l'interactivité et la hiérarchie des notions constitutives.*"

En participant à ces différents travaux, des formateurs MAFPEN (Mission Académique à la Formation des Personnels de l'Éducation Nationale) et IUFM (Institut Universitaire de Formation des Maîtres) ont acquis la formation nécessaire à l'élaboration de modules de formation répondant aux problèmes posés en enseignement de didactique des sciences. Les trames conceptuelles sont des outils dont la construction est susceptible d'aider les enseignants dans la préparation de leurs cours, à propos de tous les concepts de biologie et de géologie figurant dans les programmes. Faire le point sur le savoir savant, traduire le programme en notions à enseigner, articuler ces notions entre elles, définir leurs limites à un niveau d'enseignement donné et prendre conscience des choix des manuels, c'est-à-dire préciser le savoir à enseigner, concerne tous les enseignants, avant de construire leurs séquences d'enseignement, quel que soit le modèle pédagogique choisi.

Qu'est-ce qu'une trame conceptuelle ? Qu'est-ce qui la distingue d'une carte conceptuelle ? À quoi sert-elle ? Qui la construit ? Quand ? Quelles sont les difficultés rencontrées pour l'élaborer ? Quelles sont ses limites ? Existe-t-il plusieurs types de trames ? Ce court article propose des éléments de réponses.

QU'EST-CE QU'UNE TRAME CONCEPTUELLE ?

Empruntons à un récent rapport de recherche la réponse à cette question, rédigée par J.-P. Astolfi (1989). Elle a pour objectif de caractériser les trames et de les distinguer des cartes conceptuelles.

*“1 - C’est une série d’**énoncés complets**, c’est-à-dire formulés sous forme de phrases, chaque énoncé devant pouvoir être lu de manière indépendante. En quelque sorte, le contrepoint des points de programme exprimés par de simples mots ou expressions laconiques.*

*2 - Il s’agit d’**énoncés opératoires**, c’est-à-dire reliés à des problèmes scientifiques auxquels ils sont une réponse, et non d’**énoncés “déclaratifs”**, à la façon des définitions des dictionnaires.*

*3 - Ces énoncés sont **hiérarchisés entre eux**, chacun en englobant d’autres plus élémentaires, et l’ensemble se présentant comme un réseau orienté.*

*4 - Cette hiérarchisation vise d’abord à décrire les **implications logiques** entre les contenus des énoncés, et non leur succession chronologique dans une progression d’enseignement.”*

Ces quatre critères annoncent toutes les difficultés rencontrées au cours de la construction de trames, les deux plus importantes étant l’écriture des phrases et la clarification de la nature des liens souvent codés par différents types de flèches. Ce dernier point, sans aucun doute le plus difficile à traiter, nécessitera encore de nombreux essais.

À QUOI SERT UNE TRAME CONCEPTUELLE ?

*“Clarifier la matière à enseigner,
prévoir de façon raisonnée une progression pédagogique,
concevoir des moments de structuration”*

sont les trois objectifs assignés par J.-P. Astolfi (1989) à une trame conceptuelle. Comment utiliser cela en formation ?

“Clarifier la matière à enseigner”, première réponse toujours donnée, nous renvoie à l’identification des concepts biologiques et géologiques présents dans les programmes et à leur définition. Définir un concept a fait l’objet de nombreux travaux. Sans prétendre en faire le point, nous proposerons comme point de départ la définition de G. Canguilhem (1955, pp. 68-69) : *“Nous sommes vraiment ici en présence d’un concept, puisque nous en trouvons la définition [...] En résumé, concernant le réflexe, nous trouvons chez Willis, la chose, le mot et la notion. La chose, sous la forme d’une observation originale, un réflexe cutané du système cérébro-spinal, le réflexe de grattage ; le mot, devenu classique quoique impropre, comme adjectif et comme substantif ; la notion, c’est-à-dire la possibilité d’un jugement sous la forme initiale d’un discernement ou d’une classification, sous la forme éventuelle d’un principe d’interprétation de l’expérience.”*

C'est dans ce courant d'idées que nous emprunterons à G. Rumelhard (1986) les critères définissant un concept scientifique. Pour le cerner, nous jugeons nécessaires les cinq critères suivants :

- une dénomination,
- une définition capable de remplir une fonction opératoire. Par exemple, il peut opérer par division dans un ensemble apparemment homogène ; ainsi le concept d'isostérie permet de distinguer des corps selon les compositions et de les rapprocher selon leurs propriétés fonctionnelles, comme la borazine et le benzène,
- une prise de position épistémologique,
- une extension et une compréhension, c'est-à-dire un domaine et des limites de validité,
- des relations avec d'autres concepts.

Définir un concept exige des choix épistémologiques. Or *"la biologie n'est pas une science unifiée*, affirme F. Jacob (1970, pp. 14-15). *Aux extrémités de l'éventail, on distingue deux grandes tendances, deux attitudes qui finissent par s'opposer radicalement. La première de ces attitudes peut être qualifiée d'intégriste ou d'évolutionniste. [...] À l'autre pôle de la biologie se manifeste l'attitude opposée qu'on peut appeler tomiste ou réductionniste."*

On peut dire qu'actuellement la tendance est assez fortement tomiste, et que la biologie *"voit dans les performances de l'organisme l'expression de ses réactions chimiques"*.

Dans une situation de formation initiale et continue, l'explicitation ne peut avoir lieu, les enseignants se trouvent placés devant les choix théoriques faits par les concepteurs de programmes. "Clarifier la matière à enseigner" peut donc se traduire par écrire le nom et la définition du concept, identifier les concepts en réseau, rédiger des énoncés qui préciseront le contenu et les limites du concept, situer spatialement ces différents énoncés, c'est-à-dire trouver implicitement, ou mieux, explicitement, les liens qui les relient. La trame ainsi rédigée couvrira une surface importante, si elle essaie d'écrire de cette façon les différentes notions constitutives du concept.

Prenons l'exemple des trames du concept de digestion que j'ai construites dans le cadre de ma thèse, à l'INRP. Après consultation de publications de chercheurs, j'ai proposé un contenu aux cinq critères définis précédemment. Le mot *digestion* existait bien avant le concept, puisqu'il date du XIII^e siècle et le concept de 1752, voire de 1833 avec la découverte des diastases. La définition donnée actuellement par les biochimistes concerne la catalyse enzymatique. Pour construire cette définition, il est nécessaire de clarifier les notions de transformations physiques et de transformations chimiques dues aux enzymes. Ce concept est lié aux concepts d'alimentation, d'absorption, d'assimilation et d'énergie, d'excrétion et de régulation. La figure 1 présente une des écritures possibles d'une trame conceptuelle d'analyse de la matière concernant le concept de digestion.

Ce type de trame exige que ses concepteurs soient des spécialistes de l'enseignement de la discipline, pour le cas présent des enseignants de biologie-géologie de collège ou de lycée. C'est un exercice jugé difficile, car il faut

tout d'abord faire le point sur les notions constitutives du concept. La mémoire n'étant pas toujours suffisante et la rédaction de phrases difficile, les stagiaires consultent des documents dont le statut n'est pas tout à fait le même, du point de vue de la transposition didactique : cours universitaire, précis de biologie, manuels de lycée et collège ou articles de vulgarisation parus dans *Pour la Science* ou *La Recherche*. L'écriture de la définition du concept amène les stagiaires à consulter *l'Encyclopedia Universalis*, par exemple. Certains écarts constatés entre différentes sources peuvent amener les étudiants à poursuivre la recherche. Ainsi, l'écriture de la trame concernant la communication animale a été motivée par la mise en évidence d'une discordance qui a posé un problème : peut-on parler de communication entre la seiche et le substrat sur lequel elle se trouve, comme le font certains manuels (Godet & Ferguson, 1987), ou faut-il un échange de stimulus qui modifie le comportement de deux êtres en présence (Montagner, 1975) ?

Une fois les notions assimilées, il faut rédiger des phrases, aussi fidèles que possible à la pensée des chercheurs, et qui recueillent l'assentiment de l'équipe, puis disposer sur une feuille, autrement que linéairement, ces étiquettes portant les phrases encadrées. Relier ces notions par des flèches symbolisant un lien particulier n'est pas le plus facile à faire, si on essaie d'explicitier la nature du lien.

Cet exercice d'écriture renvoie à nos lacunes, nos imprécisions, voire nos erreurs. La gestation d'une trame conceptuelle de ce type nécessite au moins deux à trois jours de travail de recherche et d'écriture en équipe, mais au dire de tous les collègues qui l'ont tenté, c'est un travail très intéressant intellectuellement, et très efficace, avant même d'envisager un enseignement quelconque. C'est une toile de fond qui apporte une sécurité confortable à l'enseignant, car cet outil lui permet de préciser son savoir et de toujours situer ce qu'il va faire ou ce qu'il a fait, par rapport à la construction du concept envisagé. La plus grosse difficulté rencontrée par les collègues est d'oublier, pendant ce travail, la classe, le cours, les élèves. Il leur est difficile de se centrer uniquement sur le savoir pour élaborer un outil de professeur, sans relier ce savoir à la pédagogie.

Certains enseignants, le plus souvent faute de formation initiale dans la discipline, réclament des trames déjà élaborées. Beaucoup ont été construites au cours des stages MAFPEN, mais peu ont fait l'objet de publications, en dehors de celles produites par l'INRP et présentes dans les rapports de recherche, ou dans *Aster* (1985, 1986). Il faut noter que l'appropriation directe de ces trames est difficile, mais qu'une réécriture personnelle, facilitée par les rédactions précédentes, résout le problème. En stage, cette réécriture suit une lecture et une discussion en groupe à propos de trames déjà écrites. Elle consiste alors à modifier des mots, des phrases, des liens entre les notions, voire même la structure de la trame, si le groupe est en désaccord avec une rédaction précédente.

Si ces trames, dites parfois "de savoir savant", ne sont pas rédigées par tous, il en est d'autres, auxquelles chaque professeur est confronté : ce sont les trames conceptuelles dites de niveau, qui ne vont concerner que les notions à enseigner à un niveau d'enseignement fixé. Elles permettront d'atteindre le second objectif assigné aux trames conceptuelles par J.-P. Astolfi.

“Prévoir de façon raisonnée une progression pédagogique”

Si nous reprenons l'exemple du concept de digestion, étudié en 1991, ce concept était abordé à quatre niveaux différents : au CM2 (dernière année de l'enseignement primaire), en 6^e et 3^e (première et quatrième année de collège), et au lycée en classe de 1^{re} S. Cette situation amène à envisager le problème de la construction verticale du concept, du primaire au lycée. Comment se fait cette construction ? Se sert-on d'un zoom de plus en plus puissant, ou entre-t-on dans le concept par différentes portes ? C'est pour essayer de répondre à ces questions que j'ai écrit une trame par niveau d'enseignement, proposant une définition, les notions à faire construire et les liens entre ces notions. C'est le programme officiel qui est le point de départ de ce travail.

Examinons celui de la classe de 3^e, dernière année du collège : *“La digestion : étude expérimentale d'une digestion ; rôle des enzymes digestives ; étapes de la transformation chimique des aliments ; l'absorption intestinale et la circulation des nutriments.”*

On comprendra qu'ici la digestion est vue comme une simplification moléculaire. La lecture des programmes m'a conduit, avec une part d'interprétation, à proposer les définitions suivantes :

- en CM2, la digestion est la modification de l'état des aliments dans le tube digestif (couleur, odeur, consistance, taille),
- en 6^e, la digestion est une solubilisation des aliments tout au long du tube digestif,
- en 3^e, la digestion est une simplification moléculaire,
- en 1^{re} S, la digestion est une catalyse enzymatique qui hydrolyse les grosses molécules.

L'enseignement primaire aborde le concept au niveau macroscopique, niveau abordable par des enfants de dix ans. Il peut être mis en relation avec des activités possibles à l'école primaire, comme la dissection d'un lapin, d'une poule ou d'un poisson, permettant aux élèves de suivre les transformations de l'herbe mangée jusqu'aux crottes rejetées. Il tient compte du fait qu'aucune connaissance chimique n'est prévue par les programmes. Chaque définition, bien qu'incomplète, ne doit pas faire obstacle au niveau suivant, et peut même le préparer. La solubilisation des aliments, prévue l'année d'après, expliquera la disparition apparente du tube digestif d'une grande partie de la nourriture liquéfiée, et permettra de relier le concept d'alimentation à celui de croissance.

Pour construire chacune de ces définitions, certaines notions devront être établies et reliées. Ce sera l'objectif des trames conceptuelles de niveau (voir figure 2). Ces trames, beaucoup plus réduites en surface que les précédentes, vont préciser, avant la préparation du cours, et quel que soit le modèle pédagogique choisi, le contenu de la séquence.

De plus, elles semblent être des outils tout à fait indispensables avant de rechercher les représentations des élèves, puisqu'elles précisent les notions qui feront l'objet des apprentissages ; elles permettent de centrer la recherche des conceptions, et d'éviter des recueils un peu trop approximatifs et difficilement utilisables ensuite dans l'élaboration de la séquence.

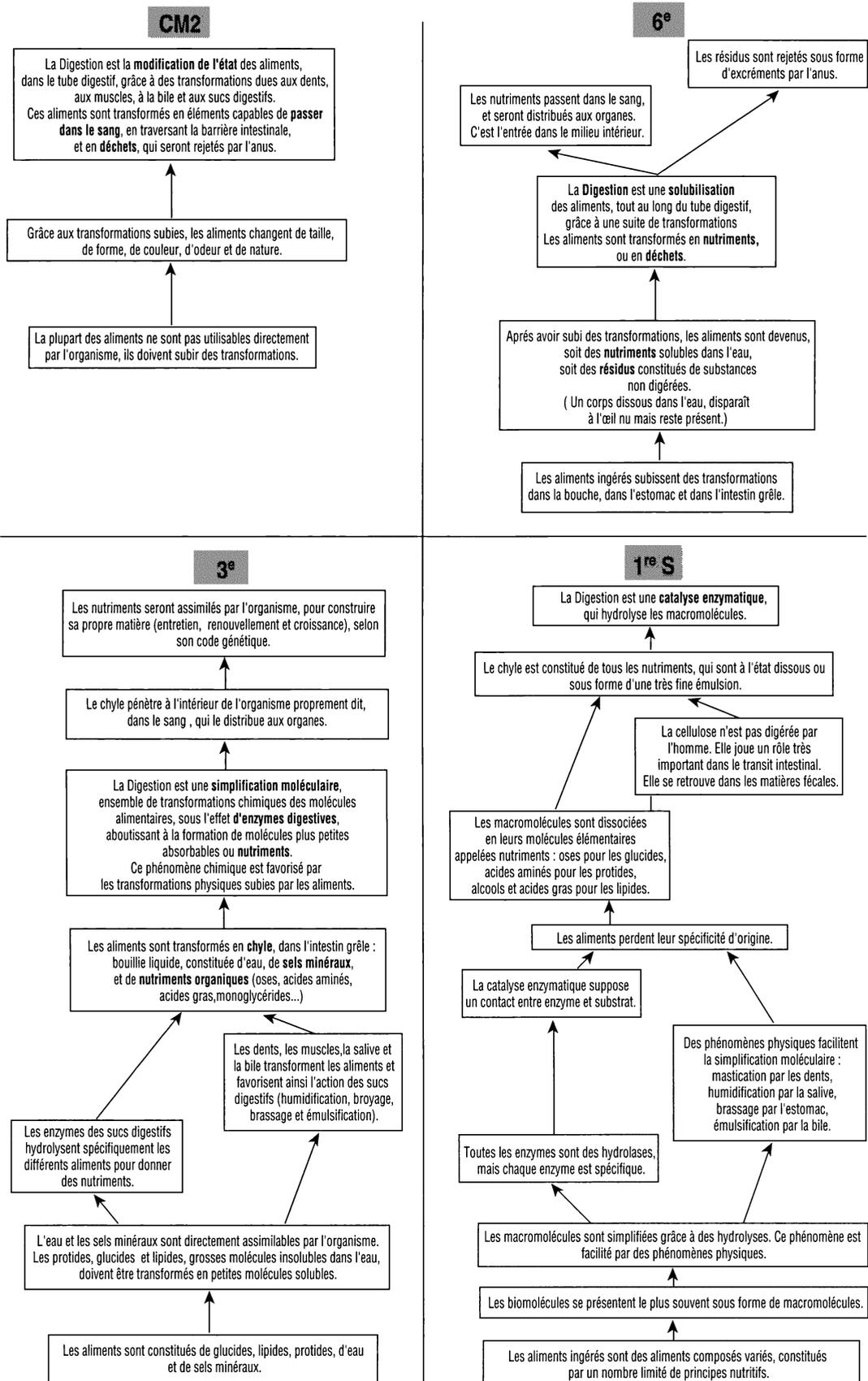


Figure 2 : Trames conceptuelles de niveaux CM2, 6^e, 3^e, et 1^{re} S, relatives à la digestion

Des trames de ce type ont été construites au cours d'un stage MAF-PEN, en novembre 1993. Ce stage, intitulé "Construction verticale d'un concept", réunissait des professeurs d'école, de collège et de lycée. Ces collègues ont élaboré des trames conceptuelles de niveau concernant la nutrition des plantes vertes, concept que l'on aborde sept fois au cours du cursus scolaire. Il nous a semblé intéressant d'écrire des niveaux de formulation du concept aux différents cycles de l'école primaire, au collège et au lycée, puis d'élaborer des trames conceptuelles regroupant les notions à construire à chaque niveau d'enseignement.

On pourra trouver d'autres trames, concernant la communication nerveuse, la communication animale ou la sédimentation, dans une publication du CRDP et de la MAFPEN de Dijon (1994), présentant les résultats des travaux de trois groupes "Innovation-Recherche". Ces groupes d'enseignants de collège et de lycée, ayant suivi des stages de didactique de la biologie, ont construit des séquences centrées sur un obstacle choisi par eux. Pour ce faire, ils ont utilisé les outils proposés pendant les stages de didactique, en particulier le recueil de représentations et les trames conceptuelles.

"Concevoir des moments de structuration", troisième objectif des trames conceptuelles, a été envisagé au cours de la recherche "Procédures d'apprentissage", par le groupe animé par A. Vérin et J.-P. Astolfi (Aster, 1985) ; il est sans doute, à ma connaissance, le moins travaillé actuellement. L'idée de "trames-bilans" était pourtant intéressante, comme le rapport de recherche le précise : *"ce dernier cas de figure présente un caractère assez largement reconstruit avec les élèves et vise à un effort de synthèse de l'acquis..."*

Ces trames-bilans permettent de retracer le cheminement collectif d'une classe, et des mises en relation possibles, par les élèves, entre les différentes notions rencontrées au cours de l'apprentissage. D'autres trames-bilans seront peut-être élaborées au cours de la recherche INRP actuelle ayant permis de construire des séquences, en biologie et en physique-chimie, centrées sur un obstacle, et de réunir de nombreuses traces des séquences expérimentées, vidéos, enregistrements au magnétophone, brouillons et cahiers d'élèves, évaluations...

Il apparaît donc qu'il existe plusieurs types de trames correspondant à des fonctions différentes, et à des situations diverses d'élaboration. Les trames dites de savoir savant sont plutôt établies par des didacticiens et des enseignants associés à une recherche. Elles sont cependant vécues comme un défi relevé par certains stagiaires au cours de stages MAFPEN. Les trames dites de niveau apparaissent vite comme indispensables à tout enseignant qui les découvre. La construction de ces trames est moins insécurisante que les précédentes, car les programmes et les manuels semblent offrir beaucoup de ressources. Le troisième type de trame est encore peu utilisé en classe, peut-être parce que le moment de structuration des apprentissages est celui qui est le plus escamoté dans notre enseignement, comme le montre la recherche INRP portant sur l'articulation 3^e/2^{de}, c'est-à-dire entre la dernière année de collège et la première année de lycée (Colomb, 1993). Quant aux trames-bilans établies par des enseignants qui analysent une séquence effectuée, elles nécessitent un cadre de recherche et la récolte d'un corpus de documents permettant ce travail.

EN CONCLUSION

Ce type d'outil s'avère précieux pour la formation en didactique des enseignants de biologie-géologie, tant pour les aider à préparer leurs cours, se remémorer et clarifier leurs connaissances, que pour gérer la progression pédagogique, pendant la séquence, l'année ou le cursus.

Pendant beaucoup de difficultés restent à surmonter, pour faciliter l'élaboration des trames conceptuelles. Il faut apporter des réponses aux questions suivantes.

Où chercher le savoir savant, c'est-à-dire la définition d'un concept, les notions qui le constituent et le réseau dans lequel il s'insère ?

Il s'avère que le travail varie beaucoup d'un concept à l'autre. Lors de l'élaboration de la trame concernant l'immunologie, ce sont des articles de chercheurs, des thèses et des cours actuels d'université qui ont été consultés, vu l'évolution très rapide des découvertes dans ce domaine et la peur qu'ont les enseignants de ne pas être au courant des dernières découvertes. La même attitude a été constatée en géologie à propos de la tectonique des plaques. Pour les concepts qui semblent plus établis, l'actualité brûlante est moins recherchée.

Où chercher le savoir à enseigner ?

Théoriquement il est précisé dans les programmes et les compléments, mais bien souvent ces renseignements sont insuffisants et il peut être utile de consulter les rapports de jurys de concours, les publications des CRDP (Centre Régional de Documentation Pédagogique) et les conseils donnés par l'inspection. Il faut noter que les manuels interprètent les programmes, certains les dépassant largement, d'autres pouvant rester en-deçà.

Comment écrire les énoncés, collectivement ?

Passer d'un mot à une phrase acceptée par tous les collègues, telle est la tâche qui demande beaucoup de discussions, de consultations de publications et d'avis de plusieurs personnes. Elle exige une très bonne connaissance de la matière et de la langue à la fois, le même mot pouvant recouvrir des idées différentes selon les auteurs, ou la même notion être exprimée à l'aide de mots différents.

Comment débiter le travail ?

Part-on de la définition, posée en haut de la page, en essayant de trouver les notions indispensables à cette formulation, et ouvre-t-on un éventail à chaque notion, pour préciser son contenu ?

Pose-t-on, sur la feuille, toutes les phrases, écrites chacune sur une vignette indépendante, et en partant de l'une d'elle, par tâtonnement et à l'aide de réajustements entraînés par la confrontation entre pairs, élabore-t-on une construction logique ?

Commence-t-on par noter le réseau de concepts et par préciser les limites de chacun ?

Décide-t-on d'abord de hiérarchiser les notions ?

Chaque groupe adopte une stratégie propre, et il n'est pas de voie royale.

Comment situer spatialement les différentes notions et préciser les liens qui les unissent ?

C'est sans doute là que les enseignants rencontrent le plus de difficultés, car il s'agit de situer les notions les unes par rapport aux autres, donc de proposer une logique de savoir, en précisant le type de lien qui unit ces différentes phrases. Est-ce un lien d'implication, d'alternance, d'explicitation, d'appartenance... ?

Les ciseaux et la colle sont les alliés les plus précieux de toutes les tentatives pour situer les phrases sur la feuille de papier. Les premiers essais placent intuitivement les notions les unes par rapport aux autres, et la discussion sur la nature du lien entraîne souvent de nombreux déplacements pour tester différentes solutions de proximité. On peut noter que la signification des flèches, utilisées dans les schémas de synthèse qui terminent les cours de biologie, pose le même type de problème. C'est actuellement le sujet de recherche d'une équipe de biologistes de l'IUFM de Bourgogne, enseignant de la maternelle à l'université. La structuration du savoir présenté dans les trames conceptuelles prévisionnelles n'implique pas une chronologie pédagogique. Le savoir ainsi décortiqué permet différentes entrées, pédagogiquement parlant, et plusieurs cheminements possibles.

BIBLIOGRAPHIE

ASTER (Équipe de recherche) (1985). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Paris, INRP.

ASTER N° 2 (1986). *Éclairages sur l'énergie*. Paris, INRP.

ASTER N° 3 (1986). *Explorons l'écosystème*. Paris, INRP.

ASTOLFI J.-P. & DEVELAY M. (1989). *La didactique des sciences*. Que sais je ? n° 2448. Paris, PUF.

ASTOLFI J.-P., DAROT É., GINSBURGER-VOGEL Y. & TOUSSAINT J. (à paraître). *Guide du formateur en didactique des sciences*. Bruxelles, De Boeck.

CANGUILHEM G. (1955). *La formation du concept de réflexe au XVII^e et au XVIII^e siècles*. Paris, Vrin.

COLOMB J. (dir.) (1993). *Les enseignements en Troisième et Seconde : ruptures et continuités*. Paris, INRP.

GIORDAN A. (coord) (1987). *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*, 2^e édition. Berne, Peter Lang.

GODET G. & FERGUSON J. (1987). *Sciences et techniques biologiques 5^e*. Istra. Paris, Éditions Casteilla.

JACOB F. (1970). *La logique du vivant*. Paris, Gallimard.

MAFPEN de Dijon (1994). *Biologie-Géologie : séquences centrées sur un obstacle*. CRDP de Bourgogne.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1985). *Compléments aux programmes et instructions du 15 mai 1985*. Paris, Ministère de l'Éducation nationale, Direction des écoles.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (Réimpression 1991). *Sciences et techniques biologiques et géologiques. Classes des collèges, 6^e, 5^e, 4^e, 3^e*. Paris, Ministère de l'Éducation nationale, Direction des lycées et collèges.

MONTAGNER H. (1975). *Éléments de biologie du comportement*. CRDP de Besançon.

RUMELHARD G. (1983). *Isomère, isostère*. Document interne. Paris, INRP.

RUMELHARD G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berne, Peter Lang.

SAUVAGEOT-SKIBINE M. (1991). *Problèmes posés par l'enseignement des concepts d'alimentation et de nutrition au collège. Obstacles à la construction du concept de digestion au collège*. Thèse, Université Paris VII.



Les représentations spatiales des concepts associés à l'énergie comme outil de formation des enseignants

**Application à l'analyse du nouveau programme
de physique des classes de première
de série scientifique**

**Catherine BRUGUIÈRE, André SIVADE,
Danièle CROS**

Université Montpellier II

ERES - LRDS

Place Eugène Bataillon

Case 039

34095 Montpellier cedex 05, France.

Résumé

Les nouveaux programmes scientifiques en classe de première de série scientifique sont organisés autour du thème de l'énergie. Ce thème transdisciplinaire et à caractère polysémique nécessite d'établir une "base langagière commune" entre les enseignants concernés. Nous présentons ici, sous forme de cartes conceptuelles, les résultats d'une analyse sémantique et conceptuelle, centrée sur le programme de physique. Ce type de représentation permet de visualiser les concepts structurant le savoir énergie et leurs interrelations. Elle devrait aider les enseignants à percevoir les changements dans les approches du programme mais aussi les voies de passage au trans-

disciplinaire et à la composante Environnement. Ce travail nous semble offrir une base de réflexion indispensable à la mise en œuvre d'actions de formation destinées à des enseignants issus de différentes disciplines.

Mots clés : *cartes conceptuelles, didactique, énergie, programme, transdisciplinaire.*

Abstract

New scientific curricula in secondary school (for 16 to 17 year old students) are focused on themes in energy. The teachers concerned by these transdisciplinary and polysemic themes need a "common language". In this way, we propose concept maps elaborated from a semantic and conceptual study of physics' curriculum. This representation permits a visualisation of the organisation of energy' s contents around structuring concepts and their relations. It would be helpful for teachers to perceive not only the changes of curriculum in this approach but also the transdisciplinary and environmental aspects of energy. We think that this work can be helpful in training teachers from different disciplines.

Key words : *concept maps, didactics, energy, curriculum, transdisciplinary.*

Resumen

Los nuevos programas científicos en clase de primero de la serie científica están organizados alrededor del tema de energía. Este tema transdisciplinario y de carácter polisémico necesita establecer una "base lingüística común" entre los enseñantes concernidos en este.

Nosotros presentamos aquí, bajo la forma de mapas conceptuales, los resultados de un análisis semántico y conceptual, centrado en el programa de física. Este tipo de representación permite visualizar los conceptos que estructuran "Energía" y sus interrelaciones. Ella debería ayudar a los profesores a percibir no solamente los cambios en la manera de enfocar los programas sino también el paso a lo transdisciplinario y el medio. Así como también puede ofrecer una base de reflexión indispensable en la ejecución de acciones destinadas a la formación de profesores de diferentes disciplinas.

Palabras claves : *mapas conceptuales, didáctica, energía, programa, transdisciplinario.*

Nombreuses sont les difficultés que les enseignants rencontrent dans la transmission de concepts scientifiques clés tels que l'eau, la matière ou l'énergie. Utilisés dans des champs conceptuels très diversifiés, ces termes sont saturés de significations multiples qui se superposent, s'entrecroisent, renvoient les unes aux autres et entre lesquelles le glissement est constant.

Par conséquent, face à cette complexité un besoin de lisibilité s'impose. Les représentations spatiales nous semblent pouvoir répondre à cette fonction. C'est ici au travers du thème de l'énergie que nous nous proposons de démontrer l'intérêt de cet outil de formation (1^{re} partie) et d'en vérifier les potentialités (2^e partie).

1. L'INTÉRÊT D'UN OUTIL DE FORMATION POUR L'APPRÉHENSION DU CONCEPT D'ÉNERGIE

L'intérêt d'un outil de formation pour l'appréhension du concept d'énergie se vérifie dès lors que l'on prend conscience d'une part que le langage est un vecteur prépondérant des savoirs dans l'enseignement (1.1) et d'autre part, que l'énergie est un concept pluridisciplinaire et polysémique (1.2).

1.1. Le langage : vecteur prépondérant du savoir dans l'enseignement

La modélisation de la situation d'enseignement s'ordonne autour de trois pôles en interaction : élève, enseignant, savoir (ici, le savoir énergie), formant le triangle didactique (Develay, 1989), et où la connaissance scientifique est communément véhiculée par le langage. Ainsi, au niveau de la relation élève/enseignant, l'enseignement, assimilable à une activité de communication (dès lors du moins que l'élève comprend ce que le maître a voulu dire), nécessite de la part de l'enseignant de connaître les différents registres de formulation du concept accessibles à l'élève, afin de l'aider à atteindre les niveaux de conceptualisation fixés à travers les objectifs pédagogiques.

C'est aussi au niveau des relations entre les enseignants des disciplines concernées par l'enseignement d'un concept clé tel que celui de l'énergie qu'une "base langagière commune", prenant en compte les spécificités sémantiques et conceptuelles de chaque discipline, doit être définie. Et ce tout en sachant que les mots peuvent représenter un frein majeur à cette communication, idée que Bachelard désignait par *obstacle verbal*, en soulignant : *"À une même époque, sous un même mot il y a des concepts si différents ! Ce qui nous trompe c'est que le mot à la fois désigne et explique. La désignation est la même ; l'explication est différente."* (Bachelard, 1989)

1.2. L'énergie : concept polysémique et pluridisciplinaire

Le terme énergie présente un caractère polysémique (connu de tous, chacun pourtant lui attribue un sens différent) et "fourre-tout" (tout n'est-il pas énergie ?...).

Pluridisciplinaire, le terme énergie renvoie à différents réseaux conceptuels interdépendants. Structuré principalement, au niveau de l'enseignement

secondaire, autour de la mécanique et de l'électricité en physique, autour de la réaction et de l'équilibre en chimie, le concept sera rattaché au métabolisme et à la photosynthèse en biologie. Parallèlement à ces champs de référence diversifiés, le concept d'énergie est introduit et enseigné dans sa forme la plus abstraite et la plus formalisée en sciences physiques, pendant que d'autres disciplines l'utilisent sous des formes plus concrètes et moins formalisées. Dans une thématique énergie-environnement, nous nous efforcerons de nous référer au savoir énergie dans sa globalité, ce qui oblige un passage du pluridisciplinaire au transdisciplinaire, en s'appuyant sur les interactions entre les réseaux conceptuels disciplinaires, mis en valeur à l'aide de représentations graphiques.

2. LES REPRÉSENTATIONS SPATIALES DES CONCEPTS ASSOCIÉS À ÉNERGIE COMME OUTIL D'APPRÉHENSION DU SAVOIR ÉNERGIE

2.1. Objet d'étude

Afin de mener notre analyse, nous avons choisi de commencer par une réflexion sémantique et conceptuelle sur le savoir énergie (au niveau du secondaire), basée sur l'étude des mots ou groupes de mots porteurs de sens que les élèves (Bruguière, 1993), les enseignants et les programmes scolaires utilisent quand ils "parlent d'énergie", puis par la suite de mettre en forme cette étude au travers de représentations graphiques et plus particulièrement de cartes conceptuelles (Matthews et al., 1984). Ces cartes devraient, selon nous, permettre de visualiser les réseaux conceptuels (Langlois et al., 1994) organisés autour de concepts et de relations.

Cet exercice peut être rapproché de celui de l'épistémologue décrit par Bachelard : *"L'épistémologue doit s'efforcer de saisir des concepts scientifiques en établissant, à propos de chaque notion, une échelle de concepts, en montrant comment un concept en produit un autre, s'est lié avec un autre."* (Bachelard, 1989)

Nous limitons notre analyse au nouveau programme de physique de classe de première de série scientifique, où l'énergie est proposée comme thème conducteur facilitant un ancrage sur le quotidien de l'enseignement. L'objet de notre article est de montrer que l'usage de représentations graphiques peut conduire, dans la formation des enseignants, à une nouvelle approche du savoir, du fait d'une mise en forme à différents niveaux d'organisation des mots structurant les éléments du programme relatifs au savoir énergie, ainsi qu'à une meilleure perception des changements de programme.

Pour mener à bien cette étude nous avons opté pour un traitement lexicométrique.

2.2. Résultats

Les cinq représentations graphiques que nous proposons ici sont construites à partir du savoir énergie issu du programme de physique des classes de première de série scientifique et portent successivement sur :

- l'ordonnement et l'évolution de ce savoir énergie,
- les mots clés le structurant,
- les relations entre les mots clés et leur réseau implicite,
- la combinaison de ces réseaux conceptuels,
- les interrelations de cette combinaison de réseaux avec des réseaux conceptuels périphériques (associés à environnement et aux savoirs énergie des programmes des autres disciplines).

2.2.1. L'ordonnement et l'évolution du savoir énergie dans les programmes de physique

La première carte présentée (figure 1) repose sur un corpus composé uniquement des titres des différentes parties composant les trois programmes de physique qui se sont succédé depuis 1982 : le programme 1982 (B.O., 1982), le programme 1988 (B.O., 1988) et le programme 1992 (B.O., 1992).

Si en 1982, différents aspects de l'énergie se dégagent explicitement dans les titres des cinq parties rassemblées sous le terme générique "énergie et champs", en 1988, l'enseignement de l'énergie est traité en deux parties, "énergie mécanique et chaleur" et "électricité", non explicitement reliées.

Pour le programme 1992, il apparaît un niveau supplémentaire d'organisation composé de trois parties : "bilans énergétiques", "conservation de l'énergie" et "mouvements", toutes les trois rassemblées sous le terme générique "mouvements et énergie". Ici, la partie "conservation de l'énergie" sert de moteur à l'enseignement du concept d'énergie, alors que dans les programmes antérieurs (1982 et 1988), le principe de conservation de l'énergie était déduit de l'enseignement des parties "énergie mécanique" (pour 1982) ou "énergie mécanique et chaleur" (pour 1988). Cette partie "conservation de l'énergie" permet de poser en introduction un nouveau modèle explicatif, celui des "chaînes énergétiques", qui doit "régir toutes les analyses énergétiques qui seront envisagées par la suite, en physique".

Ce type de représentation sous forme d'organigramme rend plus concrète l'évolution du programme. Elle met en relief les changements fondamentaux exprimés par le choix des intitulés, l'ordre des parties ou encore leur structuration.

2.2.2. Les mots clés structurant le savoir énergie

La deuxième représentation spatiale (figure 2) est construite à partir du corpus composé de l'ensemble des formes lexicales issues des rubriques "contenus" et "objectifs cognitifs" (qui ne comprend pas les "commentaires") du programme de physique 1992. L'établissement de la liste de tous les

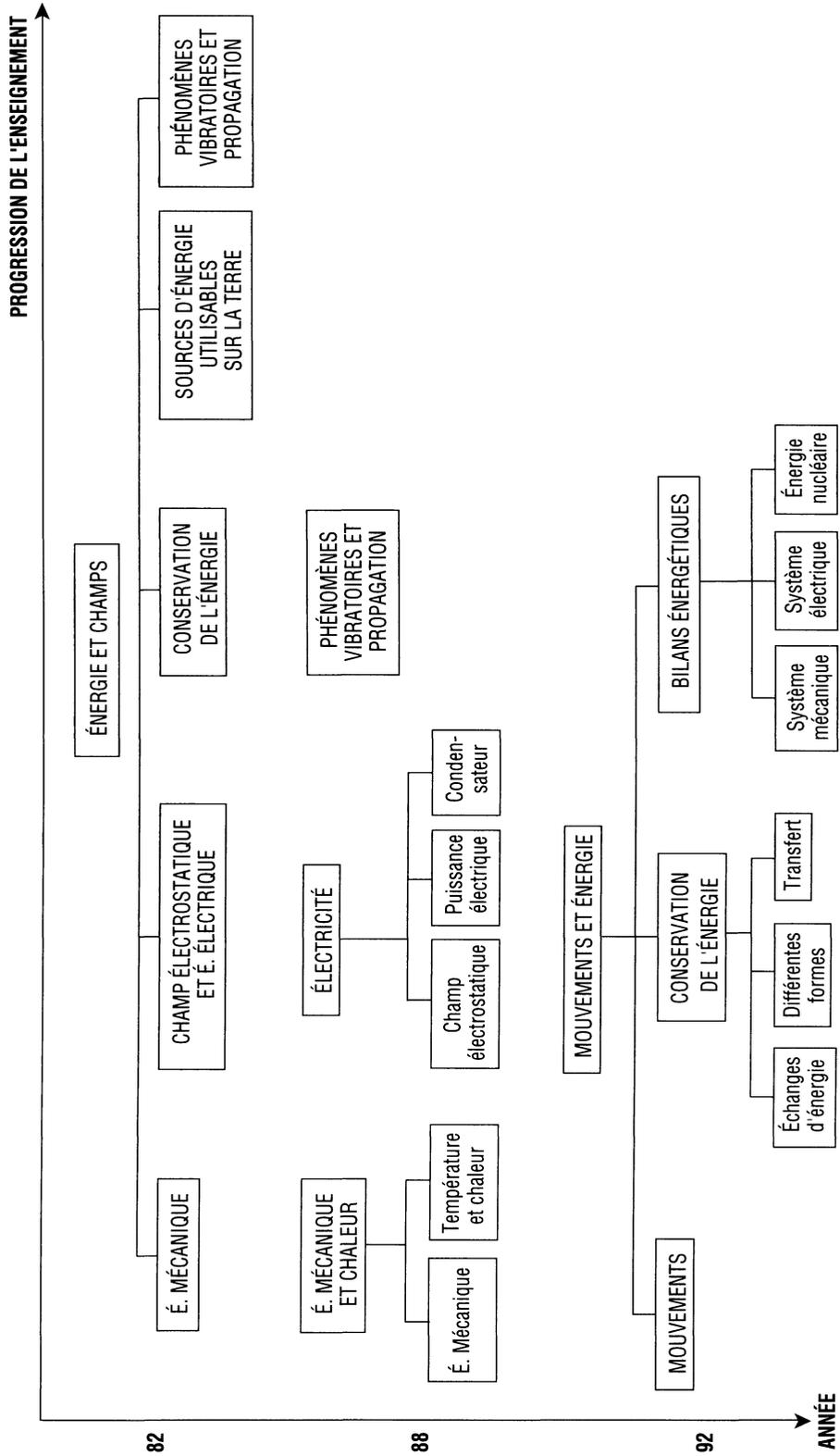


Figure 1 : Évolution de la structure des programmes de physique de 1982 à 1992 (classe de première de série scientifique)

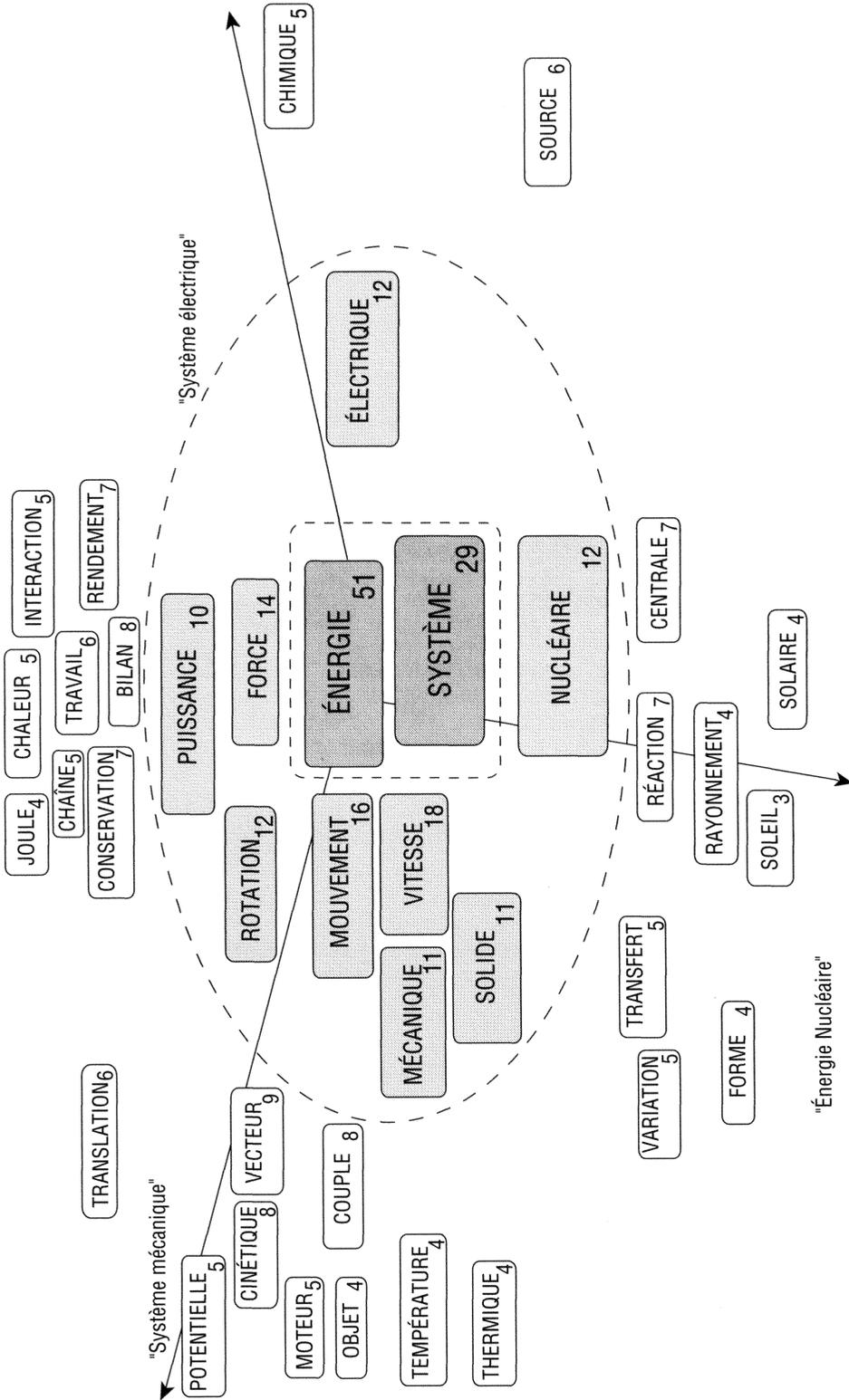


Figure 2 : Les mots clés structurant l'énoncé du programme 1992. Carte "fréquence de citation"

termes, appelée *index*, a pu être obtenu à l'aide du logiciel de traitement lexical *Lexicométrie* (édité par Cédic-Nathan).

Nous n'avons retenu que les formes lexicales, c'est-à-dire celles qui valent par leur signification, par opposition aux formes fonctionnelles qui valent plus par leur fonction grammaticale. Parmi ces formes lexicales, nous avons éliminé les formes qui expriment des aspects méthodologiques telles que *analyser* ou encore *définir*. Ce traitement, qui peut sembler réducteur pour les linguistes, s'avère, comme le souligne D. Jacobi (Jacobi, 1987), remarquablement efficace pour étudier les discours destinés à diffuser les savoirs. Il est à noter que nous avons regroupé sous une même forme les différentes entrées dictionnaire d'un même terme.

À partir de ces données, les cartes sont construites selon la méthode décrite par D. Jacobi et al., dans cette même revue. Sur cette deuxième carte (figure 2), les concepts pertinents (identifiés à travers les mots) ont été isolés et positionnés selon un critère *n* de fréquence de citations (qui correspond au nombre total de fois que le mot a été rencontré) et selon un critère thématique.

Le premier critère permet de placer les concepts pertinents sous une forme autocentrée : plus un mot est cité, plus il est placé près du centre de la carte. Prenons par exemple (figure 2) les mots *énergie* et *système* cités respectivement 51 et 29 fois : ils sont plus près du centre qu'un mot comme *rayonnement* cité 4 fois. Différents "niveaux d'isofréquence", par analogie aux courbes de niveau utilisées en géologie, peuvent être alors considérés.

Le deuxième critère de positionnement dans le plan repose sur l'appartenance à l'une des trois parties du programme ("système mécanique", "système électrique", "énergie nucléaire"). Ainsi, des mots comme *vitesse* et *moteur* apparaissent dans le même domaine appelé "système mécanique". Les mots cités dans deux parties du programme (comme *travail* ou *force*) sont placés aux intersections des domaines concernés, tout comme un certain nombre d'autres mots dits *concepts charnières* qui correspondent aux concepts introduisant le modèle des "chaînes énergétiques", tels que *transfert* ou *bilan*... apportés par la partie "conservation de l'énergie".

Cette organisation plane met alors en évidence que conjointement au réseau conceptuel lié à énergie, est mis en place celui d'une approche systémique dans laquelle le modèle des "chaînes énergétiques" prend tout son sens.

2.2.3. Les relations entre les mots clés et leur réseau implicite

Dans la troisième représentation graphique (figure 3), le corpus d'étude est le même que celui utilisé précédemment. Mais si le critère thématique est conservé, le critère de fréquence de citations est remplacé par un critère de fréquence de liaisons (deux mots sont considérés comme liés lorsqu'ils sont placés dans la même phrase). De la même façon, nous plaçons les mots selon un gradient de fréquence de liaisons décroissante (plus un mot est relié à un autre mot, plus il est placé près du centre). Nous mettons en évidence ici que les mots les plus reliés (en grisé sur la figure), sont les termes apportés par la

partie "conservation de l'énergie". Par souci de lisibilité, seuls les mots cités dans la partie "énergie nucléaire", partie nouvelle du programme et ouvrant sur des questions d'environnement, ont été portés sur la figure.

Il apparaît que la transition conceptuelle entre la partie "conservation de l'énergie" et la sous-partie "énergie nucléaire" s'effectue à travers le terme commun *réaction nucléaire* qui joue ainsi un rôle de "terme-pivot" entre ces deux parties. La mise en relief de termes-pivots est essentielle dans l'enseignement. À travers eux, les enseignants peuvent faire ressortir les différents niveaux de relations entre les chapitres d'un cours et aider leurs élèves à ne pas appréhender l'enseignement comme une série de tiroirs indépendants.

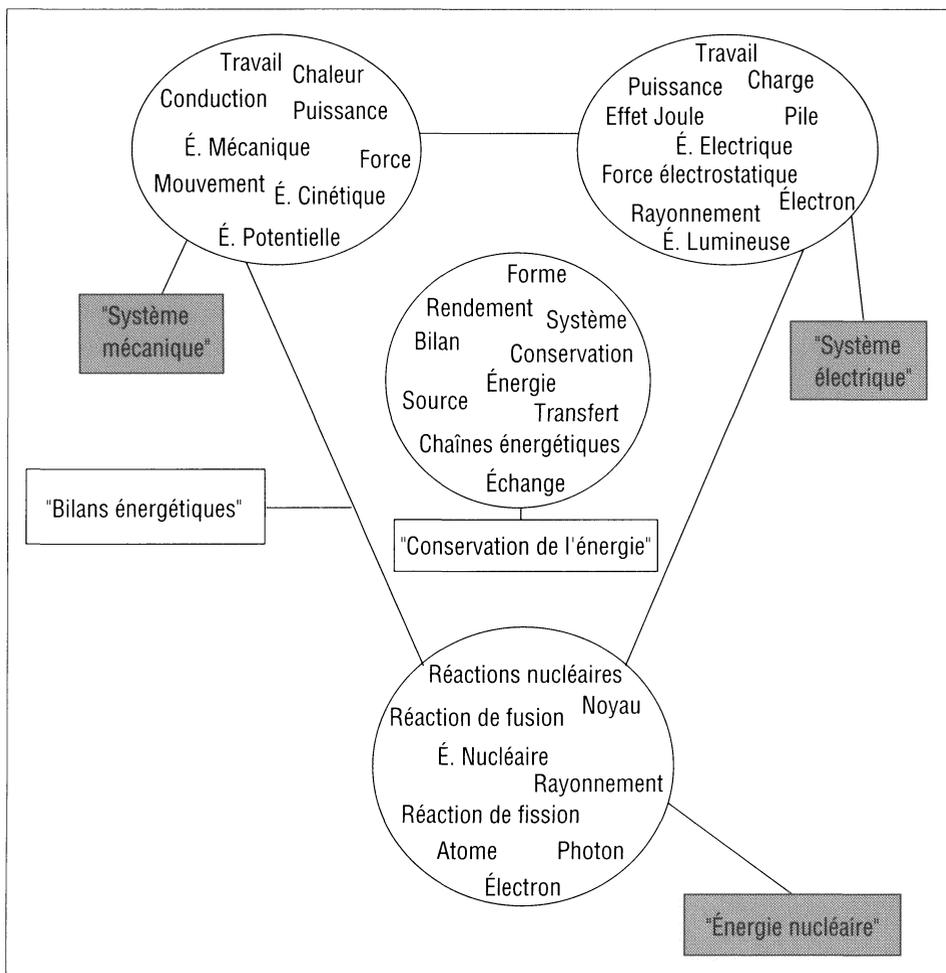


Figure 4 : La combinaison des réseaux conceptuels dans le programme de physique 1992

2.2.4. La combinaison des réseaux conceptuels

La quatrième représentation spatiale (figure 4) propose une synthèse, combinant les différents réseaux conceptuels précédemment mis en évidence, où il apparaît que les parties "système mécanique", "système électrique" et "énergie nucléaire" se construisent par une première maîtrise des concepts introduits dans la partie "conservation de l'énergie".

Comme pour la figure 2, nous avons placé au centre de chaque ensemble les concepts les plus fréquemment cités, et à la périphérie les moins cités en prenant soin de mettre en vis-à-vis les termes communs à deux parties. Ces différentes parties constituent des sous-ensembles du savoir énergie, reliés entre eux, que les enseignants devront faire construire à leurs élèves.

2.2.5. Les interrelations avec les réseaux conceptuels périphériques

À partir de cette organisation du savoir énergie vu sous l'angle de la physique (figure 4), il nous a semblé intéressant de montrer dans la figure 5 comment des voies de passage peuvent se tisser avec les autres disciplines, mais aussi avec l'Environnement.

La voie de passage du disciplinaire au transdisciplinaire s'articule autour de la partie "conservation de l'énergie", avec des termes comme *bilan* ou *échange*, à caractère systémique, que l'on retrouve dans les programmes des autres disciplines scientifiques.

La voie de passage permettant d'aborder les questions relatives à l'environnement s'effectue à travers des mots comme *chaleur* ou *sécurité*, issus pour la plupart de la partie "énergie nucléaire".

CONCLUSION

Bien que ces différentes représentations spatiales de concepts ne seront testées qu'ultérieurement dans le cadre de la formation des enseignants, elles nous semblent présenter, de par leur forme, différents intérêts immédiats. Elles permettent, d'une part, de concrétiser et de synthétiser les multiples informations apportées par le nouveau programme en faisant apparaître sa nature et son organisation, favorisant ainsi son appréhension. Ainsi, les représentations spatiales des figures 2, 3 et 4, dont la construction suit un degré croissant d'intégration, mettent en valeur sa spécificité en distinguant explicitement le réseau conceptuel associé à énergie (qui n'est pas affecté par l'évolution des programmes), de celui associé à l'approche systémique (approche prônée par le nouveau programme qui s'exprime à travers les modèles des chaînes énergétiques), ainsi que les passerelles possibles entre les différentes parties du programme.

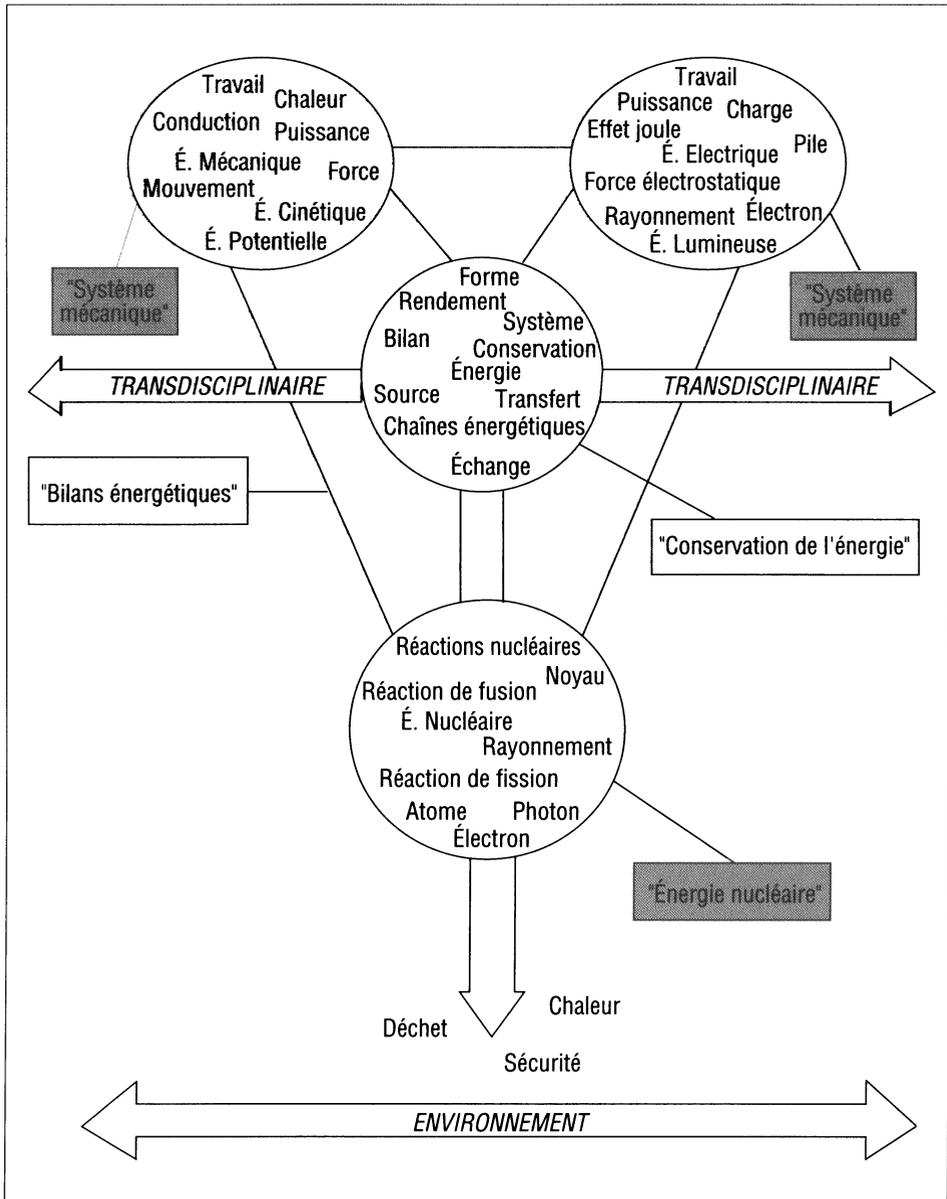


Figure 5 : Les interrelations avec les réseaux périphériques (réseau environnement, réseaux des autres disciplines)

Ces modes de représentations rendent plus lisible le programme conformément aux recommandations du *Nouveau contrat pour l'école* : "les programmes doivent être allégés et recentrés sur les savoirs essentiels et lisibles par tous" (article n° 3), "une version simplifiée des programmes devrait être communiquée aux élèves" (article n° 126).

D'autre part, dans le cadre de notre préoccupation de mise en place d'une base langagière commune, la représentation graphique de la figure 5 visualise comment le réseau conceptuel (associé au modèle des chaînes énergétiques) permet le passage à des réseaux conceptuels périphériques. Ainsi, il est plus aisé de relier "l'énergie" du physicien aux "savoirs énergie" des autres disciplines, mais aussi aux concepts ouvrant sur le thème environnement.

Outre les intérêts que ces modes de visualisation présentent dans le cadre de la formation d'enseignants, ils peuvent aussi être des outils intéressants pour le chercheur. Les mots utilisés par les élèves ou encore par les enseignants quand ils "parlent" d'énergie peuvent être représentés de la même façon, ce qui permet d'effectuer différentes comparaisons : comparaison du champ lexical couvert par des enseignants à celui des programmes, comparaison des champs lexicaux liés à un même concept dans des programmes différents, comparaison des "savoirs en miettes" à un savoir structuré... Ainsi l'usage de représentations graphiques de concepts scientifiques permettrait à la fois de recentrer l'enseignement sur les savoirs essentiels, mais aussi de visualiser les interactions entre concepts, favorisant une approche systémique du savoir énergie.

BIBLIOGRAPHIE

ALPE Y., KÉRIGNARD Y., LEGARDEZ A. & VERGES P. (1993). Outils pour analyser des représentations : le cas "Guillestre". *Cahiers pédagogiques*, n° 312, pp. 49-51.

AUDIGIER F. (1985). *Enseignement de l'énergie*. Rapport de recherche, n° 7. Paris, INRP.

BACHELARD G. (1989). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin.

BRUGUIÈRE C. (en cours). *Énergie-Environnement, thème transdisciplinaire ou de la nécessité d'un langage commun*. Thèse en cours, Montpellier II, ERES-LRDS.

BRUGUIÈRE C. (1993). *Les représentations associées à Énergie chez les élèves du secondaire*. Document interne. Rapport ADEME, n° 1. Montpellier II, ERES-LRDS.

BULLETIN OFFICIEL (1982). N° Spécial 3, du 22 avril 1982, pp. 68-69. Paris, Ministère de l'Éducation nationale.

BULLETIN OFFICIEL (1988). N° 21, du 2 juin 1988, pp. 55-72. Paris, Ministère de l'Éducation nationale.

BULLETIN OFFICIEL (1992). Hors-série du 24 septembre 1992, tome II, pp. 25-102. Paris, Ministère de l'Éducation nationale.

CHEVALLARD Y. (1991). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, La Pensée Sauvage.

DE ROSNAY J. (1975). *Le microscope*. Paris, Seuil.

DEVELAY M. (1989). La transposition didactique en sciences biologiques. In G. Arsac, M. Develay & A. Tiberghien (Eds), *La transposition didactique en mathématiques, en physique, en biologie*. Lyon, IREM et LIRDIS, pp. 59-93.

JACOBI D. (1987). *Textes et images de la vulgarisation scientifique*. Berne, Peter Lang.

LANGLOIS F., RAULIN P. & CHASTRETTE M. (1994). Une activité pour les modules : la construction de cartes conceptuelles. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, vol. 88, n° 760, pp. 69-83.

LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris, Hachette.

MATTHEWS G.P., BROOK V.G. & KHAN-GANDAPUR T.H. (1984). Cognitive structure determination as a tool in science teaching. Part 1 : A new method of creating concept maps. *International Journal of Science Education*, vol. 6, n° 2, pp. 169-177.

MOREAU M.-L. & RICHELLE M. (1990). *L'acquisition du langage*. Bruxelles, Pierre Mardaga.

SIVADE A., CROS D. & BEGEL M. (1993). Technique d'association de mots : utilisation de filtres - application aux images mentales liées à l'environnement. *Res Académica*, vol. 11, n° 1, pp. 73-88.

TIBERGHIE A. (1989). Transposition didactique : cas de la physique. In G. Arsac, M. Develay & A. Tiberghien (Eds), *La transposition didactique en mathématiques, en physique, en biologie*. Lyon, IREM et LIRDIS, pp. 37-57.

TRELLU J.-L. & TOUSSAINT J. (1986). La conservation, un grand principe. *Aster*, n° 2, pp. 44-87.

Les cartes conceptuelles : outil cognitif, instrument de communication ou moyen de recherche ?

Philippe PRÉVOST et Daniel JACOBI

Un rapport préalable envoyé à l'avance aux participants, des contributions écrites de spécialistes de plusieurs disciplines et une journée entière à écouter les propositions et les opinions des uns et des autres, à les discuter de façon serrée... c'est une méthode de travail efficace que celle qui a été choisie pour cette journée de travail sur le *concept mapping*. Mais cette efficacité a aussi un coût : comment en garder une trace ? Il est évidemment impossible de transcrire des débats *in extenso*. Il est tout aussi difficile de tenter de les résumer ou de les synthétiser. Aussi, pour conclure ce dossier, nous soulignerons quelques-uns des points qui sont revenus de façon récurrente tout au long des débats.

LES REPRÉSENTATIONS D'UN CONCEPT

La spatialisation de concepts scientifiques au moyen d'outils comme les *cartes*, les *réseaux* ou les *trames* est trop répandue pour ne pas présenter de l'intérêt pour les nombreux chercheurs et praticiens qui les tracent, les publient ou les proposent à leurs interlocuteurs. Le simple bon sens suffit à admettre que, s'ils consacrent du temps et de l'énergie à cette tâche, c'est bien parce qu'elle leur semble correspondre à un moyen approprié pour atteindre une série de buts pour la recherche comme pour l'enseignement. Le fait de pouvoir résumer un processus complexe, le présenter sous une forme synoptique, ou aider à mémoriser une base de connaissances, ne sont pas des

résultats anodins. Par contre, on ne peut que s'interroger sur la capacité de ces représentations spatiales à parvenir, d'une part à représenter fidèlement des concepts à l'aide d'un système sémiotique nouveau, et d'autre part à conférer une réelle autonomie de lecture à ce système.

Toute connaissance du monde passe par une identification puis une représentation des choses et des phénomènes sous la forme de concepts. Mais toute représentation est confrontée aux limites du système sémiotique utilisé, qu'il soit langagier ou non langagier. Notre langue naturelle est bien entendu une première représentation symbolique du monde. La difficulté est double pour tout autre code sémiotique qui tente de symboliser les mêmes choses ou phénomènes : non seulement il doit inventer ses règles et une économie formelle efficiente (sa syntaxe) mais, en outre, il doit faire la preuve d'une capacité d'équivalence vis-à-vis de l'autre code qui l'a précédé. Les concepts ont d'abord une forme linguistique.

Depuis Platon au moins, nous tentons de les visualiser. La représentation d'un concept, qui prend en compte les propriétés distinctes du signifiant et du signifié, peut-elle satisfaire le besoin d'objectivité de la science pour rendre compte de la complexité du réel ? On sait que la situation ou le point de vue sous lequel on observe un objet influence beaucoup la représentation que l'on peut en faire. Tout le problème de la représentation conceptuelle repose ainsi sur les relations entre objet et système signifiant-signifié pour une classe de situations données.

Dans ces conditions, on peut estimer qu'il peut être préférable d'utiliser plusieurs systèmes sémiotiques pour représenter un concept, par exemple celui emprunté à la sémiologie graphique (au sens de Bertin). Du fait des différences, aussi bien dans le mode de découpage de la connaissance que dans la syntaxe, la conceptualisation peut être favorisée ainsi que la distinction entre le signifiant et le signifié. Pour qu'une telle synergie soit productive, ne serait-il pas nécessaire que les deux codes soient construits simultanément ? L'avantage de la langue est double de par son antériorité. Non seulement l'association mot-chose est bien rodée, mais il est établi que le lexique impose un certain découpage de la connaissance du monde.

D'autres problèmes peuvent surgir dans la conceptualisation lorsqu'on utilise plusieurs systèmes sémiotiques. Des signifiants différents peuvent engendrer des signifiés distincts pour un même référent. Lorsque par exemple Lulle utilise un cercle pour représenter Dieu, le mot Dieu et le symbole du cercle appartiennent à deux systèmes sémiotiques différents et le signifié dépend fortement du signifiant.

Le recours à des codes non linguistiques présente des particularités qui ne peuvent être ignorées. Le dessin analogique est un code très répandu. Mais il convient seulement aux référents qui sont directement perceptibles par la vue. Tous ceux qui correspondent à des procédures ou des processus exigent d'utiliser un autre système sémiotique comme la graphique, ou tout autre procédé qui risque de ne disposer que d'une syntaxe floue. Bien évidemment cette difficulté existe déjà dans un système homogène comme la langue où tous les mots ne sont pas équivalents. Mais elle est accrue dans les représentations graphiques. Par conséquent, si la sémiologie graphique ne s'astreint

pas à la contrainte de vériconditionnalité qu'exige la logique formelle, son utilisation dans la communication scientifique devient équivoque.

Le besoin de représenter des concepts sous une autre forme reste vif chez nombre de scientifiques. Beaucoup continuent de penser qu'une représentation surtout visuelle (par opposition à linguistique) favorise la communication, qu'elle est moins ambiguë que le langage, qu'elle évite le bavardage. Nombreux sont ceux qui tracent de telles représentations pour leur usage personnel. Ils ont parfois la tentation de les utiliser ensuite comme outil de communication. Mais il devient alors nécessaire de fixer, expliciter et maîtriser les règles de cette ébauche intermédiaire pour en faire un véritable message sémiotisé. Cette formalisation du fonctionnement du graphe, indispensable à sa scientificité, permettra ensuite d'en faire un instrument de communication.

La géographie a montré l'exemple en évoluant dans le sens de cette formalisation que le rapprochement avec l'informatique a renforcée. La cartographie a de tout temps superposé la graphique au dessin des contours et à la représentation des reliefs pour ajouter des concepts démographiques ou économiques. Mais elle a toujours pris la précaution d'associer aux cartes un méta-discours langagier : les légendes. La carte, pour être lue et interprétée, est associée à un énoncé linguistique extérieur qui empêche l'autonomisation spontanée du seul système graphique. Autonomie qui peut cependant advenir si le système est stable et le lecteur familiarisé avec ce dernier.

Dans un autre domaine, l'intelligence artificielle, qui a pour projet de saisir la complexité de l'intelligence humaine, a contourné la difficulté en instituant un système symbolique formel où la condition de vériconditionnalité est respectée : c'est ce qu'elle nomme les *réseaux sémantiques*. Le réseau sémantique résulte d'un calcul logique et de la spatialisation des concepts. Le réseau apporte un certain dynamisme en rompant avec la linéarité du discours, et une certaine simplification avec la vue d'ensemble qu'il autorise. Mais il tend à effacer la dimension temporelle qui caractérise toute action ou transformation.

L'UTILISATION DES REPRÉSENTATIONS SPATIALES EN DIDACTIQUE

L'inventaire et l'analyse des représentations spatiales de concepts scientifiques, telles qu'elles sont publiées dans les revues de didactique, soulèvent plusieurs questions quant à leur utilisation.

En premier lieu, il est nécessaire de s'interroger sur le statut que l'on peut donner à ces représentations. Dans certaines publications, les cartes conceptuelles sont utilisées pour présenter des résultats de recherche sur les conceptions des apprenants. Les conceptions apparaissent comme des étiquettes et des liens. En somme, les mots assemblés par un apprenant correspondraient à un type de conception. Or, l'accès aux conceptions exige une interprétation approfondie de la production d'un apprenant confronté à plusieurs situations. La carte laisse croire qu'une verbalisation *hic et nunc* de l'individu et les représentations mentales sont une seule et même chose. Non

seulement on oublie les contraintes de méthode (les mots ont-ils été fournis à l'apprenant ou les a-t-il mobilisés spontanément ?), mais de plus on imagine une science dans laquelle le savoir du sujet existerait indépendamment du contexte d'observation.

Par ailleurs, la carte conceptuelle, si elle n'est pas accompagnée d'un méta-discours, efface toute contextualisation. Dans une carte, les circonstances ne sont pas rapportées, les verbes ne sont pas conjugués, les modaux sont effacés et les actants n'ont pas droit de cité. Toutes les marques d'énonciation qui nous permettent de comprendre et d'interpréter un discours ont disparu. L'utilisation dans la recherche ou dans l'enseignement peut alors être périlleuse : on est tenté de faire accéder la carte au statut de modèle en la généralisant ou en l'utilisant pour des contextes différents de celui qui a permis de la dresser.

Dans tous les cas un problème intrinsèque demeure dans la représentation spatiale des concepts scientifiques. Le type de connaissance cartographiée dépend d'un énoncé scientifique initial délimité. Autrement dit une carte correspond à un *corpus de connaissance*. Il est donc toujours nécessaire de s'accorder sur la délimitation de ce corpus. Ce qui n'est pas mentionné et n'apparaît pas toujours en clair dans les représentations spatiales publiées. Cette délimitation peut correspondre à un objectif clair qui doit être précisé. À titre d'exemple, si l'on réalise une carte conceptuelle sur le sang, la cartographie est différente si on a pour projet d'étudier la coagulation du sang, plutôt que la transfusion sanguine. Le projet d'étude guide le choix et la délimitation du corpus. Les cartes les plus faciles à dresser sont celles qui correspondent à des corpus très limités. Ce qui renvoie à la question de la pertinence du découpage. Est-il acceptable de représenter une théorie scientifique en la fractionnant en autant de petits fragments semi-autonomes (on retrouve ici la question de la *granularité* de la connaissance) ?

Cette identification du corpus est d'autant plus nécessaire que les cartes peuvent aussi bien s'intéresser au savoir scientifique savant qu'à une théorie naïve, à la connaissance experte qu'au savoir d'un novice, aux définitions d'un dictionnaire de langue qu'aux énoncés d'un manuel scolaire... Comme toutes les cartes de prime abord paraissent se ressembler, les résultats introduisent souvent une confusion peu acceptable.

Si les problèmes de la nature du savoir et de la délimitation du corpus en fonction du projet sont élucidés, il faut alors s'interroger sur l'intérêt de la construction elle-même. La carte est d'une part un outil de communication, et, d'autre part, une aide à l'apprentissage.

Plusieurs représentations spatiales produites avec les mêmes règles et pour le même corpus par plusieurs apprenants peuvent facilement être comparées. On peut aussi les rapprocher d'une représentation considérée comme modèle. Mais cette utilisation exige de très grandes précautions, tant dans la définition de règles de construction aussi claires que possible (pour éviter des erreurs ultérieures d'interprétation), que dans l'analyse du savoir présenté, en particulier si l'on compare des cartes à une représentation modèle. L'interprétation objective des divergences entre cartes risque alors de confondre de pré-

tendues différences cognitives avec des difficultés à employer correctement la syntaxe de la carte.

Dans l'aide à l'apprentissage, la représentation spatiale peut jouer un rôle important sur plusieurs plans. D'abord, la représentation spatiale, si elle utilise toutes les caractéristiques de la représentation, et en particulier le principe analogique de l'image, l'homomorphie, la vue d'ensemble, la simplification, peut favoriser l'appropriation d'un concept. Mais nous avons pu constater que les représentations spatiales publiées n'utilisaient pas nécessairement ces propriétés. Une sélection arbitraire d'étiquettes, réparties sur une page et reliées par des ponts non homogènes n'est pas une construction suffisamment élaborée pour être comprise par quelqu'un d'autre que celui qui l'a réalisée.

Sur un autre plan, elle peut favoriser la compréhension de la dimension contextuelle et systémique du concept, en présentant une vue d'ensemble simplifiée d'un réseau de concepts. Mais alors, ce sont les relations entre concepts au sein de ce réseau qui donnent du sens à la représentation spatiale et elles doivent faire l'objet d'un travail très approfondi, ce qui est rarement le cas dans les exemples consultés.

Enfin, la représentation spatiale peut également être une aide dans l'évaluation de la connaissance, ce qui justifie pour une bonne part son utilisation en formation. L'apprenant peut alors apprécier l'état de ses connaissances privées en fonction du degré d'élaboration de sa figure. Mais l'utilisation de cette représentation spatiale par un tiers, l'enseignant par exemple, n'est envisageable que si la construction de la figure répond à des règles homogènes, prédéfinies, acceptées et maîtrisées. L'intérêt ne réside-t-il pas alors plus dans la construction elle-même, avec l'effort de mobilisation et d'organisation des connaissances que cela demande, que dans l'analyse de cette représentation ?

Une dernière remarque pour conclure sur le statut que l'on peut accorder à la représentation spatiale de concepts scientifiques. On peut admettre avec Novak qu'elle constitue un *puissant outil méta-cognitif* à condition que l'on ne confonde pas cette aide à l'apprentissage avec l'objectif de l'apprentissage. Il est tentant en effet de faire de la structuration de la connaissance en une représentation spatiale un nouvel objet d'apprentissage, comme ces *résumés* ou ces *leçons* que l'élève devait autrefois *apprendre par cœur*.

En somme, dans la production de toutes ces représentations spatiales, coexistent des projets, des intentions, des méthodes et des outils qui ne sont pas de même nature. À partir de leurs intuitions (et souvent peut-être de tracés intermédiaires esquissés d'abord pour eux-mêmes), les auteurs font des paris sur l'impact et la fonctionnalité de ces cartes et autres réseaux sans s'être toujours donné les moyens de les tester. Si l'on admet que la spatialisaiton des concepts scientifiques correspond à un besoin, pour ne pas dire une pulsion chez certains individus, il est alors nécessaire d'engager des travaux de recherche sur le bien-fondé et les limites des représentations spatiales, afin d'éviter les errances et les faux espoirs constatés dans les utilisations qui en sont faites. Leur utilisation dans la recherche réclame à coup sûr d'autres propriétés que celles requises pour une utilisation dans la formation en face à face.

NOTES DE LECTURE

COLOMB J. (Dir.) (1993). *Les enseignements en Troisième et Seconde. Ruptures et continuités*. Paris, INRP, 228 p.

Cet ouvrage rend compte d'une recherche pluridisciplinaire "Articulation Troisième/Seconde" conduite par le Département "Didactiques des disciplines" de l'INRP. Il se compose de sept chapitres centrés chacun sur une discipline particulière : français, mathématiques, langues vivantes (allemand et anglais), histoire et géographie, sciences physiques, biologie et éducation physique et sportive.

Une introduction de J. Colomb décrit le cadre de la recherche, les concepts didactiques utilisés et résume les principaux résultats. Un lecteur impatient y trouvera l'essentiel et pourra se reporter aux détails développés dans les chapitres disciplinaires. La visée générale du livre est de décrire au mieux le **contrat disciplinaire** mis en œuvre dans les classes de Troisième et Seconde. Il s'agit d'une étude comparative portant sur six thèmes : les savoirs à enseigner, les savoirs enseignés, le statut des objets d'enseignement, la dynamique de l'enseignement, les types d'activités des élèves et l'évaluation. L'apport de cet ouvrage est de présenter la comparaison Troisième/Seconde à l'aide de concepts didactiques qui prennent sens dans chacune des disciplines concernées plutôt que par une approche "didactique générale" qui laisserait de côté les aspects disciplinaires spécifiques. Nous nous limiterons ici aux disciplines scientifiques.

En mathématiques, le choix se porte sur le vecteur, et l'analyse tient compte d'observations faites dans une dizaine de classes de chaque niveau. Le contrat disciplinaire y est explicité et permet de mettre en évidence des différences entre l'enseignement des mathématiques en Troisième et en Seconde (passage d'un niveau plutôt concret à un niveau où l'abstraction mathématique prend de l'importance). À noter une courte mais inté-

ressante note sur l'apparition de la notion de vecteur dans l'histoire des mathématiques.

En sciences physiques le choix s'est porté sur le concept de réaction chimique. Une étude détaillée des programmes et commentaires permet à l'auteur de pointer une différence nette entre les deux niveaux de classe : en Troisième, l'approche est plutôt inductiviste, peu conceptualisée et mathématisée, et s'apparente aux disciplines d'éveil de l'école primaire. En Seconde, les raisonnements sollicités sont, au contraire, de nature déductive, laissent peu de place à la démarche expérimentale ; la chimie donne l'impression d'une discipline très théorique. Le fonctionnement des classes observées (une quinzaine) vient confirmer cette position. En Troisième l'enseignement de la chimie est essentiellement qualitatif, alors qu'en Seconde, il devient quantitatif avec une accumulation de concepts nouveaux qui rend la chimie très abstraite.

En biologie l'étude porte sur le concept de respiration. L'auteur explicite les différents niveaux de formulation et indique les choix effectués par les auteurs de manuels. Un test proposé aux élèves des deux niveaux met en évidence une certaine régression des élèves de Seconde par rapport à ceux de Troisième concernant la respiration. La rupture la plus profonde semble se situer au niveau des Instructions officielles qui proposent de passer de l'étude des mécanismes permettant de comprendre l'alimentation en Troisième, à l'étude des entrées et sorties sous forme de bilan en Seconde. Les mécanismes étudiés en Troisième ne sont donc pas réinvestis en Seconde.

En conclusion, cet ouvrage constitue une référence intéressante pour qui se préoccupe des transitions dans le système éducatif. Il offre au didacticien la possibilité d'apprécier la contextualisation de quelques concepts fondamentaux de didactique dans différentes disciplines et à deux niveaux de classe. Le praticien y trouvera une analyse détaillée et complète d'une notion disciplinaire particulière enseignée en Troisième et en Seconde.

R. Lefèvre

DEVELAY M. (1994). *Peut-on former les enseignants ?* Paris, ESF, 160 p.

Question fondamentale que celle qui fait le titre du livre de M. Develay. Elle souligne à elle seule tout la difficulté qui s'attache à la formation au "métier" d'enseignant. Peut-on former un candidat à l'enseignement à bien faire son travail ? C'est la problématique posée dès le début du livre et que l'auteur s'attelle à résoudre tout au long des six chapitres qui composent l'ouvrage. Il propose de situer d'emblée cette formation à l'intérieur de quatre champs : disciplinaire, didactique, pédagogique et psychologique.

Après avoir brossé rapidement la difficulté à théoriser l'apprentissage, et rappelé la pluralité des points de vue relatifs à cette question, l'auteur pose trois conditions à un apprentissage scolaire efficient : trouver du sens à une situation d'enseignement, maîtriser une habileté, créer des ponts cognitifs entre éléments de savoir isolés. Ces trois repères lui permettent d'analyser l'apprentissage d'un point de vue psychologique et pédagogique. Cette démarche le conduit à avancer qu'un apprentissage scolaire doit viser les capacités à anticiper, à planifier, à réguler.

M. Develay pose alors la problématique de la formation des enseignants comme corollaire à ces considérations car, pour lui, tout enseignement renvoie à une hypothèse sur l'apprentissage. Le couple apprentissage/enseignement ainsi défini peut être situé dans quatre familles de séquences : des leçons ou conférences, des activités d'imitation, des situations-problèmes, des leçons dialoguées. Mais, en dernière instance, le but visé est que les enseignants induisent des transformations chez leurs élèves. Pour y parvenir, ils devront, selon l'auteur, être attentifs à passer d'une approche du métier d'enseignant en termes d'enseignement, à une approche de ce métier en termes d'apprentissage ; à s'intéresser à l'hétérogénéité d'avantage qu'à l'homogénéité ; à accepter une vision moins individuelle et plus collective du métier ; à substituer à une courbe de Gauss des résultats scolaires, une courbe de la réussite, à penser l'instruction au service de l'éducation.

Après un détour par la sémantique, l'auteur campe le concept de formation et définit la

mission qui est dévolue aux formateurs. Ayant donné plusieurs typologies de formation, il propose son propre modèle, qui emprunte des éléments à différents champs dont les apports sont jugés intéressants et complémentaires, mais qui, pris isolément, seraient insuffisants à vouloir expliquer chacun toute la complexité de l'acte de formation. Deux types de compétences sont exigibles de l'enseignant en formation : celles relevant du champ disciplinaire, celles relevant des champs didactique et pédagogique. Ayant procédé à une distinction entre didactique et pédagogie, l'auteur ajoute la nécessité d'une formation psychologique pour les futurs enseignants. Il explicite le contenu de formation de son modèle à partir d'un référentiel de compétences à acquérir au terme de la formation initiale. Une liste de tâches en rapport avec ce référentiel constitue la base de la pratique professionnelle d'un enseignant.

Il reste alors à proposer les modalités de la formation qu'implique ce modèle. Pour l'auteur, s'impose d'emblée l'alternance d'une formation théorique et d'une formation pratique. Ensuite, nécessité d'une articulation entre formation professionnelle et formation psychologique. Mais, affirme M. Develay, toute formation doit partir de la conception de l'enseignement qu'ont les candidats à une formation, appelé *modèle pédagogique implicite*, qu'il s'agit de faire évoluer, dans une confrontation avec un modèle de référence du formateur, vers un modèle pédagogique personnalisé explicite du nouvel enseignant. Ainsi, se trouve définie une trajectoire de la formation.

Enfin, l'auteur propose différents modes de formation, pour conclure par l'affirmation que ce modèle devrait aider à asseoir une professionnalité et une identité professionnelle des enseignants qui doit s'exprimer à travers une culture commune. Le livre est agrémenté par de nombreux tableaux synoptiques qui sont autant de synthèses et qui facilitent la compréhension.

Cependant, pour ne considérer que cet aspect noté entre les lignes, peut-on reprocher à la didactique, d'abstraire du "réel complexe" de la classe un objet de recherche, le système didactique (élèves, maître et savoir), à partir duquel elle tire des résultats pertinents, reproductibles, à charge pour la

pédagogie susceptible d'assumer cette complexité de tirer les conséquences de ces recherches ?

V. Ndiaye

FENSHAM P.J., GUNSTONE R.F. & WHITE R.T. (Eds) (1994). *The content of science : A constructivist approach to its teaching and learning*. London, The Falmer Press, 280 p.

Ce livre est issu d'un séminaire d'une dizaine de jours qui s'est déroulé en Australie, où dix-huit auteurs ont mis en discussion leurs contributions. Le temps n'est plus, semble-t-il, à la simple élucidation des conceptions des élèves concernant des problèmes physiques, chimiques ou biologiques. Il s'agit bien plutôt de s'interroger sur les conséquences pédagogiques à tirer de l'existence de ces "alternative frameworks". En ce sens, ce livre est un incontestable succès. Il montre à qui en doutait encore la pertinence, en même temps que la grande variété des expérimentations d'enseignement, à tous les niveaux scolaires, qui s'appuient sur la prise en compte explicite des raisonnements d'élèves.

Son intérêt ne se limite pas à cette information brute. Il se manifeste tout autant dans la mise en discussion théorique du positionnement "constructiviste" lui-même. Existe-t-il un style d'enseignement, et un seul, qui corresponde obligatoirement au label "constructiviste" ? Est-il possible que cela dépende de la nature des contenus en jeu ? Ou encore des niveaux scolaires (en particulier doit-on distinguer qualitativement le niveau primaire des autres) ? Le "changement conceptuel" qui est souvent visé par ces options didactiques doit-il s'imaginer comme une annulation des conceptions anciennes ou comme une modification lente de celles-ci ? Le dit changement peut-il se limiter aux contenus explicitement en jeu, ou doit-il s'accompagner, voire être précédé, d'une modification plus large touchant l'idée que se font les apprenants de la nature de l'élaboration scientifique, ou même de leur propre rapport affectif à cette activité ? Quelle liaison entretient la démarche constructiviste avec les finalités générales que l'on peut imaginer pour un en-

seignement scientifique ? L'une des questions peut-elle se ramener à l'autre ?

Les thèses des différents auteurs paraissent en l'occurrence assez différentes quant à ces questions, et à bien d'autres encore. Ceci est une richesse supplémentaire ; mais on aurait justement aimé que les options apparaissent de manière plus contrastée, se répondant explicitement quand c'est nécessaire. Par ailleurs, certains thèmes demeurent absents. Comment aborder la question du rapport que l'on doit bâtir (ou non, pour certains auteurs) entre les modèles construits à l'issue des séquences présentées et les savoirs scientifiques, sans faire référence au concept de "transposition didactique" et au champ de préoccupations qu'il recouvre ? Comment avancer une évaluation générale des activités proposées sans prendre en compte non seulement "le contexte" de l'apprentissage, mais plus largement le cadre institutionnel où sont menés les enseignements ?

Toutefois, ces absences n'obèrent nullement la portée des travaux présentés : la lecture de cet ouvrage est sans conteste à conseiller à ceux - chercheurs ou formateurs d'enseignants - qui militent pour que la didactique des sciences se focalise plus nettement sur les questions d'enseignement proprement dites.

S. Johsua

FOUREZ G. (1994). *Alphabétisation scientifique et technique. Essai sur les finalités de l'enseignement des sciences*. Bruxelles, De Boeck Université, 220 p.

Dans ce livre, certains chapitres sont inédits, d'autres correspondent à des articles déjà publiés dans diverses revues, ce qui pour le lecteur averti donne parfois une impression de déjà vu. À moins que cela ne tienne au sujet traité, puisque de l'alphabétisation scientifique et technique et des finalités scientifiques, il en a été question dans un certain nombre de colloques récents. Cependant, cet ouvrage s'articule sur la notion originale d'îlots de rationalité et l'auteur affirme que "*la capacité à construire des îlots de rationalité [lui] paraît essentielle à l'inser-*

tion plus ou moins autonome des citoyens dans la société". Corollaire implicite de cette notion : la pluridisciplinarité. Dans ce dernier cas, matière traitée oblige, les chapitres ont été traités à plusieurs mains.

Un îlot de rationalité peut s'organiser autour d'un projet, en vue de se donner une représentation des actions possibles comme, par exemple, gérer un moteur diesel par grand froid ou utiliser des surgelés. Ou alors il s'agit de se donner une représentation multidisciplinaire autour de notions couramment utilisées dans notre culture comme, par exemple, la contagion, la radioactivité, une indigestion ou la relativité restreinte.

La construction d'un îlot de rationalité implique que l'on fasse se croiser des savoirs provenant de multiples disciplines et des connaissances de la vie quotidienne, pour se structurer un modèle (ou une représentation, ou une théorisation) intéressant dans un contexte précis (une situation comme l'isolation thermique d'une maison, une grossesse à vivre ou l'utilisation d'une notion comme celle de "microbe"). Ainsi pour l'isolation d'une maison, en plus des savoirs de l'existence quotidienne (très importants même si "non scientifiques" !), il faudra des éléments venant de la physique, du droit, de la biologie, de l'esthétique, de l'hygiène, de l'éthique, de l'écologie, etc.

Cette notion d'îlot de rationalité peut apparaître comme un fourre-tout bien pratique, mais l'auteur n'est pas dupe car pour lui la construction de l'îlot est plus importante que l'îlot lui-même. Et à travers les boîtes noires terminales des îlots, on rejoint, me semble-t-il, Herbert Simon, qui, important certains concepts de l'économie vers la psychologie, a montré que la rationalité était toujours limitée.

D'une manière générale, ce livre formule clairement des questions correspondant à des interrogations imprécises qu'un enseignant ressent dans sa classe. Il sera donc utile à toute personne concernée par l'enseignement, au sens large, scientifique et technique.

Tout d'abord, il apporte des informations. Par exemple, il présente en les commentant de manière critique les propositions émises par l'Association des Professeurs de Sciences des États-Unis (NSTA) au début des années 1980 pour reconnaître une personne alphabé-

tisée scientifiquement et techniquement. Et en annexe, il rappelle le bagage de l'alphabétisé scientifique que l'American Association for the Advancement of Science considère comme minimal (rapport *Science for All Americans*).

Ensuite il ouvre et balise des pistes de réflexion. Par exemple, faut-il distinguer les formations scientifique et technique ou parler d'une seule initiation scientifico-technique, prise globalement ? Plus concrètement, après avoir montré dans certaines circonstances la nécessité d'utiliser plusieurs disciplines pour produire un contenu d'enseignement pertinent dans des situations concrètes, l'auteur propose un "modèle" dont l'objectif est de rendre possibles des démarches pédagogiques interdisciplinaires précises et efficaces. Ce modèle est ensuite développé autour de thèmes concrets. Ceci amène l'auteur et ses collaborateurs à examiner comment envisager dans l'enseignement général des cours de technologie qui ne se réduisent pas à du travail manuel ou à de l'excellent bricolage. De même, ensuite, la question de la culture technologique, telle qu'elle est considérée dans l'enseignement technique où l'on n'est pas d'abord intéressé par l'enseignement des sciences, mais bien plus par des outils ou des utilisations, est abordée en essayant de voir comment peuvent s'exprimer des choix politiques refusant de faire du travailleur technique un pur consommateur, et comment le former à devenir un utilisateur intelligent.

Enfin, reprenant une vue culturelle, les sciences et les technologies enseignées sont replacées dans leur contexte historique. Et ne serait-ce que pour le remarquable chapitre 10 sur la dimension idéologique de l'enseignement des sciences, je crois ce livre indispensable à toute personne concernée par l'alphabétisation scientifique et technique.

J.-M. Dusseau

GÉRARD F.-M. & ROEGIERS X. (1993). *Concevoir et évaluer des manuels scolaires*. Bruxelles, De Boeck, 340 p.

L'ouvrage de Gérard et Roegiers répond à un besoin incontestable, au moment où se renouvellent les manuels scolaires et se multi-

plient les documents didactiques diversifiés destinés aux élèves. En ce domaine, nous disposons surtout jusqu'à présent, en langue française, du livre de référence de François Richaudeau : *Conception et production des manuels scolaires* (Retz/Unesco, 1979). Mais ce dernier est déjà un peu ancien (ce qui n'ôte rien à ses qualités) et les auteurs nous proposent aujourd'hui un nouvel ouvrage, structuré de façon plus pratique.

La première partie, assez classique, nous expose un "cadre conceptuel" d'ensemble. Gérard et Roegiers présentent les nombreux acteurs qui interviennent dans les phases successives d'élaboration d'un manuel (conception, édition, diffusion, évaluation et utilisation). Ils décrivent les étapes de son élaboration (de l'analyse des besoins à l'expérimentation du manuel terminé), détaillent ses objets et objectifs possibles, suggèrent des étapes méthodologiques d'apprentissage, analysent la diversité des fonctions d'un manuel et examinent la question de son évaluation. Le tout est accompagné de tableaux et schémas de synthèse particulièrement clairs.

La deuxième partie ("Pour concevoir") et la troisième ("Pour évaluer") sont plus originales et font l'intérêt essentiel de l'ouvrage. Elles sont articulées autour de 25 fiches pratiques, examinant les principaux problèmes qui se posent au concepteur comme à l'utilisateur de manuels. Tout y passe : carte des contenus et des objectifs, équilibres pédagogiques, rôle des exemples, lisibilité des textes et de la mise en place, rôle des illustrations et des facilitateurs techniques, importance des titres et rédaction des consignes, etc.

Intégrées au déroulement de ces fiches, on rencontre 128 suggestions rédactionnelles, bien repérables sur leur fond grisé. Celles-ci sont reprises, d'une façon synoptique en fin d'ouvrage, avec une autre organisation thématique. De précieuses annexes enfin rendent disponibles, par exemple, des outils pour apprécier la lisibilité et des grilles pour l'évaluation des manuels. Le tout est accompagné d'une bonne bibliographie.

C'est donc d'un nouvel outil particulièrement efficace et maniable dont nous disposons aujourd'hui. Une réserve, peut-être (et ce sera la seule) : le fort ancrage du livre dans le paradigme de la pédagogie par objectifs, avec un certain abus des cubes à la Guilford-De Block. Cela témoigne de la permanence

d'une certaine tradition expérimentaliste et behavioriste, dont la mode semble avoir davantage passé en France.

J.-P. Astolfi

RUEL F. (1994). *La complexification conceptuelle des représentations sociales discursives à l'égard de l'apprentissage et de l'enseignement chez de futurs enseignants et enseignantes de sciences*. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec.

La recherche réalisée dans le cadre de cette thèse de doctorat en éducation s'intéresse au développement et à la complexification des représentations d'étudiantes et étudiants en formation à l'égard des sciences, de leur enseignement et de leur apprentissage au cours de leur participation à une stratégie particulière de formation dite de dérangement épistémologique (Désautels & Larochelle, 1995)¹. Cette stratégie pédagogique, mise en place dans le cadre d'un cours universitaire s'étalant sur une période de quatre mois, a été spécifiquement conçue pour aider ces futurs enseignants et enseignantes de sciences à envisager leurs représentations de l'enseignement et de l'apprentissage d'un point de vue plus critique et réflexif, afin éventuellement de pouvoir jouer en tant qu'enseignants un rôle différent dans leurs pratiques professionnelles auprès des élèves.

Dans une première partie, l'auteure présente clairement les principaux problèmes qui marquent le domaine de l'enseignement des sciences et en fait une analyse soignée du point de vue des représentations des différents acteurs en présence, humains (élèves et enseignants) et non humains (programmes...). Cette analyse la conduit à montrer que cet enseignement n'encourage guère chez les élèves le développement d'une réflexion critique à l'égard du savoir scientifique et de sa production, et que celui-ci contribue, pour

1. DÉSAUTELS J. & LAROCHELLE M. (1994). *Étude de la pertinence et de la viabilité d'une stratégie de formation à l'enseignement des sciences*. Rapport de recherche. Ottawa, Conseil de Recherches en sciences humaines du Canada.

reprendre ici les termes de l'auteur, "à s'en faire une représentation inadéquate en regard des réflexions contemporaines portées à son endroit, notamment par l'épistémologie, l'histoire et la sociologie des sciences" (p. 7).

La seconde partie de l'ouvrage présente la stratégie didactique mise de l'avant, en regard de cette problématique, et situe celle-ci par rapport aux principaux modèles de formation des enseignants récemment élaborés dans le domaine de la préparation à l'enseignement des sciences. L'auteure s'attarde ici aux diverses conceptualisations en présence dans ces pratiques de formation, dont celles associées au changement conceptuel et à la réflexivité. Les concepts d'exemplarité et de réflexivité sont ici précisés dans le contexte de la stratégie de dérangement épistémologique élaborée par l'équipe. Des exemples d'activités expérimentées auprès du groupe d'étudiants et étudiantes en formation sont fournis à l'appui.

Les représentations des futurs enseignants avant, durant, et après cette stratégie de formation (il s'agit là de l'objet central de la thèse) sont envisagées de façon interactive et évolutive, en montrant bien "qu'elles mettent en jeu des savoirs, des valeurs, et un potentiel d'action". L'analyse s'attarde aux possibles relations entre ces représentations sociales des enseignants et leurs pratiques pédagogiques dont l'auteur a le mérite d'éclairer toute la complexité, en s'éloignant du lien causal qu'on pourrait être tenté d'établir de manière simpliste entre ces deux aspects.

Les résultats permettent de mettre en évidence que ces futurs enseignants et enseignantes abordent leur future pratique professionnelle avec des représentations bien ancrées à l'égard de ce que signifie enseigner et apprendre les sciences, qui réfèrent à leur propre expérience d'apprenant et aux modèles d'enseignement auxquels ils ont été confrontés. Ces points de vue, au terme

d'une stratégie de formation qui s'est étalée sur quatre mois, tendent à se maintenir en tout ou en partie, comme l'illustrent bien les cas longuement présentés dans la thèse. Pour certains, ces représentations ont la vie dure, ce qui pose le problème non soulevé par l'auteure des points d'ancrage susceptibles de les ébranler et questionne la stratégie de formation élaborée. Chez d'autres, la majorité, on peut déceler des promesses de réflexivité. À travers le discours réflexif de ces futurs enseignants, on peut observer le jeu de miroir entre ce qu'ils projettent de mettre en place en classe et la culture qui se dégage de la stratégie de formation. La situation dans laquelle ils ont été placés comme apprenants semble ici jouer un rôle d'exemplarité important, au-delà de son contenu.

On peut toutefois s'interroger sur les retombées à plus long terme d'une telle stratégie. Comment le poids des contraintes va-t-il s'exercer lorsque ces enseignants auront à mettre en place des stratégies en classe ? Exercent-ils un rapport suffisamment critique à l'approche proposée par les formateurs, sont-ils conscients des enjeux de celle-ci ? Quant à l'investigation des représentations, on peut lui reprocher de se situer en dehors du contexte dans lequel cette pratique de l'enseignement des sciences va s'actualiser (Lave, 1988)². On aurait pu analyser davantage les représentations de ces futurs enseignants en relation avec cette pratique, en relation avec le sens qu'ils donnent par exemple à des actions posées auprès des élèves, ou en relation avec les éléments qui les guident dans le choix de situations didactiques... Quoiqu'il en soit, au-delà de cette critique, cet ouvrage comporte ample matière à réflexion pour quiconque s'intéresse à la formation à l'enseignement des sciences.

N. Bednarz

2. LAVE J. (1988). *Cognition in Practice*. Cambridge, Cambridge University Press.