

Quelle terminologie adopter pour articuler enseignement disciplinaire et enseignement thématique de l'énergie, en classe de première de série scientifique ?

Which terminology should be used in order to teach energy both as theme and as subject to scientific six-formers ?

Catherine BRUGUIÈRE, André SIVADE, Danièle CROS

Laboratoire de Recherche en Didactique des Sciences (Équipe ERES)
Université Montpellier II
Place Eugène Bataillon, case 39
34095 Montpellier cedex 5, France.

Laboratoire Culture et Communication
Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse
74 rue Louis Pasteur, case 19
84029 Avignon cedex 1, France.

Résumé

Une des originalités de l'enseignement français actuel de l'énergie en classe de première de série scientifique est de conjuguer à une approche pluridisciplinaire classique, une approche thématique. Le problème

terminologique posé par cette double approche est analysé dans une perspective didactique afin de proposer un référent langagier qui soit commun aux différents enseignants disciplinaires. Le recours à un mode de représentations spatiales des connaissances permet de visualiser les termes par lesquels peut s'établir une forme de communication intra et interdisciplinaire.

Mots clés : *enseignement de l'énergie, concept pluridisciplinaire, représentations spatiales des connaissances, terminologie, langage commun*

Abstract

One of the distinctive feature of the teaching of energy to scientific six-formers in France today is its double-sided outlook : considering a thematic approach to the subject, as well as its traditionnaly pluridisciplinary character. The terminology issue raised by this double approach is seen here with a didactic purpose, and consists in finding a teaching language common to the teachers of each subject. Resorting to a mode of spatial representation of the acquisitions makes it possible to visualize the terms with which to establish a form of communication, either within the subject itself or with other subjects.

Key words : *teaching of energy, pluridisciplinary concept, spatial representation of the acquisitions, terminology, teaching language common*

Resumen

Una de las originalidades de la enseñanza francesa actual sobre la energía en clase del primer año de la serie científica es conjugar en un enfoque pluridisciplinario clásico, un enfoque temático. El problema terminológico planteado por este doble enfoque, es analizado con una perspectiva didáctica a fin de proponer un referente del lenguaje que sea común a las diferentes enseñanzas disciplinarias. El recurso a modo de representaciones espaciales de los conocimientos permitió visualizar los términos por los cuales se puede establecer una comunicación intra e interdisciplinaria.

Palabras claves : *energía, concepto disciplinario, representaciones espaciales de los conocimientos, cadena energética, terminología.*

INTRODUCTION

Depuis les années 70, qualifiées de « crise de l'énergie », l'enseignement de l'énergie est une constante dans les programmes français de sciences physiques au niveau de première scientifique. Toutefois, les approches évoluent d'un programme à l'autre, en ce sens qu'elles reposent sur des découpages conceptuels (Bruguière et al., 1994), des hypothèses épistémologiques mais aussi d'apprentissage (Lemeignan & Weil-Barais, 1993) différentes. Une des originalités du programme actuel de 1^{re} S (bulletin officiel hors série du 24/09/92) est d'associer, à un enseignement pluridisciplinaire de l'énergie, une approche thématique. Bien qu'à travers cette double approche, la cohérence de l'enseignement de l'énergie soit largement améliorée, cela n'est pas sans poser des problèmes de mise en œuvre chez les enseignants, en particulier, des problèmes d'origine terminologique.

Audigier et al. (1985) ont montré que les élèves ont des difficultés à établir spontanément des relations entre des concepts étudiés dans différentes disciplines, et l'une des raisons provient du fait qu'ils n'arrivent pas, le plus souvent, à référer l'emploi d'un terme au champ disciplinaire correspondant. C. de Bueger-Vander Borght et A. Mabile (1989) expliquent comment un enseignement pluridisciplinaire de l'énergie aboutit le plus souvent à l'acquisition d'une connaissance fragmentée, c'est-à-dire une connaissance qui ne rend pas les élèves capables de transposer les concepts étudiés dans une discipline à d'autres disciplines. Cela les conduit à imaginer l'existence de plusieurs énergies. Cette erreur est renforcée par des usages terminologiques disciplinaires qui peuvent sembler contradictoires. Ainsi, pour le géographe, l'énergie se produit et se consomme, pour le physicien elle se conserve et se dégrade alors que pour le biologiste elle se transforme (Audigier et al., 1985).

Nous pensons que cette double articulation, disciplinaire et thématique, qui devrait aider les élèves à construire une idée universelle de l'énergie, ne peut se réaliser en dehors d'une harmonisation terminologique à laquelle les enseignants doivent être préparés. D'autant que la logique disciplinaire repose sur un langage spécialisé et univoque (Jacobi, 1987) alors que la logique thématique tend à proposer un langage plus commun et polysémique. Comment faire fonctionner ces deux logiques ? Quelle terminologie les enseignants devraient-ils adopter pour articuler approche disciplinaire et approche thématique ?

Précisons ce que nous entendons par terminologie : « *un ensemble d'expressions dénommant dans une langue naturelle des notions relevant d'un domaine de connaissances fortement thématisé* » (Lerat, 1995, p. 20). Dénommer, ce n'est pas seulement désigner, c'est la façon d'appeler par

son nom un objet ou une classe d'objets ; cela suppose l'existence d'une convention établie par un corps spécialisé, ici, les enseignants concernés par l'enseignement de l'énergie. Quels sont les termes sur lesquels les enseignants peuvent s'entendre pour « parler » du concept d'énergie ?

Certes l'analyse terminologique est peu exploitée en didactique. Souvent limitée à l'étude des conceptions des élèves (cf. 1.2.1.), elle est jugée rapidement insuffisante pour expliquer les logiques mises en jeu. Pourtant, l'analyse terminologique nous paraît pertinente pour comprendre le « langage » des élèves, dès lors qu'elle permet de traiter, non seulement les termes utilisés, mais aussi la façon dont ils sont reliés sémantiquement (Bruguière, 1997).

Dans cet article, nous nous proposons d'étendre l'analyse terminologique à l'étude des conceptions des enseignants mais aussi à celles véhiculées par les programmes scolaires parce qu'elles sous-tendent la communication dans une situation d'enseignement-apprentissage (figure 1, d'après le triangle didactique proposé par Chevallard, 1991).

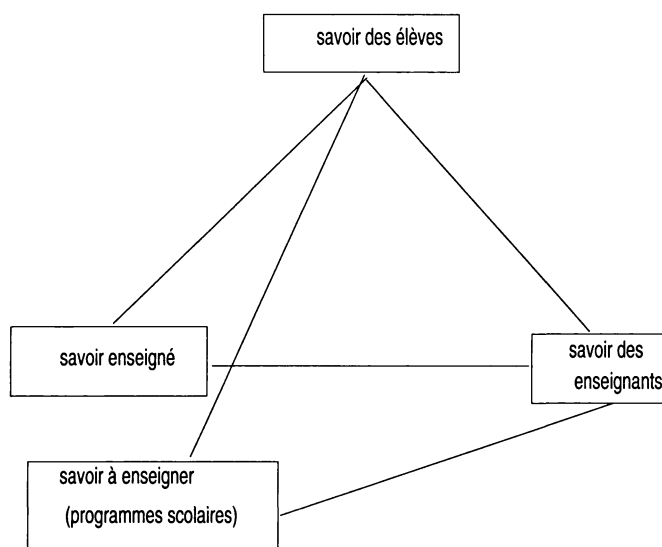


Figure 1 : Les savoirs mis en jeu avant enseignement (déplacement du triangle didactique)

Nous analyserons ces trois types de conceptions dans les différentes disciplines concernées par l'enseignement-apprentissage de l'énergie (sciences physiques, sciences de la Vie et de la Terre, géographie) en classe de 1^{er} S. L'objectif de cette analyse est de mettre au jour une terminologie

qui permettrait aux enseignants, quelle que soit leur discipline d'origine, de conjuguer approche disciplinaire et approche thématique de l'énergie.

Voyons, à présent, les raisons, à la fois d'ordre épistémologique et didactique, qui justifient le regard terminologique que nous portons sur l'enseignement-apprentissage de l'énergie.

1. LES RAISONS D'UN PROJET TERMINOLOGIQUE

1.1. Des raisons épistémologiques

Rappelons brièvement, à partir des travaux de P. Brouzeng (1980) et de J.-L. Martinand (1985), comment la construction du concept d'énergie, comme unité conceptuelle de la physique au cours du XIX^e siècle, s'est accompagnée de choix terminologiques déterminants. Alors que le vocable « énergie » émerge déjà dans les écrits d'Aristote et apparaît ponctuellement dans la littérature scientifique jusqu'au XVII^e siècle, il disparaît de la dynamique (science qui a participé grandement à l'émergence du concept d'énergie) tout au long du XVIII^e siècle au profit des termes « force vive » (Leibniz), « puissance motrice » (Sadi Carnot) ou encore « travail » (Clapeyron) et « chaleur » (Clausius). Chacune de ces dénominations caractérise des points de vue conceptuels différents des phénomènes scientifiques, que sont la filière mécanique et la filière thermique. Or, comme le souligne P. Brouzeng (1980), la fusion de ces points de vue – fédérée par le principe de conservation d'énergie – va permettre l'appréhension d'un concept plus général, au milieu du XIX^e siècle, pour lequel le choix d'un terme unique « énergie » s'impose. Dans cette recherche de cohérence, il semble, d'après P. Brouzeng (1980), que Clausius va proposer à la communauté scientifique d'utiliser les mêmes mots pour désigner les mêmes concepts ou les mêmes grandeurs et qu'elle adopte le mot « énergie » pour désigner la fonction que d'autres nomment « chaleur totale » ou « travail total » selon le cas. Le terme d'énergie désigne alors un invariant quantitatif et non plus une forme particulière. Le mot renvoie au concept qui s'ancre lui-même sur un réseau de concepts où l'on retrouve entre autres, travail, chaleur, articulés par le principe de conservation de l'énergie.

À cela, il convient de mentionner l'origine grecque du terme « énergie » (εργον : faire agir et du préfixe εν : dans) qui contribue à la stabilité identificatrice du concept. D'après J.-L. Martinand (1985), Clausius explique, en effet, dans sa « théorie de la chaleur » à propos de l'invention du mot « entropie », qu'il préfère emprunter aux langues anciennes les noms de quantités scientifiques importantes, afin qu'ils puissent rester les mêmes dans toutes les langues vivantes. À l'inverse, l'emprunt à la langue commune du terme « énergie » (qui signifie à l'origine « vigueur » et permettait au

XVIII^e siècle de qualifier un discours), ouvre la porte à des glissements de sens.

Voilà, rapidement évoqué, comment le choix linguistique d'un terme unique comme « énergie » qui plonge ses racines dans la langue ancienne et vernaculaire s'avère être un travail indissociable du processus de construction du concept énergie.

1.2. Des raisons didactiques

Des difficultés didactiques ayant pour origine l'absence d'une signification facilement identifiable du concept, liées au caractère polysémique du mot « énergie » et renforcées par un enseignement de type « traditionnel » du concept d'énergie, sont largement identifiées dans la littérature.

1.2.1. *Les termes des conceptions des élèves*

Le mot « énergie » fait partie du langage courant des élèves. Dès 1981, R. Duit souligne que les élèves portent en eux des notions préconçues, issues de leur environnement, sur la signification du mot énergie. Nous pensons comme Ballini et al. que « *le sens qui lui est assigné entrera nécessairement en interaction avec l'enseignement dispensé* » (Ballini et al., 1997, p. 82) et qu'il est donc utile de connaître les significations attribuées à ce terme par les élèves. Parmi les très nombreuses études sur les conceptions des élèves relatives à l'énergie, nous ferons référence uniquement à celles qui donnent des éléments sur les mots qui permettent aux élèves d'identifier le concept d'énergie. Ces études sont basées essentiellement sur des relations que les élèves doivent établir entre un certain nombre de situations concrètes qui leur sont proposées, sous forme généralement de documents sur lesquels l'énergie est présente ou pas.

Nous avons repéré dans la littérature, quatre types d'association fréquemment réalisée par les élèves :

– **l'énergie est associée à « force »**

L. Viennot (1989) a montré comment certains raisonnements spontanés des élèves en cinétique et dynamique procèdent, pour l'essentiel, d'une prise en considération globale du mouvement et d'une tentative d'explications causales immédiates où la cause, attribuée à l'objet, se formule en un complexe dynamique indifférencié : force/énergie/élan/impulsion. Plus généralement, il apparaît que, dans leur cursus et même à l'université, les élèves font un usage équivoque des mots « force » et « énergie » (De Bueger-Vander Borghet & Mabilie, 1989) ;

– l'énergie est associée à « produit », « utilisation » et « consommation »

Les medias véhiculent l'idée que l'énergie n'est pas inépuisable, que son utilisation tend à la faire disparaître. D'où l'idée prégnante chez les élèves que l'énergie poursuit un « cycle de vie » : « *elle est générée, elle est active et ensuite elle disparaît* » (Watts, 1983, p. 215). Cette idée recouvre plutôt ce que le physicien appelle « *énergie utilisable* » mais est contraire à l'idée de conservation (Ballini et al, 1997) ;

– l'énergie est associée à « activité »

La preuve de l'existence de l'énergie est l'activité (et parfois l'activité elle-même est appelée énergie). Le mouvement est généralement donné comme exemple d'activité mettant en œuvre de l'énergie (Watts, 1983). *A contrario*, l'absence d'activité, l'immobilité, est une raison suffisante pour nier l'existence d'énergie (Bliss & Ogborn, 1985). Par ailleurs, comme ont pu le repérer J. Solomon (1982) ou Bliss & Ogborn (1985), le critère animé se conjugue souvent au critère humain, vivant. L'énergie est attribuée à ce qui est humain ou à des objets animés traités comme s'ils avaient des attributs humains ;

– l'énergie est associée à « source »

Des sources d'énergie sont nécessaires pour produire de l'énergie. En revanche, comme le soulignent Ballini et al. « *produire de l'énergie ne signifie pas posséder de l'énergie* » (Ballini et al., 1997, p. 88). J. Solomon relève que pour les élèves « *l'énergie n'est pas stockée dans la nourriture mais elle donne de l'énergie quand on la mange* » (Solomon, 1982, p. 416). Parfois même, l'énergie est identifiée aux sources d'énergie. Le concept n'est pas différencié de l'objet (Boyes & Stanisstreet, 1990).

1.2.2. Les caractéristiques curriculaires en sciences physiques

Malgré les changements de programme, d'un curriculum « traditionnel » à un curriculum « innovatif » (programme actuel), la conception traditionnelle de l'enseignement de l'énergie reste largement prépondérante chez les enseignants (Koliopoulos & Ravanis, 1998). Or, ces auteurs soulignent combien certaines des caractéristiques du curriculum « traditionnel » participent d'une part à la dispersion des significations prises par le concept d'énergie et d'autre part à laisser de côté une approche qualitative qui est pourtant plus accessible aux élèves.

Reprenons, les caractéristiques du curriculum traditionnel qui provoquent des dysfonctionnements d'ordre linguistique dans l'apprentissage des élèves et associons-les aux réponses proposées par le programme actuel ou certains projets pour y remédier.

La première caractéristique est de limiter l'approche énergétique à travers des phénoménologies (mécanique, calorimétrie, électricité, etc.) prises séparément (Tiberghien, 1994). Un tel découpage du concept d'énergie en diverses unités thématiques, sans qu'aucun rapport ne soit formellement établi entre les différents cadres conceptuels phénoménologiques, « *réduit le fonctionnement du concept puisque à chaque fois l'élève est "chargé" d'un sens différent du même concept, et c'est ainsi qu'augmente le risque de tomber dans des malentendus conceptuels* » (Koliopoulos & Ravanis, 1998, p. 168). Le curriculum actuel, qui introduit l'énergie par ses propriétés : transfert, transformation et stockage, permettrait d'aborder simultanément plusieurs types de phénomènes. Le concept d'énergie acquiert alors une signification unique pour toutes les unités thématiques.

La deuxième est d'introduire le concept d'énergie en tant que fonction de mesures observables ce qui limite l'approche énergétique à un niveau quantitatif, sans prendre en compte les connaissances qualitatives des élèves. Or, il est nécessaire d'effectuer « *une sorte de rapprochement entre les conceptions pré-énergétiques des élèves et la nature quantitative de l'énergie* » (Koliopoulos & Ravanis, 1998, p. 168), approche qui fonde plusieurs projets d'enseignement sur l'énergie (Ballini et al., 1997 ; Lemeignan & Weil-Barais, 1992 ; Tiberghien, 1994).

Le point commun entre ces curricula « constructivistes » (Koliopoulos & Ravanis, 1998) est de chercher à faire construire avant tout l'énergie de façon qualitative. L'énergie apparaît comme un concept universel et donc caractérisé partout et toujours par un même ensemble de propositions, que ce soit sur la base du principe de conservation associé au modèle de chaîne énergétique (Ballini et al, 1997 ; Tiberghien, 1994), des modèles « *fonction* » et « *distribution* » (Lemeignan & Weil-Barais, 1993). Une telle approche universaliste remet en cause les approches de l'enseignement qui particularisent les diverses formes d'énergie (énergie cinétique, potentielle ou nucléaire), approches qui conduisent les élèves à utiliser l'énergie pour désigner un contenu et non des modes de transfert (Toussaint & Trelu, 1986).

Le programme actuel distille une approche constructiviste : « *il est donc proposé de partir des premières idées des élèves sur l'énergie, pour amener ceux-ci à mettre en place le vocabulaire scientifique* », et, en particulier leurs aspects langagiers pour les transformer, comme par exemple : « *l'expression du vocabulaire courant "énergie thermique" qui est impropre scientifiquement parlant. Elle recouvre aussi bien un transfert d'énergie sous forme de chaleur, qu'un stockage sous forme d'énergie interne des molécules. L'objectif de cette partie est donc de remplacer, dans l'esprit des élèves, cette expression par les termes scientifiques exacts*

dans le domaine de la chimie » (programme de chimie, bulletin officiel hors série du 24/09/92).

Si l'obstacle verbal est souvent mentionné dans la littérature ou dans les programmes scientifiques actuels, aucun moyen n'est réellement proposé pour le dépasser. Comment passer de recommandations à l'utilisation effective d'un support qualitatif, retenant des caractéristiques terminologiques, qui convienne à l'ensemble des enseignants concernés par l'enseignement de l'énergie, qui prenne en compte le potentiel linguistique des élèves et qui soit en accord avec le contenu des programmes scolaires ?

2. CADRE THÉORIQUE

Compte tenu de notre projet terminologique, nous avons opté pour une approche strictement déclarative des conceptions. Nous considérons que les connaissances déclaratives correspondent aux éléments constitutifs des conceptions et, qu'à travers elles, nous pouvons décrire leur contenu et l'organisation de leur contenu. Concernant cette organisation interne, nous reprenons l'hypothèse dite du « noyau central » formulée par J.-C. Abric : « *l'organisation d'une représentation présente une modalité particulière : non seulement les éléments de la représentation sont hiérarchisés, mais par ailleurs toute représentation est organisée autour d'un noyau central, constitué d'un ou de quelques éléments qui donnent à la représentation sa signification* » (Abric, 1994, p. 83), vérifiée et reprise par de nombreux autres chercheurs (Flament, 1989 ; Moliner, 1992 ; Guimelli & Rouquette, 1992 ; Verges, 1992).

Nous avons choisi comme élément significatif, le mot, où le mot n'est pas pris comme une simple étiquette mais avec une épaisseur linguistique et sémantique. Les données recueillies s'apparentent à des lexiques ayant une structure. La structuration sémantique existe grâce aux relations sémantiques entre les mots. Poitou & Dubois (1999) ont montré comment les relations sémantiques s'apprécient par la qualité des éléments et l'ordre dans lequel ils sont agencés, mais aussi, comme l'explique B. Laursen (1998), par les types d'appariements effectués. L'ensemble de ces critères sera pris en compte dans notre analyse terminologique.

3. MÉTHODE

L'analyse terminologique se distingue de l'analyse du discours, dans le sens où elle traite des corpus qui s'expriment en dehors du cadre réel de la classe. Ce n'est pas sur ce qui est dit en cours par les enseignants (El

Hajjami et al., 1999), ou échangé en cours entre les enseignants et les élèves (De Bueger-Vander Borgh & Lambert, 1994), que porte notre analyse, mais sur ce qui est disponible chez les différents locuteurs, avant le cours.

Nous nous plaçons résolument en amont de la situation réelle de classe, afin de pouvoir comparer les corpus de façon contrôlée, à un niveau intra comme interdisciplinaire. Autrement dit, cela nous permet de confronter d'une part les corpus de mêmes locuteurs pris dans des contextes disciplinaires différents, et d'autre part des corpus de locuteurs différents dans un même contexte disciplinaire. Rappelons que par déplacement du triangle didactique (figure 1) les trois groupes de locuteurs considérés sont les enseignants, les élèves et les rédacteurs des programmes scolaires français (bulletin officiel hors série du 24/09/92).

Toutefois, pour envisager la comparaison de corpus faut-il encore qu'ils soient comparables. Les corpus sont *a priori* de nature très différente. Les programmes scolaires relèvent, en effet, d'un texte prescriptif tandis que les élèves et les enseignants produisent des énoncés. Pour autant, nous pensons qu'il est possible de les rendre homogènes en exerçant sur eux des transformations maîtrisées parce que « *qu'il s'agisse de corpus suscités par le chercheur (comme c'est le cas pour les élèves ou les enseignants) ou de corpus "authentiques" (comme c'est le cas pour les programmes scolaires), les données ne sont en fait jamais réellement "données" mais construites* » (Maingueneau, 1991, p. 14). Montrons, à présent, comment le choix des modes de sélection et de traitement des données parviennent à rendre ces corpus hétérogènes comparables.

3.1. Mode de sélection des corpus

Nous cherchons à obtenir des corpus sous la forme d'une liste de mots et de réseaux sémantiques associés. Pour cela, nous allons opérer un découpage lexical sur les programmes scolaires et susciter des associations de mots ainsi que la construction de relations sémantiques chez les élèves et les enseignants.

3.1.1. Corpus issus des textes des programmes scolaires

Le programme scolaire se présente sous forme d'instructions écrites à l'intérieur de trois rubriques : « contenus », « objectifs cognitifs » et « activités envisageables ». Nous retenons les deux premières rubriques, rédigées sous forme d'énoncés impersonnels, parce qu'elles détiennent des éléments conceptuels qui nous permettront effectivement d'identifier les mots se référant au concept d'énergie.

Le travail de découpage de ces énoncés du programme a été effectué en deux temps. Premièrement, nous les indexons à l'aide d'un logiciel lexicométrique (« Lexicométrie » édité par Cédic-Nathan) et opérons un travail de réduction linguistique afin d'abstraire uniquement les formes lexicales (les formes grammaticales : à, pour, comme, etc., sont écartées). Deuxièmement, nous retenons tous les mots qui sont employés dans les phrases contenant le terme « énergie » et nous considérons qu'ils sont liés entre eux par le fait même qu'ils sont dans une même phrase.

3.1.2. Corpus issus des productions des élèves et des enseignants

Nous avons interrogé une trentaine d'enseignants et une cinquantaine d'élèves (deux classes) de 1^{er} S, par discipline, selon le même test constitué de deux questions. La première relève de l'association de mots classique : « *Qu'évoque pour vous le terme "énergie" ?* », reconnue comme technique pertinente pour recueillir les éléments constitutifs des conceptions (Abric, 1994 ; Sivade et al, 1993 ; De Bueger-Vander Borght & Mabilie, 1989). Sachant qu'un individu fournit en moyenne entre six et sept mots spontanément (Lieury, 1991), le corpus-enseignant est composé de deux cents citations en moyenne tandis que le corpus-élève est composé de trois cents citations en moyenne. La deuxième incite les élèves ou les enseignants à expliciter comment ils sont passés du terme inducteur « énergie » à chacun des mots cités : « *Établissez des liens, représentés à l'aide d'un trait, entre les mots proposés à la question n° 1 en association avec "énergie" et explicitez-les en un ou plusieurs mots sur le trait* ».

Sur la base de tels corpus, organisés de façon similaire autour d'une liste de termes isolés et de réseaux sémantiques explicités, nous exerçons un traitement mettant en jeu les mêmes critères.

3.2. Mode de traitement des corpus

Le traitement des corpus se réalise à partir de critères quantitatifs et qualitatifs grâce auxquels nous allons pouvoir discriminer les éléments centraux et les éléments périphériques des conceptions.

Nous distinguons deux critères quantitatifs selon qu'ils permettent de hiérarchiser les mots dans les listes de mots ou dans les réseaux sémantiques. Ces critères sont des calculs de fréquence, soit de citations, soit de liaisons, chacune d'elle pondérée par l'ordre d'apparition du mot dans la liste ou le nombre de liaisons du mot dans le réseau (Bruguière, 1997).

Le critère qualitatif repose sur une classification selon des catégories terminologiques associées à « énergie » récurrentes dans la littérature (cf. 1.2.) Nous en avons distingué trois, de terminologie scientifique croissante, allant d'une catégorie regroupant des mots très communs « Qualités et Enjeux », à une catégorie « Sources et Applications techniques » jusqu'à la catégorie la plus scientifique intitulée « Formes et Propriétés ». Dans la catégorie « Qualités et Enjeux », nous classons des mots qui désignent soit des « vertus » individuelles (être en forme, vigueur, etc.), soit des impacts sociaux (pollution, pouvoir, richesse, etc.) Cette catégorie relève d'une conception anthropomorphique et animiste de l'énergie tandis que la catégorie « Sources et Applications techniques » correspond à une approche plus matérialiste de l'énergie et regroupe des mots qui renvoient aux objets qui permettent à l'homme d'obtenir ou d'utiliser de l'énergie (barrage, charbon, électricité etc.) Enfin, la catégorie « Formes et Propriétés » regroupe des mots qui font référence à une approche plus abstraite de l'énergie (conservation, énergie potentielle, transformation, etc.)

3.2.1. Traitement des listes d'unités lexicales

Chacune des unités lexicales appartenant aux listes, est caractérisée par un critère de fréquence de citations (noté %n) et un critère de rang (noté P). Le critère de rang correspond, chez les élèves et les enseignants, à l'ordre dans lequel le mot a été cité (plus un mot est cité en premier, plus son rang est élevé), alors que dans les programmes il traduit l'appartenance du mot à telle ou telle subdivision du texte. La congruence de ces deux critères nous permet d'établir une fréquence de citations, pondérée par le rang de citation (noté %n*P) qui constitue un critère de centralité, c'est-à-dire qu'il permet de reconnaître des « mots clés » ou mots centraux et des mots non significatifs ou mots périphériques.

3.2.2. Traitement des réseaux sémantiques

Selon la même logique, chacune des unités mises en relation dans les réseaux sémantiques est caractérisée par deux critères, le nombre total de liaisons (noté l) et le nombre total de liaisons différentes (noté l') critères qui nous permettent de fixer la fréquence de liaison diversifiée (notée %l*l'), ce qui constitue un autre critère de centralité (Rouquette & Guimelli, 1992). Les termes centraux ainsi repérés seront appelés ici, les termes pivots.

4. ANALYSE DES DONNÉES

L'analyse porte sur les lexiques et les réseaux sémantiques communs aux différents acteurs (élèves, enseignants et programmes

scolaires) ou aux disciplines d'enseignement de l'énergie (physique-chimie, biologie-géologie, géographie). Nous supposons, en effet, que c'est à travers « ce qui est commun » qu'une communication intra et interdisciplinaire est possible (étymologiquement com-muniquer signifie « mettre en commun »).

Nous rappelons que nous examinons uniquement les mots relevant du noyau des conceptions, c'est-à-dire les mots clés et les mots pivots qui sont exprimés ou reliés par les différents groupes d'acteurs. Nous considérons que c'est par ces mots qu'est susceptible de circuler l'information au sein de la classe et *a fortiori* à travers les disciplines. Alors que les mots clés indiquent instantanément les aspects les plus saillants des conceptions, les mots pivots et leurs liens explicités permettent d'en comprendre leurs significations.

Pour visualiser les mots centraux communs, nous avons recours à un mode de représentation graphique triangulaire particulier selon que l'on se place à un niveau intra ou interdisciplinaire. Quant aux réseaux de termes, nous serons amenés à les tracer sous forme de cartes qui visualisent à la fois les liens entre les termes cités et leurs explicitations (Bruguière et al, 1994). Cette spatialisation des concepts s'inspire des nombreux travaux sur les cartes conceptuelles dont le numéro 5 de *Didaskalia* (1994) propose une large synthèse, et s'effectue selon des règles de traçage que nous précisons ci-après.

4.1. La communication au niveau intradisciplinaire

Dans le but de lire au mieux la communication intradisciplinaire, les mots clés et les mots pivots, sont représentés de la façon suivante :

- les mots clés (figure 2) sont répartis sur des schémas triangulaires.

Les mots clés spécifiques à chacun des locuteurs sont placés au sommet du triangle (solaire, mouvement, mécanique, etc.), alors que les mots clés communs à deux types de locuteurs sont placés sur les arêtes (électrique, chimique, force) et que ceux communs aux trois types de locuteurs sont placés au centre du triangle (nucléaire) ;

- les mots pivots (figure 3) apparaissent dans des rectangles grisés (besoin, dégage, source, etc.) et leurs liens sont représentés par des traits au niveau desquels sont retranscrits, dans des formes ovales, les mots justifiant les liens (vie, électricité, nucléaire, chaleur, etc.)

Regardons à présent, successivement dans chacun des contextes disciplinaires, les caractéristiques terminologiques communes aux différents locuteurs.

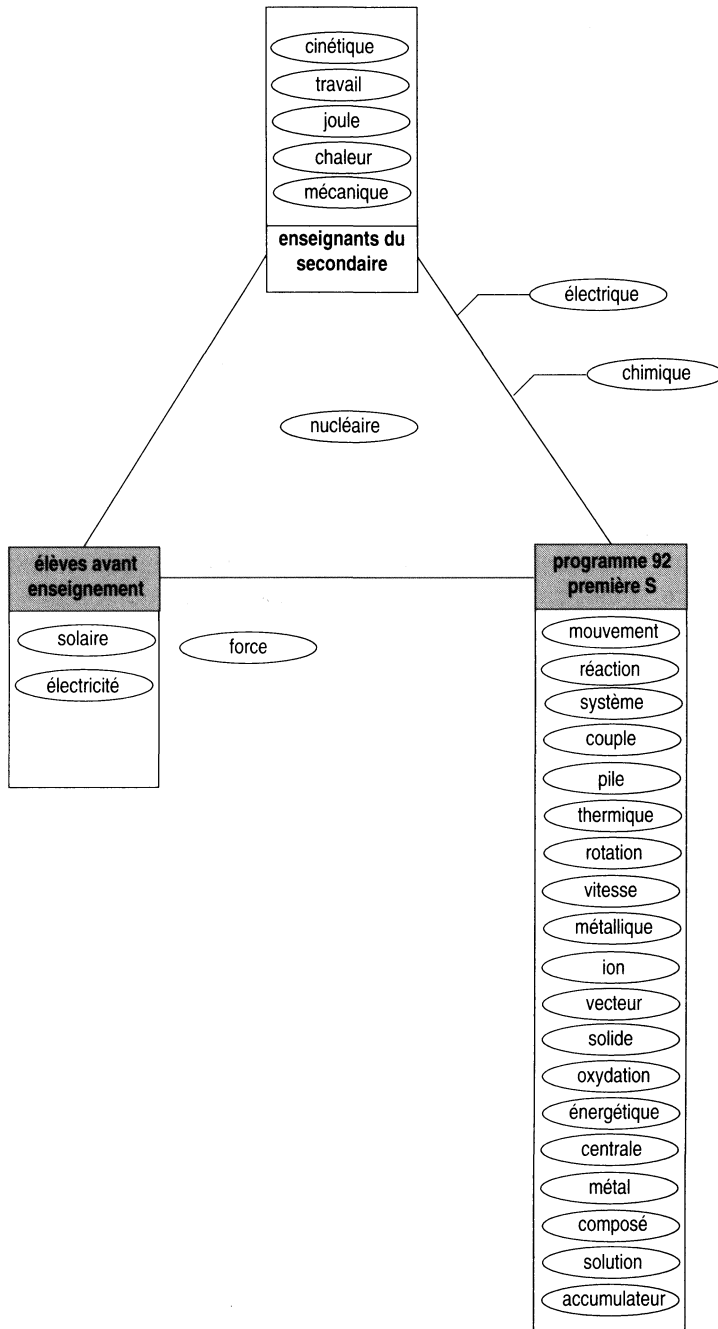


Figure 2 : Les mots clés en classe de physique-chimie (1^{re} S, avant enseignement)

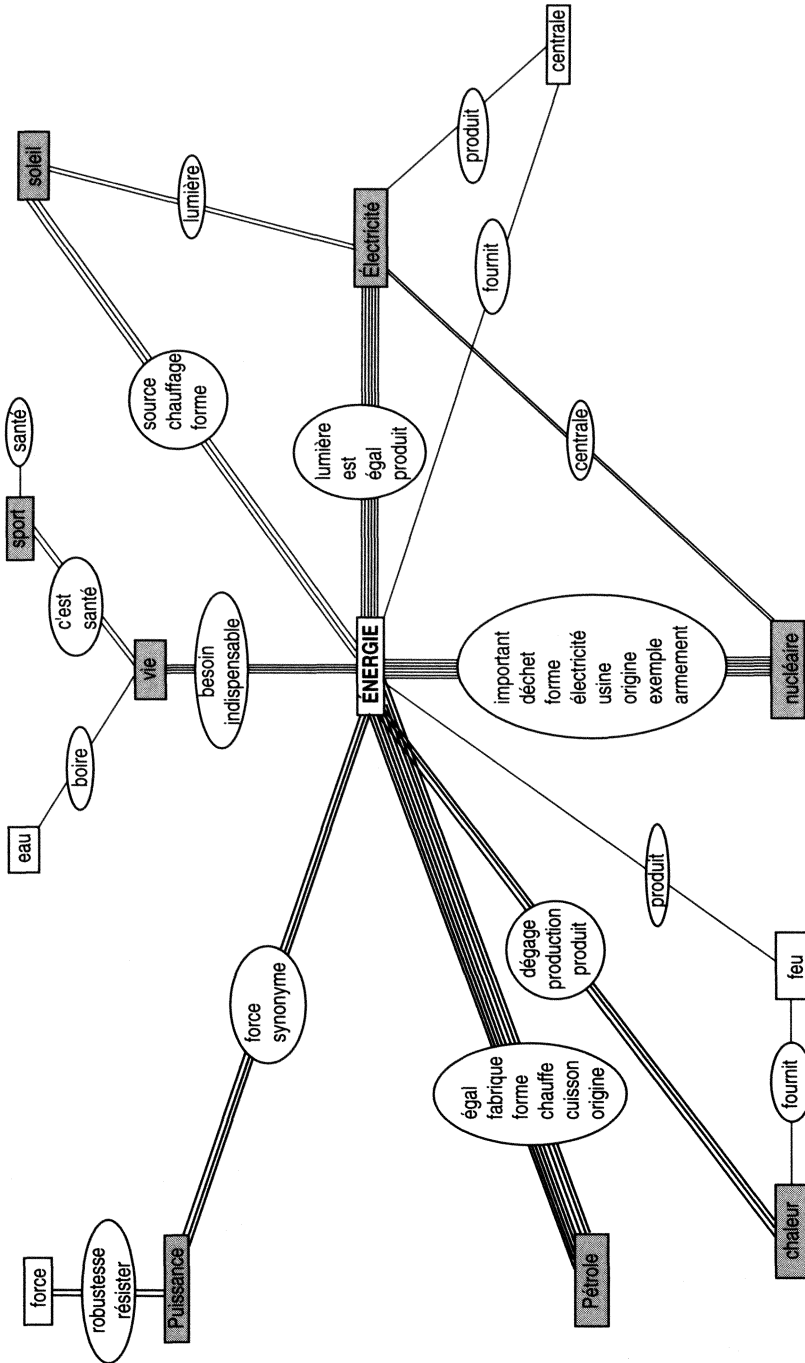


Figure 3 : Les mots pivots chez les élèves en classe de physique-chimie (1^{er} S, avant enseignement)

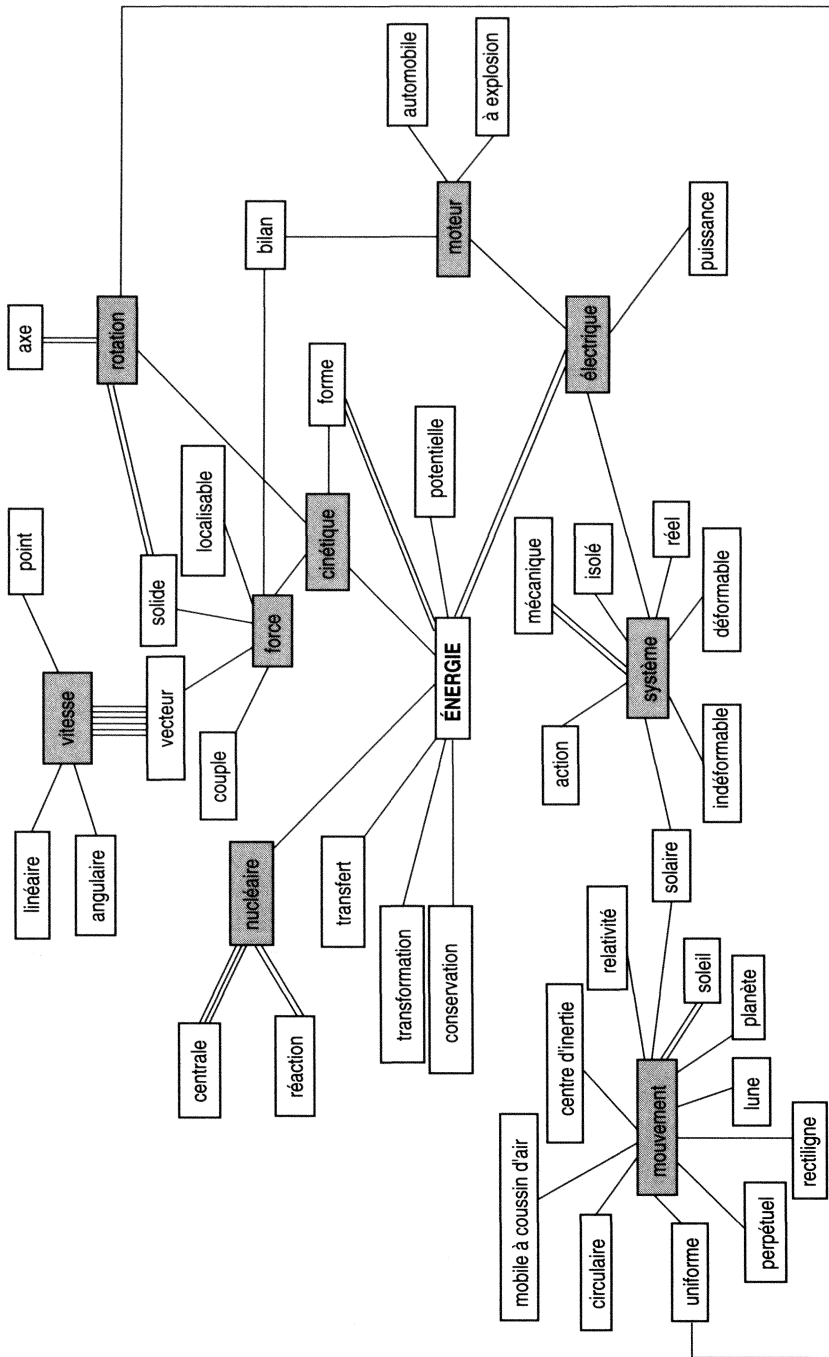


Figure 5 : Les mots pivots dans le programme de physique (1^{re} S, 1992)

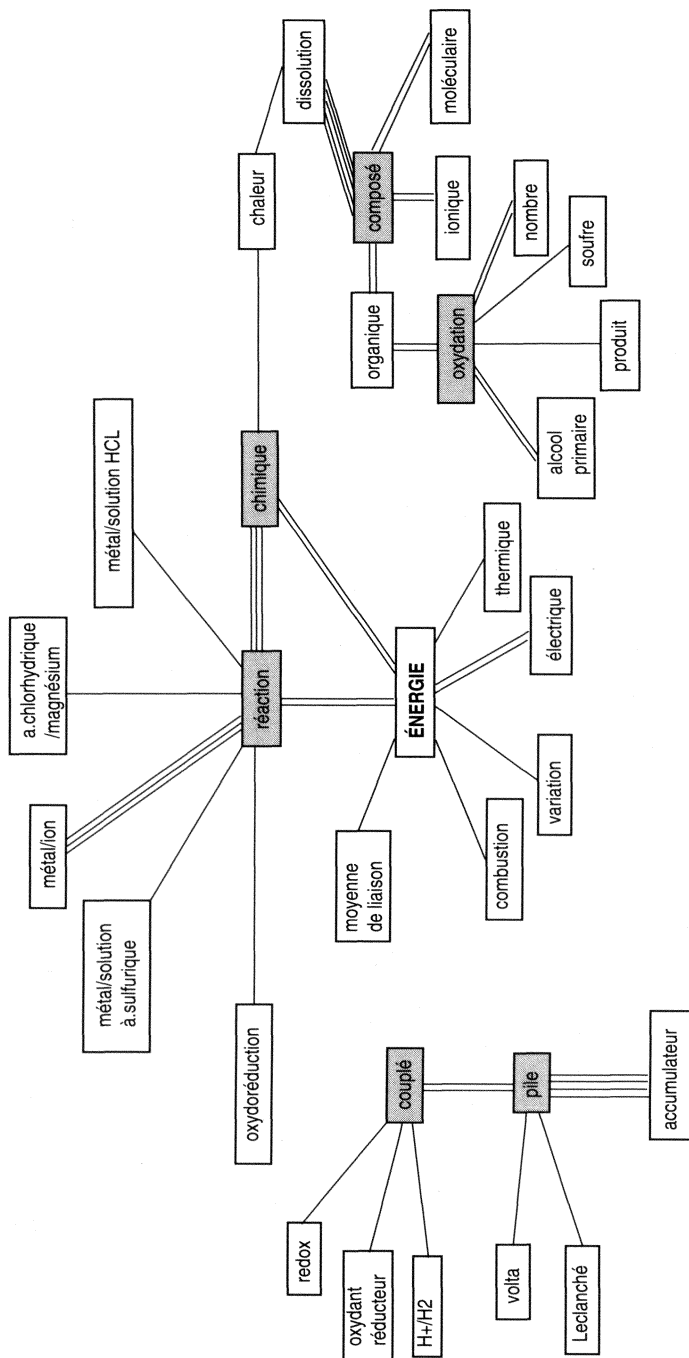


Figure 6 : Les mots pivots dans le programme de chimie (1^{re} S, 1992)

En classe de physique-chimie (figures. 2, 3, 4, 5, 6) :

– seul « nucléaire », qui est à la fois mot clé (figure 2) et mot pivot, est commun aux trois groupes d'énonciateurs (figures 3, 4, 5, 6). Ce terme représente la forme ou la source d'énergie qui produit de l'électricité (nucléaire et électricité sont fortement reliés par les élèves (figure 3) et les enseignants (figure 4). C'est l'exemple standard d'énergie qui pose des questions d'ordre technologique et de maîtrise (centrale, danger, déchet, est-ce le bon choix ?, etc.) « Nucléaire » active des approches très diverses, en termes de « formes et propriétés », « sources et applications », mais aussi « d'enjeux » ;

– à part « force », tous les autres mots clés ou pivots communs (aux enseignants et aux élèves, ou aux enseignants et aux programmes scolaires (figures 5 et 6)) décrivent des formes d'énergie (nucléaire, électrique et chimique). Notons que « force » renvoie à une signification commune très proche de celle du mot « puissance » (robustesse, résister) chez les élèves (figure 3) et à une grandeur vectorielle (vecteur, bilan, couple) dans le programme de physique (figure 5) ;

– « Vie », qui n'est pas un mot clé, active pourtant, chez les enseignants et les élèves, des réseaux montrant le caractère « vital » de l'énergie. De la même façon « transformation » devient un mot pivot principal chez les enseignants (figure 4) et procure avec « forme » une des explications les plus fréquemment utilisées pour les liens. Chez les élèves (figure 3), c'est l'idée de production (produit, fabrique, fournit) qui permet de relier de nombreux mots (dyades énergie/pétrole, énergie/électricité, énergie/feu, etc.)

En classe de biologie-géologie (figures 7, 8) :

– « solaire/soleil » est l'unique mot clé commun aux trois groupes d'énonciateurs (figure 7). La relation solaire/nucléaire est prépondérante, aussi bien chez les élèves que chez les enseignants (figure 8). Elle s'exprime dans une triade énergie/soleil/nucléaire qui oppose les « qualités et enjeux » de ces deux types d'énergie ;

– « ATP » joue le rôle de mot pivot chez les enseignants (figure 8) parce qu'il permet de relier des phénomènes énergétiques rencontrés en biologie-géologie comme la respiration, la photosynthèse ou le mouvement. Notons que « mouvement » est commun aux enseignants et aux programmes (programme de sciences de la Vie et de la Terre, bulletin officiel hors série du 24/09/92) dans lesquels on trouve des expressions comme

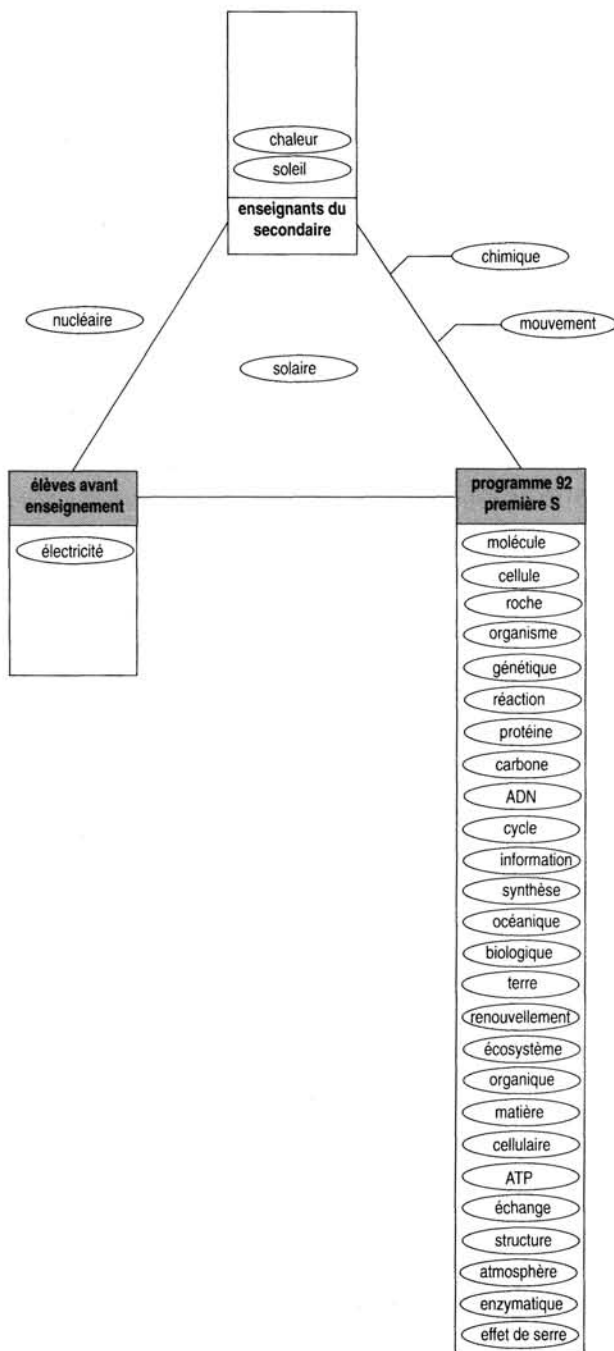


Figure 7 : Les mots clés en classe de biologie-géologie (1^{re} S, avant enseignement)

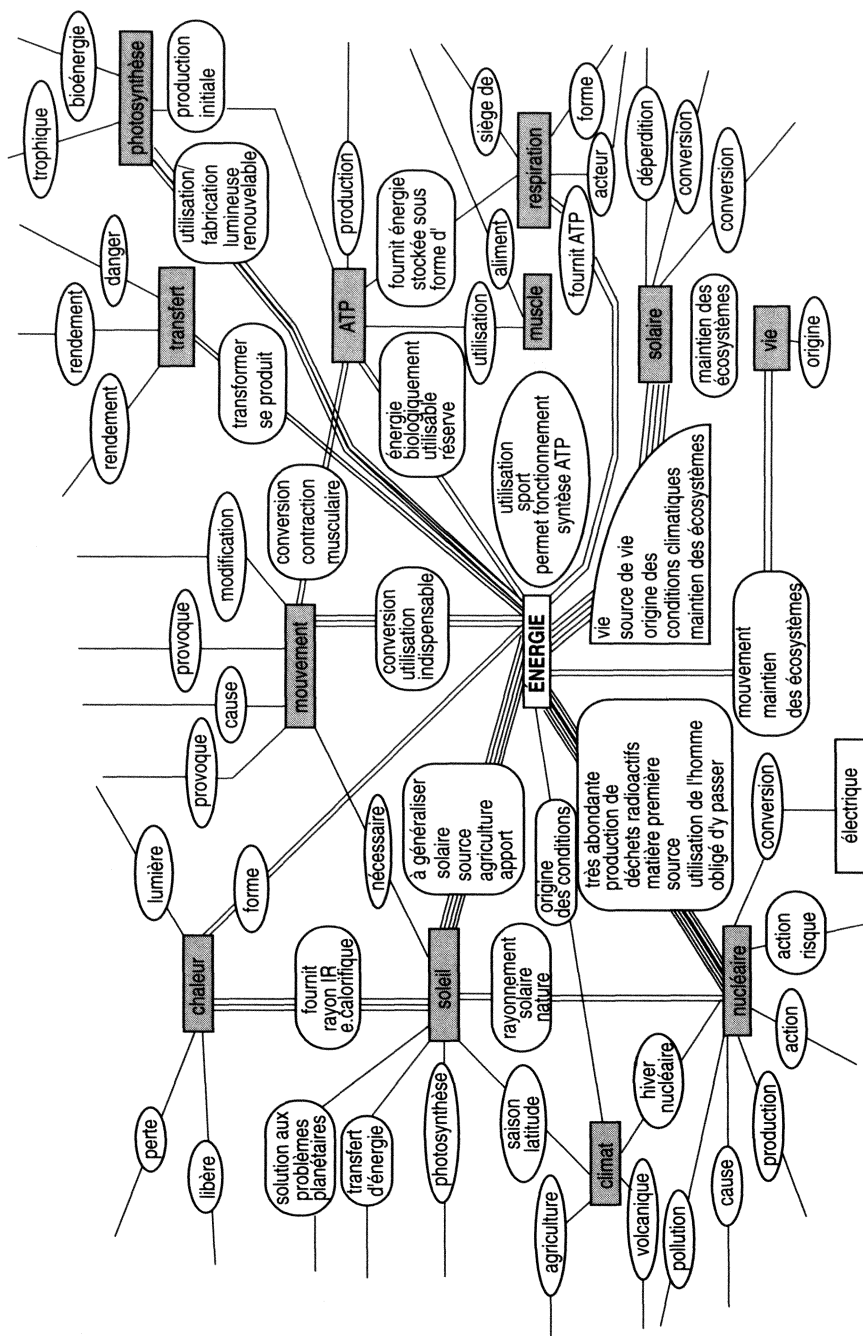


Figure 8 : Les mots pivots chez les enseignants en classe de biologie-géologie (1^{re} S, avant enseignement)

« mouvement de l'écorce terrestre », « mouvement cellulaire ». C'est le terme de « conversion » qui, chez les enseignants (figure 8), explique le plus souvent les passages d'une source à une forme d'énergie (dyade nucléaire/électrique) ou à un effet (dyade ATP/mouvement), même si l'on retrouve aussi les termes (fournit, produit, fabrique) utilisés par les élèves (figure 3).

En classe de géographie (figures 9, 10) :

– les seuls mots clés communs, « solaire », « nucléaire », « électricité » et « force », le sont entre les enseignants et les élèves (figure 9). À mieux regarder, il est vrai que le lexique du programme de géographie (programme de géographie, bulletin officiel hors série du 24/09/92) s'articule principalement autour du champ relatif à l'étude de la France qui ne traite pas de questions énergétiques ;

– les réseaux de relations se nouent principalement chez les enseignants (figure 10) entre énergie-électricité/nucléaire/dépendance, qui privilégient les aspects « sources et applications » mais aussi « enjeux » de l'énergie. Ce sont des termes empruntés à l'idée de production (fournit, produit) qui servent à relier de nombreuses dyades (nucléaire/énergie, nucléaire/électricité, soleil/puissance, etc.)

Nous pouvons noter une approche prépondérante de l'énergie par l'idée de formes, renforcée peut-être par le type de question (le substantif énergie n'appelle-t-il pas un qualificatif ?) Cette approche est largement critiquée par Lemeignan & Weil-Barais (1993) : « *Procéder ainsi est, en quelque sorte, avancer que l'énergie est cinétique, potentielle, mécanique, avant d'être énergie, concept universel et donc caractérisé partout et toujours par un même ensemble de propositions* » (Lemeignan & Weil-Barais, 1993, p. 70). Néanmoins, l'existence d'un niveau de communication intradisciplinaire construit sur des formes d'énergie nous interroge sur le statut que nous devons accorder aux formes d'énergie, sur la façon de les mettre en relation avec d'autres concepts, d'autant que l'idée de forme peut activer chez les locuteurs des catégories sémantiques de nature très différente mais aussi des articulations en termes de transformation, production, conversion, laissant entrevoir une propriété fondamentale de l'énergie. Comment passer de l'idée de forme à celle de propriété de transformation que possède l'énergie ?

Sur le plan graphique, remarquons que les lexiques des élèves sont concentrés autour de quelques mots alors que ceux des enseignants et des programmes sont plus dispersés. Il s'ensuit des réseaux de relations avec des structures très différentes. Les élèves offrent des réseaux assez

linéaires, convergeant vers « énergie », alors que les enseignants activent des réseaux plus intégrés (nombreuses triades) et les programmes, des réseaux arborescents moins intégrés.

4.2. La communication au niveau interdisciplinaire

Pour effectuer des comparaisons au niveau interdisciplinaire, nous avons recours à d'autres représentations graphiques des mots clés, fondées sur les représentations précédentes (l'idée sous-jacente est que la communication interdisciplinaire se construit à partir de la communication intradisciplinaire existante). Ces nouvelles figures articulent les trois triangles disciplinaires de telle façon qu'ils soient centrés sur un même type de locuteur. Nous distinguons alors (figure 11), un cercle central où apparaissent les mots clés à portée interdisciplinaire pour un groupe de locuteurs donné, ainsi que trois triangles périphériques où apparaissent les mots clés à portée intradisciplinaire. Au milieu du cercle sont notés les mots communs aux trois disciplines (soleil, électricité, nucléaire, etc.) et, sur chaque portion de cercle, les mots communs à deux disciplines (chaleur, thermique).

En comparant les trois figures (11, 12, 13), on note la présence de mots clés communs aux différentes disciplines chez les élèves (figure 11) et les enseignants (figure 12) et la quasi-absence de mots de cette nature dans les programmes scolaires (figure 13). Chez les élèves, on retrouve presque tous les mêmes mots clés ou pivots quel que soit le contexte disciplinaire (solaire/soleil, électricité, nucléaire, lumière, puissance, force). En revanche, l'influence disciplinaire est très importante dans les programmes scolaires où aucun mot clé ou pivot n'est commun.

Regardons plus précisément les mots clés à portée interdisciplinaire présents chez les enseignants (figure 12). Ainsi, quelle que soit leur origine disciplinaire, les enseignants évoquent les cinq mêmes mots clés qui expriment des formes d'énergie (solaire), des formes de transfert d'énergie (chaleur), des grandeurs physiques (force), ou encore des effets produits (mouvement). Tous ces éléments lexicaux, à portée interdisciplinaire, relèvent de la catégorie que nous avons appelée « formes et propriétés ».

Concernant les mots pivots (figures 3, 8, 10), seul « nucléaire » est commun à tous les enseignants. Toutefois, les enseignants de géographie appréhendent « nucléaire » selon une logique économique en termes de « sources et applications techniques » tandis que ceux de biologie-géologie et de physique-chimie y associent une approche en termes « d'enjeux » sur l'environnement (pollution, déchets radioactifs, danger, etc.) Les enseignants de physique-chimie partagent presque tous leurs mots pivots, soit avec les enseignants de biologie-géologie, soit avec ceux de géographie.

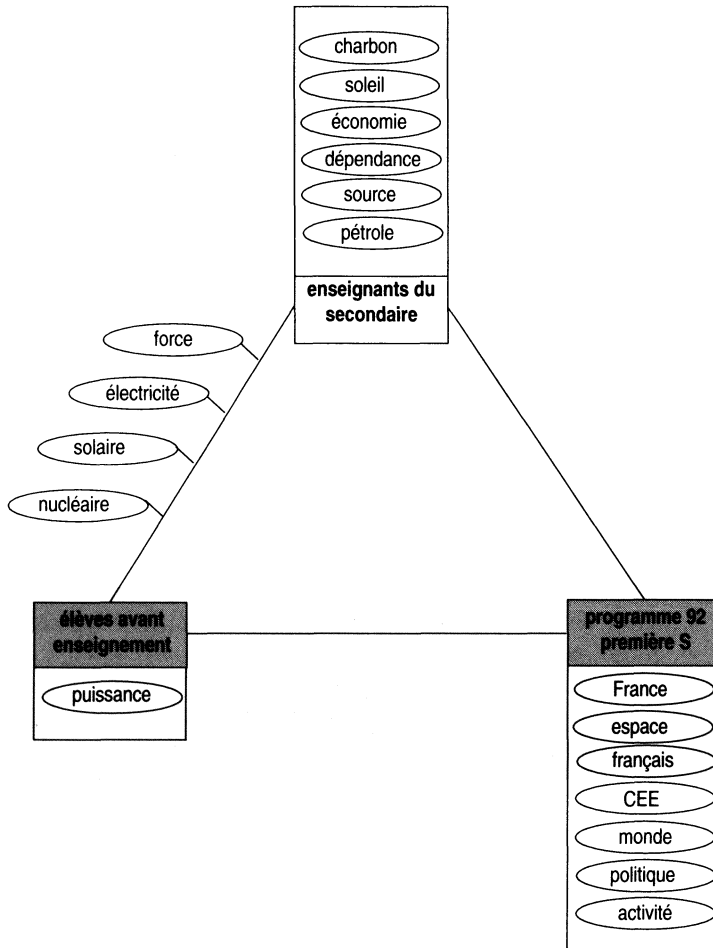


Figure 9 : Les mots clés en classe de géographie (1^{re} S, avant enseignement)

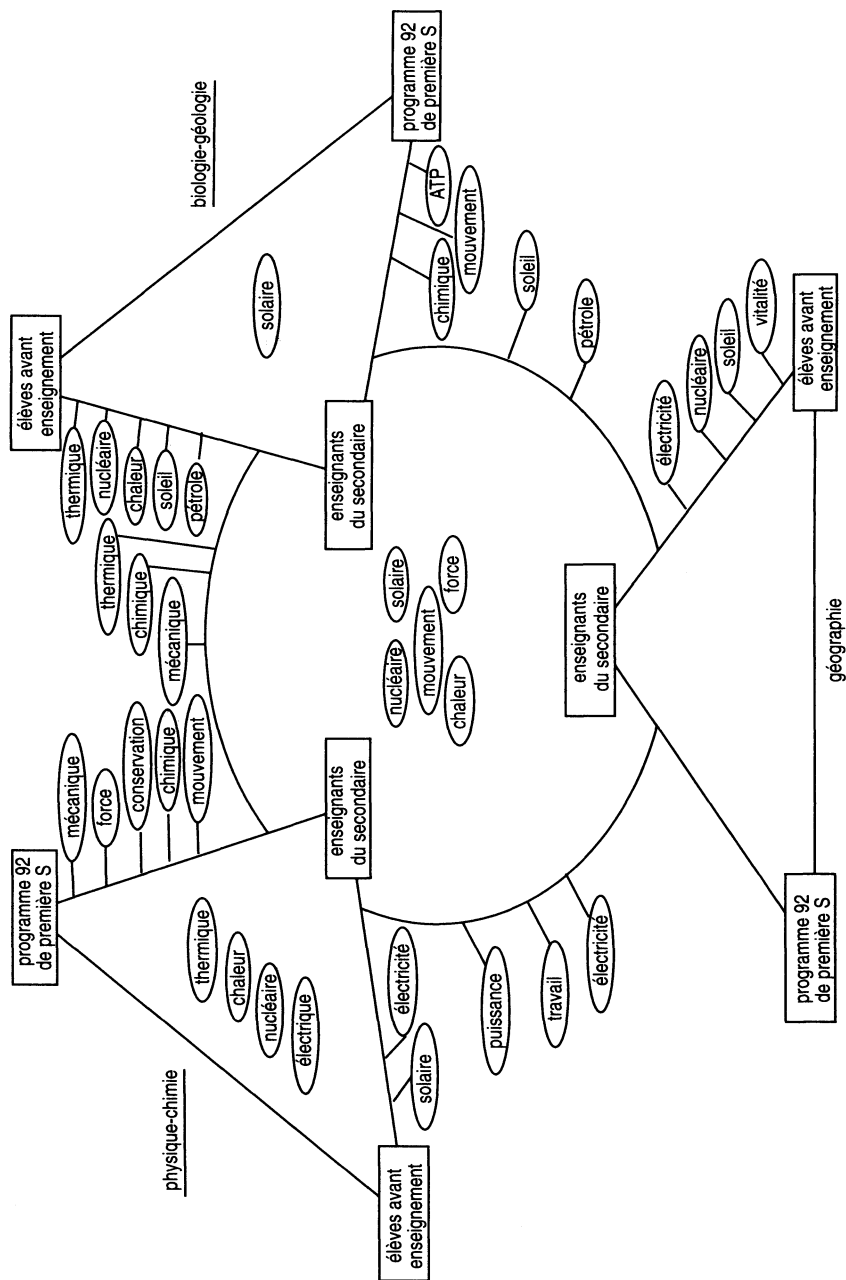


Figure 12 : Les mots clés porteurs de communication intra et interdisciplinaires chez les enseignants du secondaire (1^{er} S, avant enseignement)

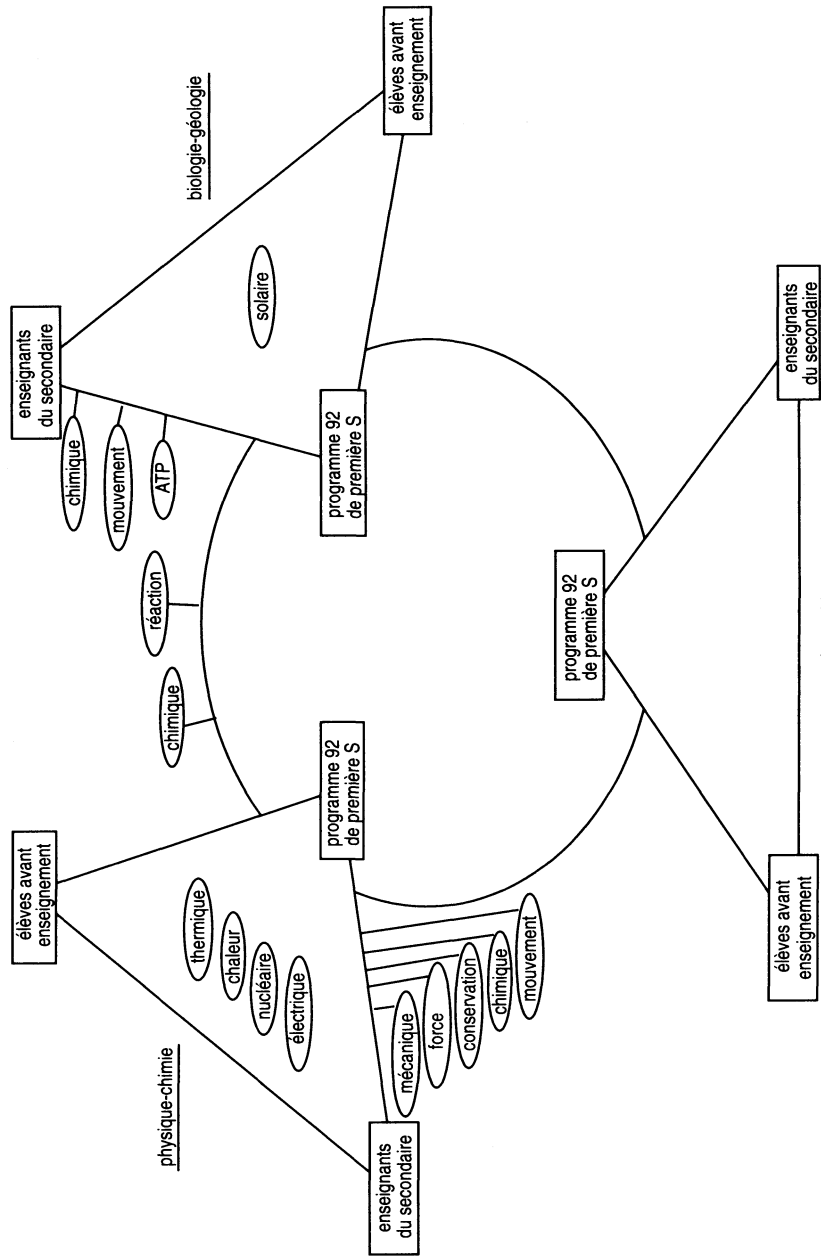


Figure 13 : Les mots clés porteurs de communication intra et interdisciplinaires dans les programmes scolaires (1^{re} S, 1992)

Le même système explicatif principal, articulé autour de l'idée de transformation, est mis en jeu. Les enseignants de physique-chimie parlent de « transformation » ou de « forme » tandis que ceux de biologie-géologie préfèrent « conversion » et que ceux de géographie utilisent « production » qui n'exprime pas, cependant, l'idée de changement présente dans *transformation* et *conversion*.

Manifestement, les programmes ne donnent pas les mots, et au-delà les concepts, sur lesquels les enseignants pourraient s'appuyer pour organiser des mises en relation avec les autres disciplines, alors qu'ils prônent vivement la nécessité de le faire. Les enseignants sont voués à construire un discours à portée interdisciplinaire en dehors d'un cadre lexical explicitement établi par les programmes. Les pistes interdisciplinaires que les lexiques et les réseaux sémantiques des enseignants inspirent, reposent sur la propriété de transformation et autour de l'exploitation de l'énergie nucléaire qui, de la même façon, mobilise chez les élèves de nombreux réseaux.

CONCLUSION

Tout au long de notre article, nous avons vu combien la construction de notre méthode comparative est étroitement liée aux corpus étudiés et à la perspective de recherche. La nature des contenus, l'objectif poursuivi, le cadre théorique sont autant d'éléments qui participent au choix de la méthode. Ainsi, les étapes de standardisation de nos corpus hétérogènes qui ont abouti à un découpage en unités lexicales sont déterminées par la question de recherche concernant la mise au jour d'un référent langagier intra et interdisciplinaire. De la même manière la volonté d'effectuer des comparaisons dans un cadre didactique a engendré la conception de représentations graphiques originales (format triangulaire ou circulaire) des connaissances.

Dans certaines conditions, l'emploi de cet outil a pu être étendu pour appréhender d'autres questions de recherche, en particulier une question voisine s'intéressant aux éléments lexicaux par lesquels une problématique environnementale pourrait être intégrée à l'enseignement/apprentissage de l'énergie (Bruguière, 1997).

Sur le plan des résultats de recherche, les comparaisons des lexiques des trois groupes d'acteurs pris dans différents contextes disciplinaires ont mis au jour que ce sont les aspects de formes et de sources d'énergie qui s'expriment communément et que seuls les enseignants sont porteurs d'une communication intra et interdisciplinaire. Toutefois comment peuvent-ils donner du sens aux idées prégnantes et confuses de formes

associées étroitement à celle de transformation (ou conversion, production) et de sources d'énergie ?

Nous proposons que les enseignants de 1^{re} S en physique-chimie, biologie-géologie ou géographie aient recours au référent « chaîne énergétique » lors de l'enseignement de l'énergie, parce que ce modèle présente des caractéristiques terminologiques qui exploitent l'idée de forme/transformation et celle de source d'énergie. Or, comme nous l'avons montré précédemment ces entrées terminologiques semblent pertinentes pour opérer des allers retours intra et interdisciplinaires. En outre, la notion de chaîne énergétique revêt un caractère interdisciplinaire. Proposée comme outil d'analyse dans les programmes français de physique-chimie actuel (bulletin officiel hors série du 24/09/92), elle est disponible en termes de « chaîne de conversion » (Brunet et al, 1993) en géographie, de « chaîne alimentaire » en biologie (Elton, 1927) mais aussi en géologie (Orange & Orange, 1995).

Ainsi, la structure conceptuelle associée à la notion de chaîne énergétique permet une entrée qualitative dans le concept d'énergie à travers les termes évocateurs, de « réservoir », « formes d'énergie », « transfert d'énergie » et « transformation ». Même si ces termes, comme nous le fait remarquer A. Tiberghien (1994), ne sont pas utilisés dans le savoir savant, ils sont porteurs de distinctions nécessaires pour appréhender de façon interdisciplinaire le concept d'énergie.

Derrière la formulation « réservoir » est associé le concept de « formes d'énergie » qui laisse entendre l'énergie comme une grandeur qui permet de décrire des contenus (réservoirs). Les réservoirs peuvent être pris comme des « sources » qui produisent de l'énergie. Si l'énergie décrit un système, le concept de transfert d'énergie prend alors tout son sens et exprime des interactions entre systèmes. L'idée vague de « formes d'énergie » recouvre alors la distinction entre les concepts de formes d'énergie (potentielle, nucléaire, chimique, etc.) et de formes de transfert d'énergie (chaleur, travail électrique, etc.) De la même façon, le terme de « transformation » traduit des transformations au sein d'un système (transformation d'une forme d'énergie en une autre), mais aussi entre systèmes (transformation d'une forme de transfert d'énergie en une autre).

Au delà de ces considérations terminologiques, soulignons que c'est parce que la notion de chaîne énergétique permet de considérer simultanément plusieurs phénoménologies (électricité, phénomènes thermiques, mécanique, etc.), et donc des équivalences entre les formes d'énergie, que le principe de conservation peut être posé comme régissant l'analyse énergétique en physique (Agabra et al, 1980 ; Tiberghien, 1994). Ainsi, la chaîne énergétique peut être prise comme un système isolé ou

non (selon le contexte disciplinaire), où s'appliquent les propriétés fondamentales de conservation mais aussi de dégradation de l'énergie (Bruguière, 1997).

Nous sommes bien conscients qu'une distinction linguistique, reposant sur le référent chaîne énergétique, n'est pas suffisante pour maîtriser le concept d'énergie mais elle nous semble un préalable utile et indispensable dès lors qu'elle repose sur des registres d'expression disponibles qui sont porteurs de mises en relation intra et interdisciplinaires.

BIBLIOGRAPHIE

- ABRIC J.-C. (1994). *Pratiques sociales et représentation*, Paris, PUF.
- AGABRA J., GAUTHERIN J., LEMEIGNAN G., PEZET R. & VERLHAC M. (1980). *Sciences physiques-Libre parcours*, classe de 3^{ème}. Paris, Hachette.
- AUDIGIER F. (1985). *Enseignement de l'énergie*. Rapport de recherche n° 7. Paris, INRP.
- BALLINI P., ROBARDET G. & ROLANDO J.-M. (1997). L'intuition, obstacle à l'acquisition de concepts scientifiques. Propositions pour l'enseignement du concept d'énergie en Première S. *Aster*, n° 24, pp. 81-112.
- BLISS J. & OGBORN J. (1985). Children's choices of use of energy. *European Journal of Science Education*, vol. 7, n° 2, pp. 195-203.
- BOYES E. & STANISSTREET M. (1990). Pupils' ideas concerning energy sources. *International Journal of Science Education*, vol. 12, n° 5, pp. 513-529.
- BROUZENG P. (1980). Étude historique de la notion d'énergie. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 624, pp. 1135-1146.
- BRUGUIÈRE C., CROS D. & SIVADE A. (1994). Les représentations spatiales des concepts associés à l'énergie comme outil de formation des enseignants. *Didaskalia*, n° 5, pp. 105-118.
- BRUGUIÈRE C. (1997). *Contribution à l'identification des réseaux conceptuels associés à l'enseignement-apprentissage de l'énergie (l'enseignement-apprentissage de l'énergie pris dans un contexte pluridisciplinaire et une problématique environnementale)*. Thèse de doctorat, Université Montpellier II.
- BRUNET R., FERRAS R. & THÉRY H. (1993). *Les mots de la géographie, dictionnaire critique*. Montpellier/Paris, Reclus, La Documentation française.
- BULLETIN OFFICIEL (1992). *Hors série du 24 septembre 1992, tome II*. Paris, Ministère de l'Éducation Nationale, pp. 25-102.
- CHEVALLARD Y. (1991). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, la Pensée sauvage.
- DE BUEGER-VANDER BORGHT C. & MABILLE A. (1989). The evolution in the meanings given by Belgian secondary school pupils to biological and chemical terms. *International Journal of Science Education*, vol. 11, n° 3, pp. 347-362.
- DE BUEGER-VANDER BORGHT C. & LAMBERT J. (1994). Des représentations spatiales de concepts : pour quoi faire ? *Didaskalia*, n° 5, pp. 73-90.
- DUIT R. (1981). Understanding energy as a conserved quantity – Remarks on the article by R.U. Sexl. *European Journal of Science Education*, vol. 3, n° 3, pp. 291-301.

- EI HAJJAMIA., LAHLO F., BENYAMNAS. & TIBERGHENA. (1999). Élaboration d'une méthode d'analyse des discours d'enseignants ; cas de l'énergie. *Didaskalia*, n° 15, pp. 59-86.
- FLAMENT C. (1989). Structure et dynamique des représentations sociales. In D. Jodelet (Éd.), *Les représentations sociales*. Paris, PUF, pp. 204-219.
- GUIMELLI C. & ROUQUETTE M.-L. (1992). Contribution du modèle associatif des schèmes cognitifs de base à l'analyse structurale des représentations sociales. *Bulletin de psychologie*, tome XLII, n° 397, pp. 869-885.
- JACOBI D. (1987). *Textes et images de la vulgarisation scientifique*. Berne, Peter Lang.
- KOLIOPOULOS D. & RAVANIS K. (1998). L'enseignement de l'énergie au collège vu par les enseignants. Grille d'analyse de leurs conceptions. *Aster*, n° 26, pp. 165-180.
- LAURSEN B. (1998). Ensembles lexicaux. Problèmes de description et de délimitation. *Cahiers de lexicologie*, n° 73, pp. 131-147.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris, Hachette.
- LERAT P. (1995). *Les langues spécialisées*. Paris, PUF.
- LIEURY A. (1991). *Mémoire et réussite scolaire*. Paris, Dunod.
- MARTINAND J.-L. (1985). La construction de la notion d'énergie. *Rapport de recherche*, n° 3, INRP, Paris, INRP.
- MAINGUENEAU D. (1991). *L'analyse du discours*. Paris, Hachette.
- MOLINER P. (1992). *La représentation sociale comme grille de lecture*. Aix en Provence, Presses Universitaires de Provence.
- ORANGE C. & ORANGE D. (1995). Géologie et biologie : analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques. *Aster*, n° 21, pp. 27-48.
- POITOU J. & DUBOIS D. (1999). Catégories sémantiques et cognitives. Une étude expérimentale en sémantique lexicale. *Cahiers de lexicologie*, n° 74, pp. 5-27.
- ROUQUETTE M.-L. & GUIMELLI C. (1979). *Méthodologie expérimentale des sciences humaines*. Paris, Nathan.
- SIVADE A., CROS D. & BEGEL M. (1993). Techniques d'association de mots : utilisation de filtre-applications aux images mentales liées à l'environnement. *Res Academia*, vol. 11, n° 1, pp. 73-88.
- SOLOMON J. (1982). How children learn about energy or does the first law come first ? *School Science Review*, vol. 63, pp. 415-422.
- TIBERGHEN A., ARSAC G. & MÉHEUT M. (1994). Analyse de projets d'enseignement issus de recherches en didactique. In G. Arzac, Y. Chevallard, J.-L. Martinand & A. Tiberghien, *La transposition didactique à l'épreuve*. La Pensée sauvage, pp. 105-133.
- TOUSSAINT J. & TRELLE J.-L. (1996). La conservation un grand principe. *Aster*, n° 2, pp. 44-87.
- VERGÈS P. (1992). L'évocation de l'argent : une méthode pour la définition du noyau central d'une représentation. *Bulletin de psychologie, numéro spécial : nouvelles voies en psychologie sociale*, tome XLV, pp. 203-209.
- VIENNOT L. (1989). Bilan de forces et lois des actions réciproques. Analyse des difficultés des élèves et enjeux didactiques. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 716, pp. 951-972.
- WATTS D.M. (1983). Some alternative views of energy. *Physics Education*, vol. 18, pp. 213-217.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les enseignants et les élèves des lycées de l'Académie de Montpellier, qui se sont livrés spontanément aux questionnaires, mais également Jean-Louis Vaisse (secrétaire à l'Université d'Avignon) pour sa précieuse contribution dans la réalisation des figures.

Cet article a été reçu le 11/03/1999 et accepté le 10/01/2001.