
DEFINITION DE REGLES D'APPARIEMENT LINGUISTIQUES POUR L'ANALYSE DIDACTIQUE D'UNE TACHE DE MODELISATION EN PHYSIQUE

Gérard COLLET

Equipe COAST — CNRS / IRPEACS

Ecole Normale Supérieure de Lyon

46 Allée d'Italie 69364 Lyon CEDEX 07 Tél : 72 72 85 37 Télécopieur : 72 72 80 80

Résumé

La recherche présentée ici propose une approche linguistique pour une problématique didactique relative à la modélisation en sciences expérimentales. L'apprentissage et l'utilisation d'un modèle nécessitent en effet la mise en relation d'objets et d'événements du monde réel avec des entités théoriques désignées par des mots dont la définition est nécessairement fournie en langue naturelle. Il apparaît donc nécessaire de préciser les connaissances véhiculées par la langue, et l'influence de son fonctionnement propre sur les mécanismes cognitifs mis en œuvre dans une tâche de modélisation. Fondée sur une analyse sémantique et syntactico-sémantique des mots d'une tâche relative au domaine de l'énergie, cette étude montre sur un exemple comment il est possible d'établir un système de règles décrivant les potentialités sémantiques d'association entre le monde du modèle théorique et le monde réel.

Mots clefs — *Didactique, Modélisation, Sémantique et syntaxe structurale, Règles de préférence, Appariements.*

Introduction

Les recherches menées en didactique des sciences expérimentales, et en particulier en physique, montrent l'importance des tâches de modélisation dans la construction du sens des théories, et dans l'acquisition de la capacité à appliquer ces théories à des situations réelles.

Les approches classiques des mécanismes cognitifs mis en œuvre dans une tâche de modélisation se placent essentiellement dans des perspectives psychologiques ou didactiques, et s'appuient sur les théories du raisonnement ou sur les conceptions piagétienne¹. Elles mettent en évidence les obstacles didactiques majeurs qui apparaissent lors de l'étude de situations réelles [Joshua & Dupin, 1986]. Des phénomènes de langue ont souvent été mentionnés dans les approches didactiques [Laborde, 1982], [Tiberghien, 1994], mais n'ont pas tenu une place centrale.

Il apparaît cependant que la langue est au cœur de nombre des mécanismes cognitifs observés, et qu'une étude approfondie des connaissances qu'elle véhicule, ainsi que des raisonnements qu'elle induit par son fonctionnement propre, est de nature à compléter les analyses existantes, et à donner une description probante de caractéristiques aussi déterminantes que les potentialités d'appariement entre entités théoriques et objets du monde réel, la chronologie d'apparition de ces associations, ou encore leur résistance aux contradictions éventuelles.

La recherche que je présente ici étudie la situation constituée par l'enseignement expérimental du modèle de l'énergie. Du point de vue didactique, d'importants résultats de recherche sur les conceptions des élèves

mettent en lumière que certaines interprétations incorrectes d'un point de vue physique semblent assez peu modifiées par l'enseignement. On constate en effet que même après un enseignement à un niveau avancé (universitaire par exemple), si les élèves sont généralement capables de résoudre des problèmes formulés dans le langage des modèles de la physique, dès que les questions mettent en jeu des situations matérielles qui doivent être traitées avant d'être interprétées dans les termes d'un modèle physique, l'échec est à grande échelle [Tiberghien, 1993].

Choisissant une approche linguistique, cette étude propose la mise en forme de règles d'appariement fondées sur la notion de parenté sémantique entre les unités lexicales introduites par le modèle physique, nécessairement définies en langue naturelle, et celles qui désignent les objets et les phénomènes du monde réel. Différents types de parentés sémantiques seront abordés, qui s'appuieront sur des notions théoriques sémantiques et syntactico-sémantiques, et sur les analyses de lexèmes de la tâche issues d'enquêtes linguistiques réalisées dans ce but.

1. Un problème cognitif posé par la didactique

1.1. La place de la langue dans la modélisation

Le but général de la physique est de pouvoir interpréter et prédire les événements du monde. Or les rapports qu'entretiennent le monde de la physique et le monde réel mettent en avant la notion de modèle, et dans le fonctionnement d'un modèle la langue naturelle occupe une place essentielle.

L'analyse épistémologique² conduit à considérer qu'en physique, l'interprétation et la prédiction impliquent

¹ Voir à ce sujet : [Gentner, 1986], [Rumelhart, 1986], [Vosniadou, 1989], et [Tiberghien & al., 1992]

² Voir par exemple [Tiberghien & al. 1992], et [Halbwachs, 1971].

un processus de modélisation qui met en jeu trois niveaux : la théorie, le modèle, et le champ expérimental de référence [Tiberghien, 1993], et dans lequel les mécanismes assurant le passage d'un niveau à l'autre jouent un rôle cognitif central.

1.1.1. Le cas de l'enseignement de la modélisation de l'énergie

Le cycle d'enseignement expérimental qui sert de support à cette étude, prend pour domaine d'application la modélisation de phénomènes mettant en jeu l'énergie.

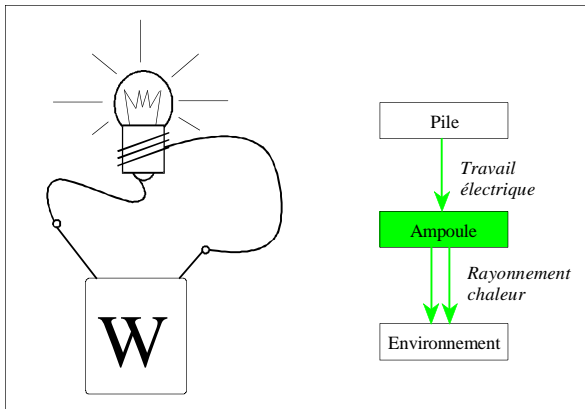


Figure 1 — Modélisation d'une expérience

Dans les tâches étudiées, les élèves doivent établir une relation entre un modèle de l'énergie dont un "germe" leur est donné, et les événements qu'ils observent au cours de l'expérimentation. L'expérience est réalisée par deux élèves, qui doivent construire ensemble une "chaîne énergétique" traduisant dans les termes du modèle les phénomènes observés (Figure 1).

Les considérations épistémologiques et didactiques précédentes confèrent à ces situations un intérêt qui dépasse le cadre de ce champ d'application, et en font un prototype de l'étude des mécanismes de la modélisation en sciences expérimentales.

Les tâches proposées aux élèves débouchent sur d'importantes questions de recherche ayant pour but d'élucider les activités cognitives utilisées lors de la mise en relation du niveau théorie-modèle avec le niveau du champ expérimental. Une approche linguistique peut évidemment apporter des éléments de réponse à ces questions.

1.1.2. Les connaissances véhiculées par la langue

Les élèves, au début de l'activité, n'ont pas de connaissances physiques reposant sur un enseignement formel. La connaissance qu'ils auront du domaine abordé reposera donc d'une part sur la définition du modèle qui vient de leur être donnée, d'autre part sur les connaissances langagières et sur les connaissances quotidiennes et non formalisées des objets et phénomènes physiques. Trois aspects s'imbriquent dans le modèle qui leur est donné : une définition de l'énergie s'appuyant sur trois propriétés et sur le principe fondamental de conservation, des symboles représentant les entités théoriques du modèle, enfin des règles de cohérence internes du modèle. L'énergie, est caractérisée par trois propriétés qui font appel aux trois

lèxes stockage, transformation et transfert. Le fait important est ici l'intrication introduite entre le sens conféré aux termes par la théorie, et le sens qu'ils possèdent dans la langue.

Le principe de conservation de l'énergie, quant à lui, énonce une propriété essentielle du point de vue de la physique, qui s'accorde mal avec la signification courante du mot telle que la consignent les dictionnaires qui mettent plutôt en évidence la possession ou l'absence ("Avoir beaucoup d'énergie" ; "Manquer d'énergie" [Petit Robert, 1993]).

Notons encore que le germe de modèle tel qu'il est présenté aux élèves fonde leur compréhension du concept d'énergie sur une métaphore fortement marquée par la propriété de stockage dans un réservoir.

Enfin, la situation didactique choisie place les élèves dans un rôle d'expérimentateur où ils devront mobiliser leur expérience du monde sensible, ce qui impliquera par conséquent de prendre en compte non seulement les connaissances langagières, mais les connaissances de nature référentielles.

Il apparaît donc que les connaissances véhiculées par un modèle physique ne se limitent pas aux définitions visibles, mais introduisent par le biais des mots employés, d'autres connaissances, lexicales ou expérimentielles, extérieures à la théorie physique. Certaines de ces connaissances pourront jouer un rôle "parasite", d'autres au contraire sont indispensables et non totalement cernées. Ces deux aspects incitent à une approche linguistique fine, susceptible de fournir une description précise des connaissances réellement disponibles.

1.1.3. Les mécanismes cognitifs et les raisonnements

Je considérerai comme raisonnement un enchaînement, une combinaison, une confrontation d'énoncés obéissant aux deux impératifs de respect de contraintes explicites et d'organisation en fonction d'un but [Oléron, 1977]. Le terme de mécanisme cognitif sera pris dans une acception plus générale, et englobera les raisonnements explicites et ceux dont seul le résultat est apparent, que je qualifierai de silencieux.

L'approche choisie me conduit à rechercher les mécanismes dans lesquels l'influence de la langue est déterminante, et qui relèvent d'une analyse linguistique, et en particulier les *appariements*.

Le rôle essentiel des appariements — Les mécanismes de passage d'un monde à l'autre tiennent une place centrale dans les tâches de modélisation. Ces appariements dont la présence avait déjà été relevée [Collet, 1994] ont été l'objet d'analyses didactiques qui ont amené à en distinguer plusieurs types [Tiberghien & Megalakaki, 1994]. Dans la plupart des mécanismes ainsi définis interviennent les connaissances que les élèves possèdent sur la signification des items lexicaux, et sur les éléments référentiels disponibles.

La découverte des appariements peut correspondre à des processus différents selon qu'elle ne considère qu'un élément de chaque monde pris isolément, qu'elle nécessite la prise en compte simultanée de plusieurs éléments de chaque monde, ou encore qu'elle est l'aboutissement d'un raisonnement qui prend en compte

la situation dans son ensemble. Le premier cas sera qualifié ici *d'appariement élémentaire*, le second *d'appariement de structure*, et l'origine de ces deux mécanismes sera recherchée dans la signification des items lexicaux mis en jeu. Le dernier cas manifeste généralement une approche holistique, et le rôle de la langue y est plus difficile à cerner.

Le point de vue adopté ici me conduit maintenant à mettre en évidence les moyens que fournit une approche linguistique pour préciser ces nombreuses influences.

1.2. Niveaux d'analyse de l'influence de la langue

Je disjoindrai dans cette analyse a priori les aspects liés à la signification des mots et aux connaissances qu'ils véhiculent, de ceux qui reposent sur le fonctionnement de la langue, et qui sont impliqués dans des raisonnements plus apparents.

1.2.1. La langue comme support de connaissance

Conformément à la loi de Claparède³, l'influence des connaissances attachées aux items lexicaux pourra être silencieuse, et ce d'autant plus que la signification invoquée sera proche de la valeur quotidienne. Pour la mettre en évidence, il sera donc nécessaire de décrire les contenus lexicaux a priori, sur la base d'une étude indépendante de la tâche elle-même. A titre d'exemple, la réflexion silencieuse qui conduira à associer le symbole du réservoir avec le mot pile, aura nécessité le rapprochement des signifiés des mots réservoir et pile. Ce sont vraisemblablement tous les types de traits sémantiques, dénotatifs et connotatifs, associés au mot réservoir et sélectionnés par la situation qui pourront être utilisés. [Kerbrat-Orecchioni, 1977].

Les mots peuvent également être le support des concepts. Pour Vygotsky, les concepts sont en quelque sorte "encapsulés" dans les mots, et l'apparition d'un mot réfère d'emblée au concept qu'il désigne. Dans cette mesure, l'apprentissage d'un nouveau mot scientifique, ou d'un sens nouveau pour un mot déjà connu, s'appuie sur les concepts déjà associés à ce mot au cours du développement, et est donc très vraisemblablement influencé par cette base.

1.2.2. La langue comme support de raisonnement

Les associations inconscientes et spontanées déjà mentionnées constituent une forme élémentaire de raisonnement.

On sait que de manière plus apparente, il existe entre l'activité cognitive et les manifestations langagières une corrélation forte. Ainsi Pottier déclare :

La grammaire n'est qu'une abstraction généralisante de l'expérience humaine
[Pottier, 1992]

Pour Vygotsky également, la maîtrise de la langue, et en particulier des structures grammaticales, est intimement liée aux fonctions cognitives [Vygotsky, 1989, p 89].

S'il est admis que la syntaxe est la trace de mécanismes cognitifs, l'hypothèse réciproque peut être raisonnablement avancée, selon laquelle la maîtrise des structures syntaxiques et des contraintes sémantiques portant sur les éléments de cette structure, conditionnent certains raisonnements. La nécessité de verbalisation établit un lien supplémentaire entre langue et mécanismes cognitifs.

1.2.3. L'influence des mécanismes langagiers sur la tâche

L'étude déjà citée de Megalakaki et Tiberghien, révèle la chronologie d'apparition des mécanismes cognitifs, et l'évolution de leur répartition au cours de l'apprentissage. Dans une étude exhaustive, il conviendra de porter une attention particulière à l'analyse de cette chronologie, afin de préciser les étapes auxquelles peuvent intervenir les différents éléments linguistiques qui participent aux mécanismes cognitifs. Les lois de Claparède déjà citées laissent de plus prévoir que des associations très spontanément établies seront essentiellement inconscientes. Il est alors vraisemblable que l'association ainsi établie sera rarement remise en cause au cours de la tâche. Ces deux hypothèses, pour lesquelles peu de bases théoriques existent, devront faire l'objet d'une analyse approfondie dans une phase ultérieure, mais ne seront pas traitées ici.

Il apparaît donc que le rôle de la langue concerne aussi bien les connaissances mobilisées qu'un certain nombre des mécanismes cognitifs mis en œuvre. Ces hypothèses conduisent à proposer une description englobant et synthétisant les différents éléments dont nous avons vu qu'ils prennent appui sur le fonctionnement de la langue.

1.3. Des questions de nature linguistique

Reprenant les deux rôles fondamentaux de la langue, qui est à la fois support de connaissances et support du raisonnement, il est alors possible d'exprimer en termes didactiques des questions précises auxquelles la linguistique devra proposer des réponses. Formulons ainsi ces questions :

1 — Quels sont les différents niveaux de contenus linguistiques qui peuvent intervenir dans la tâche étudiée, et comment peut-on les décrire ?

2 — Peut-on formaliser certains des mécanismes cognitifs qui, agissant sur ces contenus, et sous-tendus par le fonctionnement de la langue, sont à l'œuvre dans les tâches étudiées ?

La recherche que je présente tentera d'apporter des réponses à ces deux questions. Elle conduira également à ouvrir des voies vers des problèmes qui sont d'une grande importance pour la didactique, mais qui resteront pour l'essentiel hors du champ de cet exposé. Ceux-ci ont trait à la chronologie et à la révocabilité des solutions obtenues, à l'étude des traces langagières de l'apprentissage, et à la relation entre les propriétés sémantiques d'un item dans la langue et dans le domaine d'apprentissage considéré.

³ Du point de vue de la spontanéité d'un raisonnement, Vygotsky rappelle l'intéressante Loi de Claparède, également citée par Piaget, qui établit que la conscience que nous avons d'un mécanisme cognitif varie en raison inverse de sa difficulté [Vygotsky, 1989].

2. Une problématique linguistique

Les questions issues de la didactique relèvent pour partie de méthodologies linguistiques existantes, mais nous nous sommes aperçus que certains aspects soulevaient des questions nouvelles. A l'articulation de l'analyse sémantique et syntactico-sémantique et de la réflexion cognitive, elles requièrent l'utilisation d'hypothèses théoriques sur les relations qu'entretient la langue avec la conceptualisation, avec la connaissance des objets extra linguistiques, et avec les raisonnements fondamentaux que sont l'individuation et la catégorisation.

2.1. Des questions linguistiques

Reformulées sur un plan linguistique, les deux questions principales peuvent être quelque peu décomposées, et s'énoncer comme suit :

1 — Comment décrire le contenu attaché aux lexèmes de la tâche en y intégrant, outre les connaissances évoquées par la situation, les connaissances lexicales et extra-linguistiques ?

2 — Comment décrire le contenu attaché aux structures syntaxiques fortes impliquées par certains des lexèmes, et aux contraintes sémantiques pesant sur les termes de ces structures ?

3 — Le fonctionnement de la langue, appuyé sur les connaissances ci-dessus décrites, détermine-t-il certains des raisonnements employés, et dans ce cas de quelle manière le fait-il ?

Partant de ces questions de recherche, je proposerai ici deux règles fondées sur des considérations linguistiques et capables de décrire, et dans une certaine mesure de prédire, certains des mécanismes cognitifs observés.

2.2. Point de vue linguistique sur la situation cognitive

Je considérerai d'abord les relations entre langage et raisonnement, puis la spécificité d'un enseignement expérimental qui nécessite de s'intéresser au rôle des référents.

La position que j'ai adoptée est que les productions langagières ne sont pas seulement l'expression de processus sous-jacents, mais qu'elles les dirigent et les contraignent. L'existence de ce lien bidirectionnel est posée par Picoche⁴, à la suite de Guillaume qui postulait le passage d'une étape psycho-systématique intuitive à une étape psycho-sémiologique, puis à l'organisation d'un discours dont le but est de "rendre dicible ce qui ne l'était pas." Dans le cadre de la recherche en commun de la solution d'un problème, il est très probable que cette dicibilité sera un point essentiel de l'argumentation des élèves, et un élément déterminant de la solution finalement retenue.

La prise en compte explicite de la spécificité du contenu didactique, avec en particulier les fonctionnalités des objets utilisés, la relation entre expérience humaine et langage [Pottier 1992], l'interpénétration entre domaine spécialisé et domaine

de sens commun au niveau des signifiants pose des problèmes assez délicats, et non entièrement explorés. Dans les expériences que réalisent les élèves, objets et phénomènes physiques sont désignés par des lexèmes comme "chaleur", ou par des syntagmes "moteur électrique", qui sont généralement bien connus et dotés de sens et de référents extérieurs au domaine proprement physique. Une description exhaustive des phénomènes cognitifs amorcés par ces termes nécessite une analyse linguistique centrée sur les aspects sémantiques, ainsi qu'une analyse référentielle permettant de préciser les relations qui existent entre le niveau linguistique et les caractéristiques et fonctionnalités des objets. Le point de vue linguistique assujettit donc la dénotation⁵ au fonctionnement du langage, en ce que les catégorisations référentielles sont déterminées par le contexte linguistique.

2.3. Cadre théorique linguistique

Au plan linguistique, un double problème est posé : Il s'agit d'abord de montrer l'importance des contenus activés par les signifiants utilisés, il s'agit ensuite de mettre en évidence les modes d'influence du fonctionnement de la langue sur certains des raisonnements employés par les élèves.

2.3.1. Les mécanismes sémantiques à l'oeuvre

Du point de vue linguistique, les appariements consistent en des opérations de rapprochement des sémèmes désignés par les mots des deux mondes, ainsi qu'en des opérations d'opposition.

Les *appariements élémentaires* peuvent être établis par les élèves à partir des caractéristiques sémiologiques de deux items.

Les *appariements de structure*, qui mettent en jeu plusieurs éléments de chaque monde sont plus tardifs, et donnent lieu à une importante activité langagière ; ils utilisent les relations syntaxiques que peuvent établir entre elles les unités lexicales du modèle, et les contraintes sémantiques qui pèsent sur cette structure dans le fonctionnement usuel de la langue.

Il existe également des associations qui prennent place au niveau d'une appréhension plus globale du modèle physique et de l'expérience réalisée, et qui utilisent des raisonnements plus achevés ; la place de la langue dans ces appariements complexes est moins aisée à analyser, et je n'en approfondirai pas l'étude dans cet article.

2.3.2. Les outils de la linguistique

L'analyse des conditions de rapprochement et d'opposition entre les sémèmes en jeu dans la tâche proposée incite à une analyse sémiologique. L'importance déjà amplement soulignée de certains faits de syntaxe, et en particulier des caractéristiques actantielles des verbes et de leurs dérivés, m'amène quant à elle à

⁵ Les termes de dénotation et connotation sont employés de manière assez flottante, je retiendrai pour dénotation la définition de Kerbrat : "Nous appellerons "dénotatif " le sens qui intervient dans le mécanisme référentiel, c'est à dire l'ensemble des informations que véhicule une unité linguistique, et qui lui permettent d'entrer en relation avec un objet extra linguistique au cours des opérations onomasiologiques et sémasiologiques. Toutes les informations subsidiaires seront dites connotatives."

⁴ Dans [Picoche, 1986].

rechercher dans les travaux de Tesni re⁶ ainsi que dans ceux de Picoche les éléments théoriques de l'articulation joignant ce type de structure et la sémantique qu'elle sous-tend. La recherche de règles susceptibles de décrire les mécanismes observés s'appuiera quant à elle sur les travaux de Jackendoff⁷.

L'analyse sémique ou componentielle⁸ est susceptible de produire une description des sèmes caractérisant les lexèmes clés de la tâche de modélisation. Elle doit également définir la nature des différents ensembles à l'intérieur desquels se produisent les effets d'équivalence et d'opposition. L'analyse que je propose s'appuiera donc sur les notions de sème générique, de sème spécifique, de sème inhérent et de sème afférent, dont j'emprunte à Rastier la typologie. A ces définitions j'ajouterai le terme de sème *définitoire*, celui-ci étant le sème introduit de manière institutionnelle pour chacune des entités du modèle.

Du point de vue de la structure syntactico-sémantique, rappelons que Tesnière considère une phrase comme un petit acte théâtral mettant en jeu un certain nombre d'acteurs. La recherche des structures actantielles associées aux lexèmes clés de la tâche permet une meilleure compréhension des mécanismes d'attraction qui apparaissent entre les mots, et l'étude des valences préférentielles conduit à une description des mécanismes de saturation qui accompagnent la tâche de modélisation. Le fonctionnement de la langue impose par ailleurs aux acteurs susceptibles d'occuper les places actantielles disponibles, d'appartenir à des catégories sémantiques déterminées, et d'entretenir entre eux des rapports précis. Il convient donc d'obtenir une description précise des dimensions et des domaines sémantiques de chaque actant, et de cerner les relations éventuelles (similarité, opposition...) entre ces actants. J'utilise ici la représentation graphique des structures syntactico-sémantiques proposée par Tesnière. L'auteur propose de décrire la phrase sous forme d'un *stemma* où le sujet et les différents compléments sont sur le même plan et sont appelés les *actants* du verbe. Ce stemma, constitué de l'ensemble des traits de connexion, exprime, selon l'auteur, l'activité parlante.

Dans la situation didactique où nous nous plaçons, la recherche d'une solution passe par l'exploration des sens possibles des mots constituant l'énoncé du modèle physique ; il convient donc de représenter la signification d'un mot de manière dynamique et de décrire ses potentialités sémantiques. Les notions de signifié de puissance et de cinétisme d'abord introduites par Guillaume, puis reprises par Picoche⁹, fournissent des réponses fort adaptées à cet objectif. Ces notions devraient permettre également de "fonder en raison" l'ordination des différentes acceptions du mot. La description recherch e doit rendre compte de l'immense souplesse des processus de pensée mis à contribution par les élèves, de la créativité dont ils font preuve, de la recherche de cohérence que traduisent les croisements d'information et les vérifications omniprésentes

auxquelles ils se livrent. Elles doivent également rendre compte de l'imbrication des niveaux de raisonnement associant le global à l'élémentaire.

A ces impératifs répondent remarquablement bien les contraintes énoncées par Jackendoff, qui veulent rendre compte des propriétés de gradualité et de flou, d'association par ressemblance de famille, de créativité, et rendre compte également des contraintes grammaticales, de la contrainte cognitive et des éléments référentiels. J'adopterai donc le cadre théorique des règles de préférence proposé par Jackendoff, qui laisse place à des règles locales comme à des règles globales, et qui, de ce point de vue encore est bien adaptée à l'étude des mécanismes cognitifs étudiés.

3. Enquête linguistique et analyse des lexèmes de la tâche

La méthodologie choisie requiert l'obtention d'un corpus de données centré sur ceux de ces items dont le rôle paraît déterminant au vu des observations préalables. Il convenait de procéder à une enquête linguistique¹⁰ extérieure au contexte de la tâche. L'analyse des dialogues montre qu'une importante activité langag re se développe autour des lex mes¹¹ introduits par le modèle, qui déborde largement leur définition théorique ; l'enquête devait donc porter une attention particulière à ces termes. Menée auprès de 146 élèves, elle demandait une définition et la construction de phrases libres, puis proposait des tests d'usage. Elle a permis la description de cinq lexèmes essentiels du modèle, et de six lexèmes désignant des objets et des ph nom nes¹².

Dans le cadre de cet article, je me restreindrai à l'étude de trois lexèmes désignant des entités du modèle, et ne proposerai, à titre d'exemple, que les résultats relatifs à l'analyse des mots réservoir, énergie, et du verbe transformer¹³.

3.1. Le substantif réservoir

En tant que substantif, l'item réservoir ne présente pas de structure actantielle [Picoche, 1986]. L'analyse des réponses obtenues porte essentiellement sur les traits associés à la fonction d'un réservoir, sur la nature possible de son contenu, et sur sa configuration matérielle.

Au vu des résultats d'analyse, un réservoir achevé, dont un archétype peut être la "citerne", est un contenant délimité de forme stable (par opposition au sac), recevant une espèce concrète fluide ou difficilement dénombrable, qui peut se remplir et se vider, et dont la capacité est limitée. La valeur

⁶ [Tesnière, 1965]

⁷ Voir Jackendoff, 1990].

⁸ Voir [Kerbrat-Orecchioni, 1977], ainsi que [Rastier, 1987].

⁹ Voir [Picoche, 1986].

¹⁰ [Collet 1995] : définition complète de cette enquête linguistique

¹¹ J'entends ici lexème au sens de radical [Picoche, 1992], ce qui inclut les verbes transformer et transférer.

¹² Pour le modèle, les mots: Transformer, Transférer, Réservoir,  nergie, Chaleur, pour le monde sensible, les mots: Pile  lectrique, Moteur, Environnement, Lumiere, Ampoule  lectrique, Poids.

¹³ Pour la description des mots désignant les objets ou phénomènes, voir [Collet, 1996].

intrinsèque du contenu, attestée par de nombreux exemples ("garder", "ne pas laisser échapper", "grain", "essence"...), n'est pas propre au type de contenant réservoir, et dans des formes métaphoriques, on trouvera des "réservoirs de pauvreté".

Les résultats convergents produits par les analyses permettent alors de définir un signifié de puissance et un cinétisme capables de rendre compte des différentes acceptions possibles et de leur gradation :

Signifié de puissance — Enceinte capable de contenir une espèce fluide ou non dénombrable, dont la quantité peut varier dans certaines limites, et capable de la préserver.

Cinétisme — Dans la saisie plénière, un réservoir est une enceinte présentant des ouvertures, susceptible de conserver un fluide ayant une valeur intrinsèque, d'être remplie ou vidée. Dans les saisies intermédiaire, un certain nombre de sèmes ont disparu, il peut s'agir par exemple de la qualité de *fluide* du contenu, ou de l'existence d'une *enceinte discernable*. La définition de ces saisies est multiple, mais elles conservent plusieurs caractéristiques concrètes de la saisie plénière. Dans les saisies les plus subduites, enfin, ne demeure que la notion de *regroupement* d'une espèce quelconque dont la quantité peut varier ; c'est là la définition minimale d'un réservoir.

3.2. Le substantif énergie

Le mot énergie est un "mot abstrait", ou plutôt un mot dont le référent est de la catégorie la plus abstraite, représentant une entité qui n'est ni matérielle, ni représentable, ni comptable, ni catégorématique [Martin, 1992].

Le signifié de puissance obtenu rend compte de la notion de flux organisé autour des quatre pôles : possession, production, utilisation, dépense. Il consigne l'existence d'énergie sous diverses formes, dans certaines entités concrètes et dans certains phénomènes naturels, ainsi que la possibilité d'extraire de l'énergie d'un certain nombre de ces entités ou phénomènes. Il s'appuie, enfin, sur le fait que l'énergie est indispensable à la plupart des actions et des changements, et à la production de nouveaux phénomènes, y compris énergétiques.

Signifié de puissance — Entité abstraite, quantifiable, existant sous diverses formes, contenue dans certaines entités ou dans certains phénomènes physiques, chimiques ou biologiques, qui peut être utilisée à certaines fins, ou dépensée.

Elle est nécessaire à la plupart des actions, à la vie, à la production de phénomènes ou de nouvelles formes d'énergie.

Elle doit être prélevée sur une entité ou à un phénomène la possédant, ce qui en diminuera la quantité disponible.

Cinétisme — Les saisies plénières ordinaires sont celles définies par le signifié de puissance. Dans les saisies les plus subduites ont disparu les notions d'action réelle, d'origine nécessaire, et

de consommation, il ne subsiste que la notion profonde d'action au sens large, incluant les actions abstraites. Il existe enfin une zone projetée de saisies "abduites", où tout en conservant l'ensemble des sèmes accessibles à partir du signifié de puissance défini plus haut, le mot énergie contient en plus la nécessité de rechercher l'origine et le devenir de cette entité.

3.3. Le verbe transformer et ses dérivés

La structure profonde du verbe transformer apparaît aussi bien lorsqu'il est employé à la forme active que lorsqu'il est utilisé aux formes passive ou pronominale¹⁴, et on peut également la retrouver dans des phrases construites autour de mots translétés, comme transformation ou transformateur. Cette permanence de la structure actancielle est bien connue, et était notée par Tesnière :

La translation réalise l'adaptation du structural au sémantique. Il faut noter que si structurellement le mot translété acquiert de nouvelles propriétés, il restera néanmoins marqué par son origine. [Tesnière, 1965].

La description proposée ici pour le verbe sera donc utilisée également pour ses dérivés transformateur et transformation. L'étude des structures actantielles est complétée par une analyse de la fréquence d'apparition des différents actants, ainsi que des cooccurrences observées. La structure proposée résultant de cette étude est représentée sur la figure 2.

Cette étude conduit à introduire les notions de *labilité* et d'*autonomie* d'un actant, et celle d'*indissociabilité* de deux actants. Un actant sera dit labile lorsque sa présence n'apparaît pas indispensable dans la structure actantielle. Je qualifierai d'*autonome* un actant pouvant apparaître seul, de *non autonome* un actant n'apparaissant presque jamais seul. Des actants dont la cooccurrence est forte seront considérés comme *solidaires* ou encore *indissociables*. Enfin, lorsque la cooccurrence de deux ou plusieurs actants produit une forme dicible, je dirai que ces actants sont *autonomes ensemble*.

Les résultats de cette étude sont résumés dans le schéma de synthèse ci-dessus. (Figure 2). Il est clair que la structure actantielle analysée avec les critères de Tesnière ne comporterait que les trois actants classiques. En revanche, le niveau sémantique, comme nous l'avons vu, nécessite bien la présence des quatre actants, que ce soit de manière implicite ou de manière explicite, et ce n'est qu'en utilisant cette structure que l'on peut espérer décrire correctement les mécanismes cognitifs qui s'organisent à partir du verbe transformer ou de ses dérivés¹⁵.

¹⁴ J'emploierai le terme "pronominal" malgré la condamnation définitive de Tesnière qui le conduit à le "condamner formellement", puisque mon analyse portera précisément sur les difficultés que ce terme est sensé masquer, et que le dommage sera donc limité.

¹⁵ La description obtenue, s'approche d'ailleurs de celle que Picoche donne du verbe "changer" [Picoche, 1987].

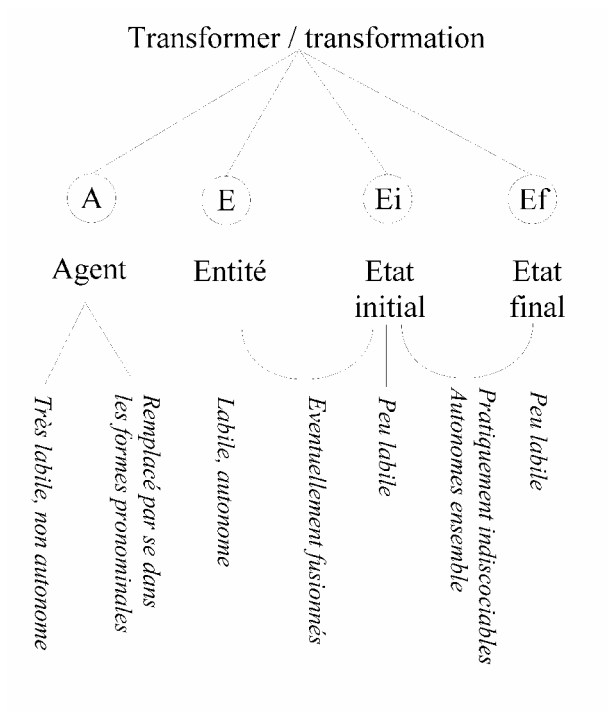


Figure 2 — Stemma de synthèse pour la structure du verbe "transformer"

L'ensemble des considérations qui viennent d'être exposées permettent de proposer le signifié de puissance et le cinétisme suivants.

Le signifié de puissance — Une certaine cause **A** fait qu'un **Y** constitué d'une certaine substance **S** se trouvant dans un état **Ei** caractérisé par un ensemble d'accidents {A}, se retrouve dans un état **Ef**, caractérisé par un ensemble d'accidents {A'} dans lequel l'un des éléments connus au moins est radicalement différent de son correspondant dans {A}, alors que S demeure inchangée.

Le verbe transformer est un verbe sans subduction. Cependant la variabilité des formes de surface recevables suggère un mouvement de pensée très proche d'un véritable cinétisme créateur d'acceptions. Dans le processus cognitif qui nous occupe, le mouvement de pensée qui conduit naturellement de l'emploi le moins saturé vers l'emploi le plus complet est de première importance. Je proposerai donc un graphique traduisant ce que je nommerai un *cinétisme superficiel*, conduisant des saisies insaturées vers l'équivalent d'une saisie plénière.

Le cinétisme — Dans une saisie plénière s'actualisent les quatre actants principaux ; elle exprime une situation dans laquelle un **agent connu** fait passer **une substance connue** d'un **état initial connu** à un **état final connu**.

Les saisies précoces expriment, à l'aide du même verbe, des situations où quelque chose **suggère** que pour une cause non précisée, un objet vaguement identifiable vraisemblablement préservé pour l'essentiel, voit **modifier l'un des accidents qui caractérisent son état**.

Entre ces deux limites, se situent des saisies pour lesquelles des actants variables sont inconnus, mais qui ont en commun la propriété d'exprimer des situations où une substance passe d'un état initial à un état final qui, pour être **éventuellement mal connu**, n'en sont pas moins **certainement différents**.

4. Des règles pour décrire les appariements

Il reste à établir un pont entre les données de nature langagière et les observations de nature cognitive. Les règles d'appariement recherchées traduiront le mouvement de pensée par lequel un objet ou un phénomène sensible est susceptible de s'intégrer à la catégorie définie par l'entité du modèle. Je montrerai ici à titre d'exemple comment peuvent être établies des règles décrivant les appariements élémentaires et les appariements de structure, puis comment ces règles peuvent être validées sur des exemples.

4.1. Les appariements élémentaires : une règle locale

Dans ce type d'association, l'appariement ne fait pas intervenir, au niveau observable, de mises en relation internes à un monde, non plus que de relations multiples entre items d'un monde et items de l'autre, et constitue ce que je nommerai un *mécanisme cognitif local*.

Ce type d'association se manifeste dans les dialogues par l'appariement d'un lexème désignant une entité du modèle physique avec celui qui désigne un objet ou un phénomène physique dans la langue. Un prototype de ces associations est l'appariement réservoir - pile déjà mentionné :

Dialogue F & L sur Pile - ampoule :

(22 F) [...] *Le réservoir stocke l'énergie, donc c'est la pile.* [...]

Il peut également se produire que seul le résultat soit apparent, sans aucune argumentation.

Les appariements recherchés se rapprochent d'un mécanisme de catégorisation qui, par un effet de contrat didactique, est ressentie par les élèves comme possible. La conséquence stratégique de cette hypothèse implicite est que, plutôt que de rechercher des conditions nécessaires et suffisantes mal définissables, il est plus efficace de rechercher d'abord les appariements les plus plausibles, et de compléter ensuite la modélisation en procédant par élimination ou par complémentation, tout en multipliant les vérifications.

La catégorisation va donc consister, pour l'apprenant, à déterminer si les traits sémantiques qu'il attribue à l'objet ou au phénomène observé s'accordent aux sèmes d'une entité du modèle, élevés au rang de sèmes génériques locaux. Dans la description théorique qui a été choisie ici, ce sont les sèmes retenus sur l'échelle du cinétisme de cette entité qui joueront ce rôle de sèmes génériques. Ainsi, tout objet susceptible de 'contenir une espèce non dénombrable' pourra-t-il être considéré comme un réservoir de cette espèce, puisque ce sème est le minimum exigé sur l'échelle du cinétisme du lexème réservoir, correspondant à sa saisie la plus subduite.

La description sémantique retenue pour les entités du modèle physique permet de plus d'introduire une gradation dans la plausibilité des appariements proposés. C'est ainsi qu'un objet pouvant 'contenir une espèce non dénombrable', s'il est de plus 'destiné à la conserver', et s'il présente de toute évidence une 'enceinte délimitée', sera un réservoir plus plausible qu'un objet ne présentant que la caractéristique sémique la plus subduite.

4.2. Une règle pour décrire les appariements élémentaires

L'étude qui vient d'être faite me permet maintenant de proposer la règle suivante pour rendre compte de l'existence des appariements élémentaires et de leurs propriétés dans les tâches observées :

Un appariement élémentaire pourra se produire entre une entité du modèle physique et un objet ou un phénomène du monde sensible, si les propriétés sémantiques de l'objet ou du phénomène lui permettent de prendre place dans le cinétisme de l'entité du modèle comme une saisie dérivant de son signifié de puissance.

L'appariement obtenu sera d'autant plus résistant, et stable que la place de l'objet ou du phénomène dans le cinétisme de l'entité sera proche de la saisie plénière. L'appariement sera plus aisé à établir et moins discuté si cette place est prise à l'aide de propriétés extralinguistiques de l'objet ou du phénomène qui sont perceptibles ou communément admises, ou bien à l'aide de sèmes inhérents à son signifié.

La règle ainsi formalisée, traduisant en cela un fonctionnement cognitif qui dépasse largement celui de la tâche analysée, n'est pas déterministe, mais permet de rendre compte des associations possibles ainsi que du degré de confiance qu'elles posséderont.

4.3. Application à l'association de l'objet "pile" avec l'entité "réservoir d'énergie"

La pile électrique donne lieu, dans nos tâches de modélisation, à des appariements réguliers, et elle est toujours prise en compte dans les raisonnements des élèves. Appuyée sur la description des composants sémiques saillants de l'objet pile, la règle d'appariement élémentaire doit permettre de décrire les mécanismes d'association observés, de prédire les possibilités d'appariement.

Au cours de la tâche de modélisation, les composants électriques de l'expérience, et singulièrement la pile, se trouvent en opposition au sein d'un taxème¹⁶ local (/composants d'une chaîne énergétique/) imposé et en grande partie inconnu, en même temps qu'ils continuent d'interagir dans le taxème /composants électriques/ où leur description est bien plus habituelle. La sous-tâche d'appariement va donc mettre en concurrence les objets de l'expérience afin de les rapprocher de l'une des entités du modèle. Cette sous tâche comprend en principe deux aspects qui ne sont pas nécessairement tous deux apparents. D'une

part il s'agit de déterminer le meilleur "rôle" pour un objet donné, d'autre part il s'agit de vérifier si un autre objet n'est pas mieux adapté à ce "rôle".

Dans l'appariement pile - réservoir, la pile doit présenter des caractéristiques permettant de la considérer comme un réservoir, et son contenu hypothétique doit être reconnu proche de l'énergie. Les descriptions données précédemment mettent en évidence un réseau de liens par lesquels la pile électrique se rapproche d'un réservoir susceptible de stocker de l'énergie¹⁷. Il apparaît en effet que la pile électrique prend aisément place dans le cinétisme du mot réservoir où elle s'inscrit à une position très complète, étant une 'enceinte délimitée' 'capable de se vider', et 'regroupant une espèce non dénombrable' (Voir figure 3).

Il apparaît que de surcroît un certain nombre de traits la rapprochent du concept d'énergie, sa fonction causale en particulier. La règle de l'appariement élémentaire

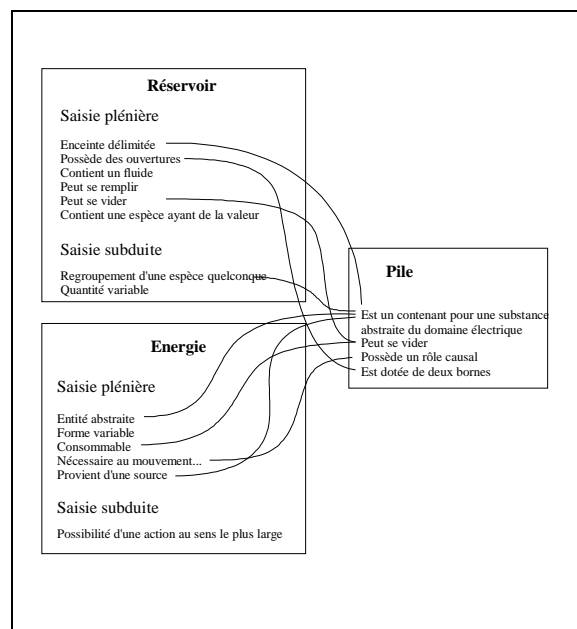


Figure 3 — Les liens pile - réservoir - énergie

établie plus haut rend donc parfaitement compte d'une forte potentialité d'appariement entre l'objet réel et l'entité réservoir d'énergie du modèle physique.

Il est clair que cette catégorisation est un phénomène local, artefact de la situation imposée, et que l'adéquation ne saurait être parfaite, tout au moins au premier stade de l'apprentissage. Mais la règle d'appariement élémentaire fonctionne comme une règle de préférence, et aura donc seulement à décider si le faisceau de liens ainsi obtenu est plus plausible que ceux qui pourraient être obtenus avec un autre appariement.

Dans les expériences du cycle d'enseignement que nous étudions, la pile électrique ne se trouve en concurrence, pour le rôle, qu'avec les fils conducteurs et

¹⁶La définition du "taxème" est empruntée à [Rastier, 1987].

¹⁷ Pour la description de la "pile électrique"[Collet, 1996, p 211].

l'ampoule, ou avec les fils conducteurs, le moteur et l'objet pesant, si l'on admet que la concurrence directe ne s'exerce pas avec les "objets périphériques"¹⁸. Et une étude similaire montrerait que pour les autres objets cités, la parenté sémantique avec un réservoir d'énergie est bien plus lointaine. Le modèle de l'énergie place en regard de la pile électrique les deux autres entités transfert et transformateur. Une étude utilisant alors les cinétismes obtenus pour ces deux lexèmes montrerait de même que rien, dans la description obtenue pour la pile, ne lui permet d'y trouver sa place¹⁹.

L'analyse qui précède a donc montré que la règle de parenté sémantique élémentaire rend compte de la plausibilité de l'appariement pile - réservoir ainsi que de sa stabilité, puisque dans les situations étudiées, la pile ne peut prétendre à un autre rôle avec autant de vraisemblance, et qu'aucun autre objet ne lui dispute ce rôle..

4.4. L'appariement de structure : des règles régionales

Dans ce type d'association, l'appariement d'un élément du modèle avec un objet ou un phénomène mobilise de manière observable les liens qu'ils entretiennent avec d'autres entités de leurs mondes respectifs. Faisant intervenir un ensemble plus vaste que les deux seuls éléments appariés, ce type d'association est ce que je nommerai ici un mécanisme cognitif *régional*, par opposition aux mécanismes *locaux* vus précédemment. Je considérerai ici que de telles associations se construisent à partir d'entités du modèle théorique possédant une structure actancielle riche d'au moins deux actants. Plus tardives que les appariements élémentaires, elles donnent lieu à une importante activité langagière, et se manifestent dans les dialogues par une activité de reformulation caractéristique, organisée autour du lexème qui désigne l'entité théorique dont elle explore les valences en les actualisant tantôt dans le monde du modèle, tantôt dans le monde sensible.

Le court extrait ci-après, où les élèves recherchent un appariement pour un transformateur d'énergie et met bien en évidence la nécessité d'une recherche de l'état initial et de l'état final d'une transformation :

Dialogue P & F sur Poids qui monte (Les élèves recherchent quel peut être le transformateur, mais n'ont pas encore émis d'hypothèse) :

(385 P) *Non, mais le transformateur, i(l) faut que ça transforme quelque chose en, en autre chose...*

(386 F) *Mmm...*

(387 P) *Donc c'est... ça transforme le déplacement. C'est quoi qui transforme le déplacement ? Eh ?*

(388 F) *On met déplacement ?*

(389 P) *C'est la pente ? [...]*

Dans cette séquence, il apparaît très nettement que l'étape langagière (385) d'exploration des valences du verbe transformer déclenche et guide l'étape de recherche (387 et suivantes), dans le monde sensible, des éléments susceptibles d'actualiser ces valences.

Les appariements de structure sont de toute première importance par l'effet de structuration des faits qu'ils produisent. En effet, la structure linguistique des entités théoriques qui les déclenchent se projette dans le monde sensible, en y organisant les objets et les phénomènes. A l'inverse des mécanismes globaux, les appariements de structure jouent donc un rôle agglomérant et constructif, particulièrement dans le monde sensible où ils déclenchent la recherche de liens sémantiques, de relations entre les entités, la description de fonctionnements, l'analyse de caractéristiques topologiques. Le mécanisme de recherche des actants indispensables induit même la recherche d'entités, pouvant conduire à l'individuation d'objets ou de phénomènes qui n'avaient pas été recensés. L'appariement de structure utilise donc les connaissances langagières et le fonctionnement de la langue pour organiser les faits du monde sensible ; formalisons maintenant des règles décrivant sa survenue et ses propriétés.

Règle d'existence d'un appariement structuré

Un appariement structuré se produit entre une entité E du modèle physique présentant une structure actancielle, et un objet ou un phénomène O du monde sensible, si les relations que peut entretenir O avec d'autres entités sensibles en font le nœud d'une structure isomorphe à la structure actancielle de E, qui lui permet de prendre place dans l'un des cinétismes superficiel ou profond de cette entité, au minimum au niveau de la saisie la plus subduite.

Un corollaire est évidemment que les relations attribuées à l'objet O s'appuient sur les propriétés sélectionnées par la tâche, qu'elles incluent outre les traits lexicaux de son signifiant des traits référentiels et expérientiels, et qu'elles conduisent à l'invocation d'autres entités sensibles en nombre au moins égal au nombre de places actanciennes de la saisie la plus subduite.

Propriétés d'un appariement structuré

L'appariement est d'autant plus plausible et résistant que la place occupée par O dans le cinétisme de E est proche de la saisie plénière, et que les éléments du monde sensible retenus pour les places actanciennes satisfont aux contraintes sémantiques inhérentes à la structure de E.

L'appariement est d'autant plus plausible et résistant que la structure où prend place O, et les relations qu'elle met en évidence, s'accordent aux connaissances qui lui sont relatives, et aux théories qui peuvent le concerner.

¹⁸ Il s'agit là d'objets ne faisant pas partie de l'expérience, mais susceptibles d'être invoqués.

¹⁹ L'étude des lexèmes transformateur et transfert fait de plus apparaître la nécessité d'une structure à plusieurs actants, et débouche sur une seconde règle, de parenté sémantique structurée.

4.5. Application à l'appariement de l'objet ampoule avec l'entité transformateur d'énergie

Nous allons maintenant voir que les deux règles précédentes permettent de décrire la recherche d'un "transformateur d'énergie" dans un dialogue relatif à la modélisation de l'expérience "pile - ampoule", dont un extrait est reproduit ci-dessous (M. et S. sont les protagonistes de ce dialogue, qui se déroule sur 167 prises de parole).

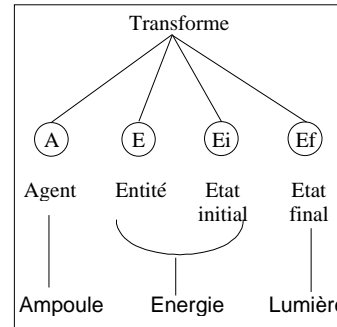
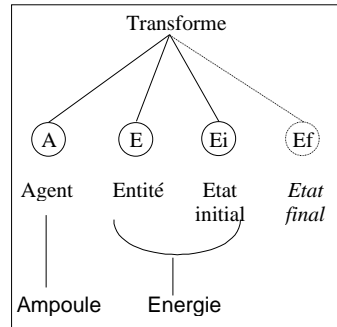


Figure 5 — Stemmas des deux énoncés (40)

Cette proposition semble insuffisamment étayée à S (26), et M lui même reconnaît sa fragilité, puisqu'il n'insiste pas, et propose une autre association (27). Or le verbe transformer et ses dérivés possèdent une forte structuration, et mettent en jeu de manière quasi nécessaire plusieurs actants. Si la première proposition de M était acceptée sans discussion, on aurait donc là une association masquant la richesse sémantique du lexème. L'objection de S et l'abandon de M montrent précisément que cette dégradation n'est pas acceptable, ne permet pas de fonder un appariement suffisamment plausible (26 - 27).

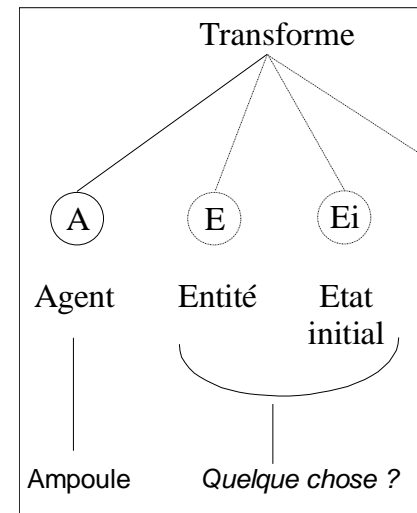


Figure 4 — Les conditions de la règle d'appariement structuré ne sont pas réunies en (26)

- (22 S) Ouais, mais l'ampoule on va mettre quoi ?
- (23 M) L'ampoule ce sera le
- (24 S) Mmm...
- (25 M) transformateur.
- (26 S) Le trans...elle transforme quelque chose, l'ampoule ?
- (27 M) Bon, écoute, le réservoir ce sera, c'est la pile.
- (28 S) Ouais, Ouais.
- (29 M) Le transfert, ce sont les fils.
- (30 S) Ouais.
- (31 M) Le transformateur, c'est, c'est l'ampoule. C'est logique, non ? C'est, c'est ce qui reste.
- (32 S) Ouais.
- (33 M) Bon, ben on va commencer par une pile.
- (34 S) Attends, on va voir ce que c'est. Transformateur. Bon, ben ça y est pas.
- (35 M) Voilà.
- (36 Prof) Bon, vous relisez bien tout, cette feuille, si vous l'avez pas bien lue.. Ce qui est en bas.
- 37 M Ouais, je l'ai déjà lue, ouais.
- 38 Prof Toutes, les règles de la chaîne énergétique.
- (39 S) (Il n') y a pas transformateur ?
- (40 M) Le transformateur transforme l'énergie. La (...) transforme l'énergie, enfin, l'ampoule transforme l'énergie. L'ampoule transforme l'énergie en lumière. T'es d'accord ?
- (41 S) Ouais.

Dès le début de la tâche, S propose de rechercher le rôle de l'ampoule (22), et M pressent la possibilité de lui assigner celui de transformateur d'énergie (23 - 25).

La règle d'appariement structuré décrit l'association

La règle établie pour les appariements de structure stipule la nécessité d'établir une relation d'isomorphisme entre la structure actancielle du lexème désignant l'entité du modèle, et le réseau de relations que peut entretenir l'objet pressenti dans le champ de l'expérience. La description du verbe transformer nous a montré que l'actant " tat initial", éventuellement fusionné avec l'actant "entité", est peu labile ; elle a également mis en évidence la nécessité d'une distinction oppositive entre un état initial et un état final de l'entité. Résumées par le signifié de puissance du lexème, et graduées dans le cinétisme associé, ces propriétés impliquent au minimum la recherche de l'entité susceptible d'être transformée, ou des  tats attestant sa transformation. Or c'est précisément cette recherche que traduit l'énoncé dubitatif de S (26) : L'archilex me "quelque chose" remplace ici l'entité ou son état initial, première étape nécessaire à la cohésion sémantique de l'énoncé : "L'ampoule ce sera le transformateur". Les conditions d'application de la règle ne sont donc pas réunies (stemma figure 4), et la proposition est momentanément abandonnée.

L'appariement est à nouveau proposé en (31), à partir de considérations indépendantes cette fois-ci de la

sémantique. Si cette nouvelle argumentation ne provoque pas d'objection explicite, elle n'est pour autant pas suffisante, puisque tandis que M commence le tracé de la chaîne, S recherche de son côté la définition du transformateur fournie par le modèle (34). Aussi M revient-il à nouveau sur cet appariement (40), en proposant cette fois-ci en deux étapes un énoncé qui satisfait maintenant aux conditions nécessaires à l'application de la règle d'appariement structuré. Les stemmas de ces deux énoncés successifs sont représentés sur la figure 5, et montrent bien l'actualisation progressive des actants.

L'actualisation observée réalise bien un isomorphisme entre la structure actancielle du lexème qui désigne l'entité du modèle, et un réseau de relations

Conclusion

Il convient de noter que cette étude a une portée qui dépasse largement le modèle de l'énergie, la récursivité de la langue et la présence simultanée de significations théoriques univoques et de significations courantes étant d'ordre très générale. Il faut également rappeler que la situation étudiée est un prototype d'une situation de modélisation, et qu'il existe de plus des similarités entre le processus cognitif observé chez l'apprenant et celui du physicien puisqu'on retrouve dans les deux cas les trois niveaux de la théorie, du modèle, et du champ expérimental. Ceci confère par conséquent aux résultats de recherche une portée qui dépasse le cadre didactique étudié pour déboucher sur une analyse plus générale des mécanismes cognitifs utilisés dans la modélisation en sciences expérimentales.

Au delà du cadre particulier de la didactique, les questions de nature linguistique qui sont posées par la tâche de modélisation que nous analysons intéressent

Références bibliographiques

[Antoine, 1994] Antoine, J.Y. (1994) *Coopération syntaxe*

entre objets et phénomènes compatible avec les connaissances de l'élève sur le monde sensible (Fig. 6).

L'isomorphisme ici établi se traduit à la fois par l'organisation des liens entre les éléments de l'expérience, et par leur nature sémantique qui peut être exprimée à l'aide des primitives sémantiques du verbe transférer.

La part prise par le fonctionnement propre de la langue, indépendamment de toute considération liée à la définition du modèle et aux connaissances propres du domaine, est donc parfaitement illustrée par cette association. Et l'on voit que la règle d'appariement structuré, associée à la description donnée du verbe "transformer" décrit bien l'appariement établi.

donc les sciences de la cognition en général, et le rôle central du langage est bien reconnu par les chercheurs en sciences cognitives, tandis qu'une partie de la linguistique manifeste un intérêt croissant pour les sciences de la cognition. On trouve dans l'intérêt croisé des deux disciplines les deux axes essentiels que sont l'étude de la relation entre langage et connaissances, et l'étude de la relation entre langage et raisonnements. Ces deux points peuvent être abordés de manière complémentaire soit en cherchant dans le langage les traces de l'activité cognitive, soit en déterminant l'influence des structures langagières sur les structures de connaissance et sur la résolution d'une tâche.

En intersection manifeste avec les sciences de la cognition, la didactique pose de manière particulièrement forte le problème de l'influence des situations d'apprentissage et des contenus d'enseignement sur les mécanismes de raisonnement, ainsi que celui de l'acquisition et des conditions de réutilisation des connaissances, trois sujets qui sont inclus dans les questions de recherche abordées ici.

[Blanche-B et al., 1984] Blanche-Benveniste, Cl., Deulofeu, J., Stefanini, J., Van den Eynde, K. (1984) *L'approche*

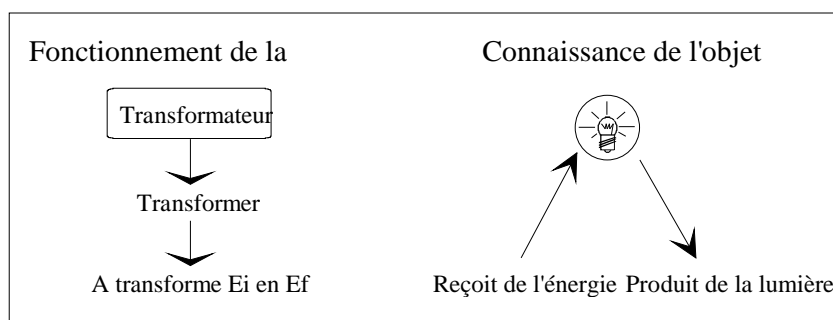


Figure 6 — Isomorphisme entre structure linguistique et connaissance d'un objet

sémantique pour la compréhension automatique de la parole spontanée, Thèse présentée à l'Institut National Polytechnique de Grenoble.

[Armengaud, 1993] Armengaud, F. (1993) *La pragmatique*, PUF, Paris.

[Bange, 1992] Bange, P. (1992) *Analyse conversationnelle et théorie de l'action*, Hatier, Paris.

pronominale et son application au français, SELAF, Paris.

[Bogaski et al., 1983] Bogacki, K., Bogustawska, G., Kreisberg, A., Lewicka, H., Loźńska, M., Thieme, M., Wójcik, L., Zielińska, T. (1983) *Dictionnaire sémantique et syntaxique des verbes français*, Pánstwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.

[Brown, 1989] Brown, A. (1989) *Analogical learning and transfer: What develops? dans Similarity and analogical reasoning*, dir Vosniadou, S. And Ortony, A., Cambridge University Press, Cambridge.

- [Carey, 1986] Carey, S. (1986) *Conceptual change in childhood*, MIT Press, Cambridge.
- [Chevallard, 1993] Chevallard, Y. (1993) *Les processus de transposition didactique et leur théorisation*, IUFM , Aix-Marseille.
- [Chomsky, 1993] Chomsky, N (1993) *A minimalist program for linguistics*, dans *The view from building 20*, Hale and Keyser dir., The MIT Press, Cambridge.
- [Cordier, 1994] Cordier, F. (1994) *Représentation cognitive et langage : une conquête progressive*, Armand Colin, Paris.
- [Dubois et al., 1994] Dubois, J. ; Giacomo, M. ; Guespin, L ; Marcellesi, C. ; Mével, J.P. (1994) *Dictionnaire de linguistique et des sciences du langage*, Larousse, Paris.
- [Ducrot, 1968] Ducrot, O. (1968) *Dire et ne pas dire*, PUF.
- [Dupont, 1995] Dupont, N. (1995) *Les clitiques verbaux, préalable à l'application des théories linguistiques contemporaines*, dans Cours de syntaxe du DEA de Sciences du langage, Université Lyon II.
- [Galmiche, 1991] Galmiche, M. (1991), *Sémantique linguistique et logique*, PUF, Paris.
- [Gaudin, 1993] Gaudin, F. (1993), *Pour une socioterminologie*, Presses Universitaires de Rouen, Rouen.
- [Granger, 1994] Granger, G. G. (1994), *Formes, opérations, objets*, Vrin, Paris.
- [Guilbert, 1973] Guilbert, L. (1973) *La spécificité du terme scientifique et technique*, dans *Langue française* N° 17.
- [Hacking, 1989] Hacking, I. (1989), *Concevoir et expérimenter*, Bourgois, Paris.
- [Jackendoff, 1990] Jackendoff, R.(1990) *Semantics and cognition*, The MIT Press, Cambridge, Massachussets.
- [Jacobi, 1982] Jacobi, D. (1982) *Du discours scientifique, de sa reformulation...* dans *Langue française*, N° 53.
- [Johnson-Laird, 1972] Johnson-Laird , P. (1972) *Mental models*, Cambridge University Press, Cambridge.
- [Kerbrat-Orecchioni, 1977] Kerbrat-Orecchioni, C. (1977) *La connotation*, Presses Universitaires de Lyon, Lyon.
- [Kleiber, 1990] Kleiber, G. (1990), *La sémantique du prototype*, PUF, Paris.
- [Kocurek, 1991] Kocurek, R. (1991), *La langue française de la technique et de la science*, Brandstetter Verlag, Wiesbaden.
- [Lakoff et Johnson, 1980] Lakoff, G et Johnson, M. (1980) *Les métaphores dans la vie quotidienne*, Ed. de Minuit, Paris.
- [Oléron, 1982] Oléron, P. (1982) *Le raisonnement*, PUF.
- [Piaget, 1971] Piaget, J. (1971) *Les explications causales*, PUF, Paris
- [Picoche, 1986] Picoche, J. (1986) *Structures sémantiques du lexique français*, Nathan, Paris.
- [Pottier, 1974] Pottier, B. (1974) *Linguistique générale, théorie et description*, Paris, Klincksieck.
- [Pynte, 1991] Pynte, J. (1991), *Les modèles de la compréhension du langage*, dans *Psychologie cognitive : modèles et méthodes*, PUG, Grenoble.
- [Rastier, 1987] Rastier, F. (1987) *Sémantique interprétative*, PUF, Paris.
- [Rastier, 1991] Rastier, F. (1991) *Sémantique et recherches cognitives*, PUF, Paris.
- [Récanati, 1992] Récanati, F. (1992) *Contenu sémantique et contenu cognitif des énoncés*, dans *Introduction aux sciences cognitives*, Gallimard, Paris.
- [Tesnière, 1965] Tesnière, L. (1965) *Eléments de syntaxe structurale*, Klincksieck, Paris
- [Tiberghien, Megalakaki, 1994] Tiberghien, A. & Megalakaki, O. (1994) *Contribution to a characterisation of a modelling activity, case of a first qualitative approach of energy concept*, submitted to *European Journal of Psychology in Education*.
- [Megalakaki, 1995] Megalakaki, O. (1995) *Expérience Marianne : corpus de dialogues de trois groupes d'élèves résolvant une séquence de problèmes mettant en jeu une activité de modélisation*, Rapport COAST n° CR-11/95
- [Vergnaud, 1990] Vergnaud, G. (1990) *La théorie des champs conceptuels* dans *Recherches en didactique des mathématiques*, Vol.10 n° 23.
- [Vygotskyn 1989] Vygotsky, L. (1989) *Thought and Language*, The MIT Press, Cambridge.
- [Wallon, 1970] Wallon, H. (1970) *De l'acte à la pensée*, Flammarion, Paris.