

ÉTUDES DE L'ACTIVITÉ DES ÉLÈVES DE LYCÉE EN SITUATION D'ENSEIGNEMENT DE LA PHYSIQUE

Andrée TIBERGHEN & Jacques VINCE,
UMR GRIC (CNRS - Université Lumière Lyon 2), Équipe COAST (Communication et Apprentissage des Savoirs Scientifiques et Techniques)

Les études présentées dans cet article ont été menées en didactique des sciences ; elles portent sur l'enseignement et l'apprentissage de la physique au niveau du lycée. Comme dans de nombreux travaux en didactique, l'analyse du savoir y est essentielle. Nous avons décidé dans cet article de ne pas contourner l'analyse du savoir, mais de la présenter en mettant l'accent sur les points qui nous paraissent indispensables pour mettre en évidence nos choix théoriques et leurs conséquences sur l'analyse des données. Notre perspective est de contribuer à établir un dialogue entre les didactiques sans éliminer la prise en compte des savoirs.

La didactique de la physique a une histoire différente de celle de la didactique des langues, c'est pourquoi nous en présentons succinctement quelques éléments. Nous précisons ensuite le cadre théorique des études sur l'activité des élèves en situation d'enseignement avant de donner quelques exemples d'analyse.

1 - Un aperçu de l'évolution des recherches en didactique de la physique

Dans les pays occidentaux, la didactique des sciences a débuté par l'innovation. Au cours de la deuxième moitié du siècle dernier, dès les années 50 aux USA et dans les années 70 en France, des projets d'enseignement ont été développés sous la responsabilité de physiciens reconnus. Les niveaux abordés allaient de la maternelle à l'université. Certains chercheurs associés à ces projets ont pris conscience que, malgré un enseignement rénové et pertinent aux yeux de nombreux physiciens, les élèves avaient encore de grandes difficultés à comprendre des concepts de base de la physique. Ainsi, il n'est pas surprenant que la majorité des premiers travaux de recherche aient porté sur les conceptions des élèves. Nous donnons ci-dessous quelques exemples de résultats de ces travaux. Ultérieurement les travaux de recherche se sont nettement diversifiés. Progressivement, on a pu distinguer différents thèmes de recherche : les séquences d'enseignement, les activités des élèves pendant l'enseignement, l'évolution des conceptions avec l'enseignement, les nouvelles technologies (lien avec), l'image des sciences, l'épistémologie des professeurs, des élèves, l'évaluation, les enseignants.

2 - Un domaine de la didactique de la physique : les conceptions des élèves

Nous considérons qu'une conception est un ensemble de connaissances ou de procédures hypothétiques que le chercheur attribue à l'élève dans le but de rendre compte des conduites de l'élève dans un ensemble de situations données. Cet ensemble de connaissances ou procédures hypothétiques doit aussi être trouvé chez plusieurs élèves pour constituer une conception.

Voici deux aspects très fréquents des conceptions des élèves.

Le premier porte sur l'utilisation du langage quotidien par les élèves quand ils traitent de sujets scientifiques. L'écart entre le langage quotidien et le langage scientifique, en particulier l'utilisation d'un même terme avec des sens différents, est notoire. Ainsi prenons l'exemple des termes "son" et "bruit". Pour le physicien, le "son" est un terme neutre, générique, et le « bruit » ne concerne plus seulement le domaine acoustique mais désigne plus généralement tout signal faible et permanent mais gênant éventuellement l'analyse ou l'exploitation d'un signal quelconque. Il n'en est pas de même dans le lexique courant, où "son" et "bruit" ne sont pas utilisés de manière équivalente, le premier se disant de préférence de sons vocaux ou musicaux, tandis que le second s'applique à ceux qui produisent un effet désagréable. Un autre aspect, plus directement lié à l'expérience du monde matériel, porte sur la causalité utilisée pour interpréter le monde matériel. Récemment des psychologues étudiant les bébés et les très jeunes enfants ont montré que : "Dans la seconde année de la vie, l'enfant est capable de se représenter des séquences complexes d'actions. Ces schémas des événements semblent organisés comme des informations causales (causal-enabling information). Si chercher des mécanismes causaux et faire attention à une structure causale est un développement primitif, alors la causalité devrait jouer un rôle critique dans de nombreux domaines de développement dès les premiers âges" (notre traduction.)¹(Corrigan et Denton, 1996, p. 175). Les travaux en didactique des sciences confirment ce rôle de la causalité dite "simple" que nous présentons à partir du cas des circuits électriques. L'ensemble des recherches sur les circuits électriques montre que, pour des questions associées à certains circuits simples (générateur ou pile, ampoules ou résistors en série ou en parallèle), des réponses semblables sont obtenues quel que soit le niveau des élèves, de la 6^{ème} à la maîtrise (Closset, 1983 ; Dupin & Johsua, 1986). Ces réponses semblables se retrouvent aussi dans différents pays comme l'a montré en particulier une enquête menée dans plusieurs pays européens (Shipstone, Rhöneck v., Jung, Kärrqvist, Dupin, Johsua, & Licht, 1988). L'analyse de ces réponses fait apparaître une conception qui illustre une approche en termes de causalité, très répandue chez les élèves de tous âges, non seulement dans le cas des circuits électriques mais dans d'autres situations (chauffage, mouvement, etc.). Dans cette conception, le générateur est la cause des événements observés, considérés comme des effets (le chauffage du résistor ou la brillance de l'ampoule). Ce générateur fournit un courant à débit constant (médiateur) consommé au fur et à mesure qu'il traverse les éléments du circuit. Une seule variable est utilisée - le "courant" (qui peut aussi, suivant les âges des élèves, être nommé électricité, électrons) – sa valeur dépend de la répartition des éléments dans le circuit. Pour les jeunes élèves, la valeur du courant peut diminuer au fur et à mesure qu'il traverse les éléments du circuit, l'amont n'influe pas sur l'aval. Un point essentiel à signaler est l'intervention *d'une notion unique et en même temps multiforme* qui va permettre à l'élève d'interpréter ou de prévoir la situation, le plus souvent à partir d'un raisonnement causal simple. Cette conception est bien différente de l'interprétation systémique proposée par la physique dès le niveau de l'enseignement secondaire. Pour interpréter et prédire le comportement des circuits

¹ « The earliest development which allows the infant to distinguish between events and nonevents may have its roots in basic perceptual processing. This distinction may be the basis of deciding what can and cannot be understood causally. [...]. Very early in infancy, infants perceive the motion properties of one object displaced onto another. At this point they probably do not have a notion of power or efficacy. Instead, they most likely acquire the notion of power, first through their own actions and later by examining the actions of other people and objects. In the second year of life, the infant is capable of representing complex sequences of actions. These schemas for events appear to be organized around causal-enabling information. If looking for causal mechanisms and attending to causal structure is a developmental primitive, then causality should play a critical role in many different domains of development from a very early age » (p.175).

électriques, une seule grandeur est insuffisante et la valeur d'une grandeur électrique dépend de l'ensemble des éléments présents dans le circuit² (Tiberghien et al. 2002). Ce même type de résultats a été obtenu dans d'autres domaines de la physique (Andersson, 1986 ; Viennot, 1993).

De la synthèse "des connaissances naïves au savoir scientifique" demandée par le programme "école et sciences cognitive" (Tiberghien et al. 2002, Tiberghien, 2002), nous relevons quelques résultats généraux des travaux sur les conceptions :

- chez un même individu des connaissances de *plusieurs types* coexistent ;
- il y a une certaine continuité des connaissances naïves du bébé à l'adulte ;
- les enfants ont des "*grandes*" capacités de raisonnement *dans les domaines où ils sont familiers*, or les enfants sont des novices dans presque tous les domaines où les adultes sont familiers ;
- *les connaissances spécifiques* sur un domaine donné, et le contexte de leur mise en œuvre jouent un rôle essentiel dans l'apprentissage.

Ainsi cet écart entre savoirs des élèves et savoir scientifique nécessite une analyse de tous ces savoirs en jeu, et pas seulement du savoir scientifique.

3 - Approche théorique sur les relations entre apprentissage et situations d'enseignement

L'étude des relations entre les situations d'enseignement et l'apprentissage des élèves est un axe de recherche essentiel de la didactique. Elle nécessite des choix théoriques sur les savoirs et sur l'apprentissage. Nous présentons tout d'abord l'orientation choisie pour l'apprentissage en lien avec l'élaboration et l'analyse des situations d'enseignement. Notre approche est socio-constructiviste au sens où nous nous appuyons sur les travaux de Vygotski sans éliminer ceux de Piaget. En accord avec Vergnaud (1999 / 2002), nous considérons que pour Vygotski "l'apprentissage précède le développement ; alors que Piaget voit plutôt le développement comme un système de conditions maturationnelles et expérientielles au travers desquelles l'apprentissage prend place. [...] [Pour Vygotski], on se développe parce qu'on rencontre la contingence" (p. 61). Ainsi, nous sommes dans la ligne de Vygotski quand on affirme que l'apprentissage de la physique ne se ferait pas sans l'enseignement, et que la médiation aussi bien de l'adulte que du signe est déterminante dans cet apprentissage. Toutefois, nous nous appuyons sur la tradition piagetienne qui met l'accent sur le rôle essentiel de l'interaction de l'enfant avec le monde des objets physiques.

3.1 - Choix épistémologiques et hypothèses d'apprentissage spécifiques

Nous présentons ici nos hypothèses spécifiques sur les relations entre les savoirs et l'apprentissage. Nous posons que la construction du sens se fait par des *mises en relation* entre :

- différents éléments de savoir ;
- différentes représentations d'un "même" concept.

Notons que le terme de savoir est utilisé ici dans un sens large, il recouvre savoir et savoir-faire.

² Le physicien, pour le régime stationnaire, propose trois grandeurs, l'une rend compte du flux de charge, l'intensité (I), une autre rend compte de ce qui permet de créer un flux, la tension (U) et la résistance (R) rend compte de la plus ou moins grande facilité avec laquelle ce flux peut circuler avec une relation simple, appelée la loi d'Ohm, entre ces trois grandeurs ($U = RI$).

Relation entre différents éléments de savoir du point de vue de la modélisation

L'étude de la mise en relation entre différents éléments de savoir suppose que l'on a des critères pour décomposer le savoir. Pour présenter cette décomposition nous partons de la physique, puis nous passons au fonctionnement du physicien et à celui d'une personne dans la vie quotidienne.

Des mondes de la physique à ceux du physicien

Notre choix, d'ordre épistémologique, est fondé sur un aspect essentiel du fonctionnement de la physique : la modélisation du monde matériel inanimé. L'analyse de la modélisation en physique n'est pas développée ici, elle a été faite par des épistémologues (par exemple Bunge, 1973 ; Bachelard, 1979 ; Giere, 1988). Cette approche nous conduit à distinguer deux mondes : celui des objets et événements qui réfère au monde matériel inanimé, et celui des théories et modèles qui réfère aux aspects théoriques et aux modèles des situations matérielles étudiées.

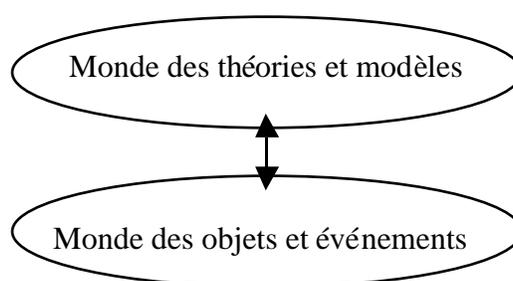


Figure 1 : Distinction entre deux mondes, fondée sur la modélisation en physique

Cette distinction, liée à l'objet d'étude de cette discipline, la matière inanimée, pourrait faire croire que l'on passe directement de la matière aux théories et modèles. Or le physicien décrit la situation matérielle en termes d'objets et d'événements ou encore de faits expérimentaux. La validation expérimentale s'appuie sur cette distinction ; de manière un peu caricaturale on peut dire qu'il y a confrontation entre des faits expérimentaux et leurs prévisions issues des théories et modèles. Pour étudier l'apprentissage de la physique, il est essentiel d'explicitier cette description du monde des objets et événements. Cette description va bien sûr dépendre des questions de recherches qui, elles-mêmes, sont liées aux théories.

Nous considérons qu'il est essentiel, pour étudier l'apprentissage de la physique, d'explicitier cette étape de la description. Par la suite, nous nous limitons à une physique élémentaire, celle enseignée jusqu'au début de l'université où les objets et événements sont observables directement ou quasi directement car macroscopiques et associés, pour leur investigation, à peu voire pas d'instrumentation. Par exemple, on peut percevoir (avec tous les sens et pas seulement la vue) les mouvements des objets aussi bien d'une pierre que d'une planète ou dans le cas du son, on peut inférer les objets vibrant à haute ou basse fréquence à partir d'effets perceptibles ou de mesures simples. Nous n'abordons pas les cas où le champ expérimental est étudié via une instrumentation complexe, par exemple des travaux sur les particules (hautes énergies, etc).

Cette prise en compte de la description du champ expérimental nous conduit à distinguer, dans les productions des physiciens, les théories et les modèles des descriptions du champ expérimental. Il s'agit d'une grille d'analyse catégorisant des éléments de savoir.

Du physicien à une personne dans la vie quotidienne

Dans le cas des élèves ou plus généralement des personnes dans la vie quotidienne, nous posons que leurs explications ou leurs prédictions sont fondées sur leurs systèmes explicatifs que nous appelons cadres théoriques. Ce choix s'appuie sur les travaux relatifs aux théories naïves de la vie quotidienne ou des enfants (Carey 1985 ; Vosniadou, 1994). Les théories naïves, à la différence des théories et modèles scientifiques, ne sont pas explicites et conscientes ; en revanche ces deux types de théories sont la base des explications et interprétations. Par exemple la causalité, au sens où un événement a une cause qui le précède, est un "principe théorique" fréquemment utilisé dans la vie quotidienne aussi bien par les enfants que par les adultes. Ce positionnement ne suppose pas qu'une personne ne s'appuie que sur un seul cadre théorique, celui-ci va dépendre des objets et événements en question et de la situation sociale.

Cette hypothèse du fonctionnement théorique nous conduit à considérer que l'activité de modélisation du monde matériel est aussi en œuvre dans la vie quotidienne. Nous faisons l'hypothèse que, lorsqu'une personne ou un groupe de personnes explique, interprète ou prédit des situations matérielles, il y a une activité de modélisation de ces situations (Tiberghien, 2000).

S'appuyer sur la modélisation pour analyser le fonctionnement des savoirs relatifs au monde matériel, qu'ils soient ceux du physicien, de l'élève ou de l'homme de la rue est un choix théorique qui a des conséquences méthodologiques importantes. Il conduit à décomposer ces savoirs en deux grandes catégories, les théories et les modèles d'une part, la description des objets et événements d'autre part. Ces savoirs sont ceux communiqués par l'écrit, l'oral, les gestes. Ainsi, cette catégorisation, fondée sur la modélisation, est une base commune pour analyser le savoir à enseigner, le savoir effectivement enseigné et la compréhension par l'élève de ce savoir et du monde matériel.

Comparée à d'autres catégorisations, comme celle distinguant les connaissances procédurales et déclaratives, notre catégorisation est transversale. Un énoncé théorique ou une description d'objets ou d'événements peut être déclaratif ou procédural. Par exemple, la proposition "le crayon rouge est sur cette table" est déclarative et c'est une description des objets et événements. En revanche, la proposition "la force du système "crayon" sur le système "table" est égale à celle du système "table" sur le système "crayon"" est aussi déclarative, mais elle est théorique.

Double catégorisation des savoirs

Nous sommes ainsi conduits à établir une double distinction : celle entre savoir quotidien et savoir de la physique, et pour chacun de ces savoirs celle entre théories et description en termes d'objets et d'événements d'une situation matérielle (figure 2). Ainsi des propositions d'élèves en cours d'enseignement peuvent relever de toutes ces catégories. Cette décomposition similaire pour le savoir de la physique et le savoir quotidien permet de prendre en compte les difficultés et les évolutions des apprenants. En particulier, elle permet de mettre en évidence que la description en termes d'objets et d'événements demandée dans l'enseignement de la physique n'est pas celle de la vie quotidienne même pour une situation familière. Il est nécessaire souvent d'introduire explicitement dans l'enseignement la description adéquate qui fait l'objet d'un apprentissage. Nous en donnerons des exemples plus loin.

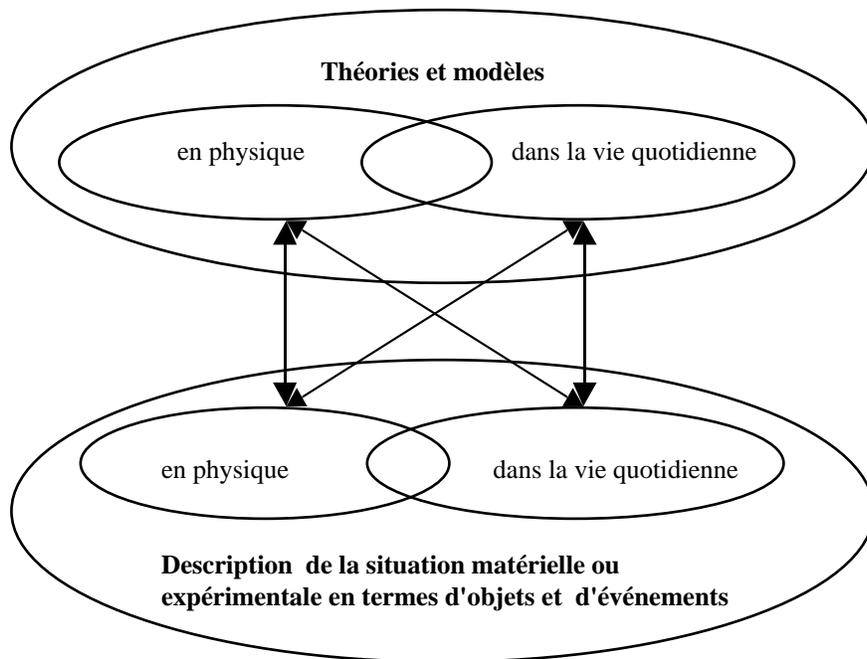


Figure 2 : les types de savoir à partir de l'analyse en termes de modélisation

De plus, ce type de décomposition du savoir permet l'interprétation de caractéristiques essentielles des difficultés des élèves quand ils apprennent la physique, comme cela a été montré dans de nombreuses études sur les conceptions des élèves (Driver *et al.* 1985). Après l'enseignement, les élèves sont souvent capables de résoudre des problèmes de physique avec des formules et des calculs. En revanche, ils ne sont pas souvent capables de donner du sens physique à ces formules c'est-à-dire à les situer dans la théorie associée qui conduit aux relations entre grandeurs physiques et qui permet de prédire et interpréter des expériences. Notre approche de la modélisation permet l'interprétation de ces difficultés, qui portent majoritairement sur l'établissement des liens entre le monde des objets et événements et le monde de la théorie et modèle.

Différents types de savoir sont en jeu dans la modélisation (figure 3) : les élèves peuvent utiliser leur savoir quotidien qui peut ou non recouvrir le savoir enseigné de la physique.

Ainsi, dans l'analyse des productions des élèves, nous considérons qu'il y a apprentissage quand l'élève construit des relations (figure 3).

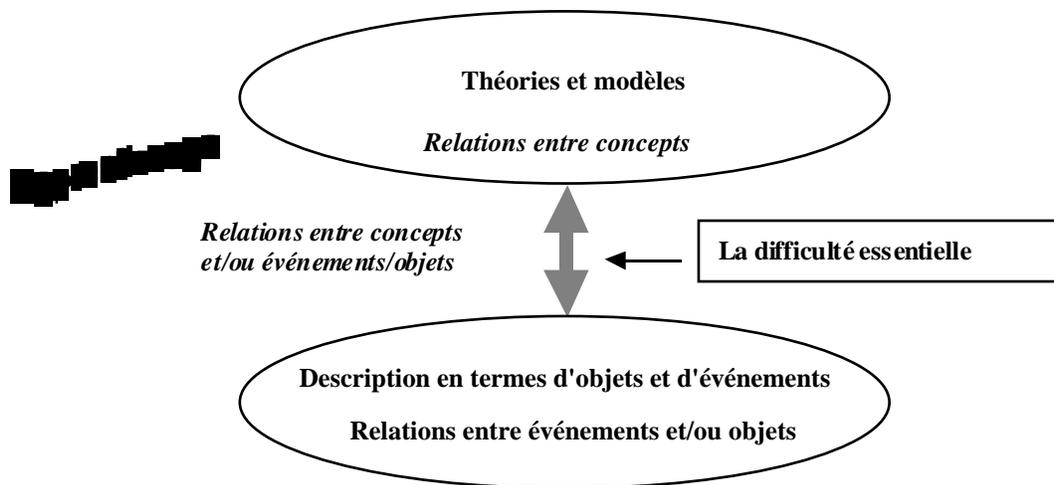


Figure 3 : catégories principales d'analyse de productions verbales et gestuelles permettant de caractériser les relations établies dans le cas du savoir enseigné en physique (pour des raisons de simplification de la figure nous n'avons pas étendu la représentation au cas du savoir quotidien).

Hypothèses spécifiques associées aux représentations symboliques

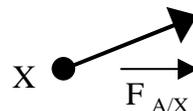
A partir du travail de Duval (1995), nous considérons différents types de registres sémiotiques.

- La langue naturelle
- Les graphes
- La géométrie vectorielle
- Les schémas
- Les formules algébriques
- Etc.

Cette distinction des registres sémiotiques conduit aux hypothèses suivantes (Ainsworth et al., 1996 ; Duval, 1995) :

- Un même concept peut être représenté de manières différentes, chaque représentation apportant une information spécifique à son sujet. C'est la compréhension de l'ensemble des représentations qui permet de donner du sens au concept. Par exemple dans le cas de la force, on a au moins trois registres :

- Registre 1 (langue naturelle) : Quand un système X est en interaction avec un système A, on appelle *force exercée par A sur X* l'action de A sur X. Pour représenter une force, on représente souvent le système sur lequel elle s'exerce par son centre de gravité auquel on attribue la masse du système.
- Registre 2 (formules algébriques) : $F = mg$
- Registre 3 (géométrie vectorielle) :



- Nous considérons, à la suite de Duval (1995), que "l'activité conceptuelle implique la coordination des registres sémiotiques". Il faut également, pour coordonner les représentations de registres différents d'un même concept, que l'apprenant distingue le représentant de sa signification. Cette distinction permet un traitement formel des représentations tout en ayant la possibilité de trouver une signification aux nouvelles représentations obtenues. De plus, le passage d'une représentation à une autre permet de construire du sens et doit donc être favorisé

pour pouvoir atteindre la coordination et l'objectivation des représentations. Se contenter de proposer des représentations multiples sans mener d'activité visant à établir des liens entre ces représentations pourrait être contre-productif du point de vue de l'apprentissage.

3.2 - Hypothèses spécifiques à partir de la théorie des situations

Nous ne reprenons que certains aspects de la théorie des situations de Brousseau (1998), le milieu et la dévolution, que nous présentons succinctement.

La situation d'enseignement est le lieu d'une mise en scène des savoirs. Le milieu représente l'environnement sur lequel l'élève peut agir. Il doit donc avoir certaines propriétés pour permettre à l'élève "de construire de nouvelles connaissances" (nouvelles pour lui). C'est l'élève qui assure la responsabilité de cette construction. Ainsi, le professeur dévolue à l'élève le "pouvoir" et la possibilité de construire de nouveaux éléments de savoir (ou savoir-faire). Ou encore comme l'écrit Brousseau (1998) : "La dévolution est l'acte par lequel l'enseignant fait accepter à l'élève la responsabilité d'une situation d'apprentissage (adidactique) ou d'un problème et accepte lui-même les conséquences de ce transfert (p. 303)." L'importance de ce choix théorique de concevoir une situation, qui conduise l'élève à pouvoir agir sur un milieu, rejoint le point de vue de Vergnaud (2000) que nous avons donné ci-dessus. Pour Vergnaud, dans sa théorie des situations Brousseau propose "l'organisation des perturbations, en vue de provoquer l'apprentissage". Dans notre perspective, nous élargissons cette organisation de la situation d'enseignement à celle de la communication permettant, s'il y a dévolution, des interactions verbales qui favorisent l'apprentissage.

4 - Compréhension par les élèves d'un savoir physique dans une situation d'enseignement habituelle

Nous donnons ci-dessous des exemples d'analyse des productions d'élèves, au cours d'un enseignement de physique, qui illustrent un des aspects essentiels de l'enseignement et de l'apprentissage de la physique, la description en langue naturelle d'événements familiers en termes pertinents pour la physique enseignée, description en étroite interaction avec la conceptualisation. Ces analyses sont fortement liées à l'approche de la modélisation présentée ci-dessus.

Nous prenons le cas de l'enseignement du son en classe de seconde. Dans un premier temps, le savoir visé consiste à associer le son à des phénomènes mécaniques : vibration des objets ou d'une partie d'objets, fréquence, amplitude puis il s'agit de mettre en relation la perception auditive du son avec la fréquence et l'amplitude de la vibration source. Les élèves sont ainsi amenés à construire une nouvelle phénoménologie du son.

Nous étudions la situation d'enseignement où les élèves doivent mettre en relation des perceptions et des phénomènes mécaniques, en particulier la perception aigu / grave avec la fréquence de la vibration source, celle de fort / faible avec l'amplitude.

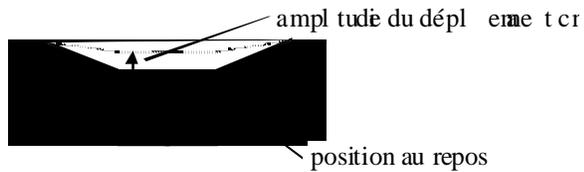
Dans cette séance d'enseignement, les élèves disposent d'un document (voir tableau 1).

Chaque source sonore, tout en restant au même endroit à chaque instant, possède une de ses parties qui vibre.
Une vibration est un mouvement de va-et-vient d'un objet (ou mouvement d'aller-retour).

Définition : La fréquence de vibration est le nombre d'aller-retour (1 aller et 1 retour comptent pour un) effectués en une seconde.

Comme pour une tension périodique, elle s'exprime en *Hertz* (Hz).

Cette fréquence mesure donc la vitesse avec laquelle la vibration a lieu.



Vue simplifiée, "en coupe", du haut-parleur

Exercice auditif : En quoi le son est-il différent lorsqu'on augmente la fréquence de vibration ?

Tableau 1 : document donné à l'élève lors de la réalisation de la tâche

Nous donnons ci-dessous deux extraits de la transcription des dialogues entre deux élèves travaillant ensemble lors de la réalisation de la tâche. Ces deux extraits sont analysés du point de vue de la modélisation.

Extrait 1

| | |
|-------|--|
| P. | alors maintenant... j'augmente la fréquence des vibrations de la membrane/allez j'augmente à nouveau [tourne un bouton du GBF] (723) |
| [...] | |
| Ni | ben plus ça vibre plus c'est aigu (726) |
| [...] | |
| Ni | plus la fréquence de la vibration est rapide est élevée (732) |
| Ch | ouais élevé c'est mieux (733) |
| Ni | ouais...qu'est ce que j'ai dit/plus le son est aigu/[...] (734) |
| Ch | ouais est aigu là c'est mieux (735) |
| [...] | |
| Ni | plus le son perçu est aigu/ est aigu/ est aigu/ben voilà c'est tout /ouais mais elle vibre encore c'est ça/ ça ça fait trop excellent/ je te dis ça fait bien comme le cœur tu sais (?)/ arrête arrête c'est la veine du son (738) |

Extrait 2

| | |
|-------|---|
| Ni | les vibrations/y a l'même son mais c'est une vibration différente (774) |
| Ch | ouais/ben c'est c'est comme quand tu... (775) |
| Prof | allez je ré-augmente (776) |
| [...] | |
| Ch | justement ben oui/quand tu changes le son de ta chaîne ...tu mets t'as pas t'as ben le même son (778) |
| Ni | le son change pas /le volume change (779) |
| Ch | tu vas pas chanter une autre chanson parce que tu changes le son (780) |
| Ni | non mais non/attends (rires) (781) |
| Ch | réfléchis (...) (782) |
| Ni | le son ne change pas , ce n'est... (783) |
| Ch | le son ne change pas mais sss (784) |
| Ni | la source du son (785) |
| Ch | non c'est, c'est euh ...euh...pas la hauteur/ le volume du son /c'est le volume du son qui change / c'est bon on peut dire /franchement t'es con (786) |
| Ni | donc le son /le son / le volume (787) |
| Ch | c'est le / le son ne change pas mais son volume augmente ou diminue/ augmente lorsqu'on augmente l'amplitude et diminue lorsqu'on diminue l'amplitude/ ouais... (788) |

Tableau 2 : extrait du dialogue (les nombres entre parenthèse sont les numéros de tour de parole tout au long de la séance d'enseignement)

Dans le premier extrait (tableau 2), l'élève Ni met en relation la rapidité de la vibration, et même de la fréquence de vibration, que nous considérons, à ce stade de l'enseignement, comme faisant partie du modèle physique, avec la perception de l'émission d'un son aigu, qui est un événement. Ni va plus loin en mettant en relation plusieurs événements associés via la notion de vibration, le mouvement vibratoire de la membrane et le cœur, on peut supposer qu'il s'agit du battement du cœur (figure 4). Ainsi, nous considérons que Ni construit un sens en élargissant les situations matérielles associées à la vibration, qui elle-même a une fréquence. Il est pour nous essentiel de montrer que la situation d'enseignement que nous avons conçue permet, au moins aux élèves observés, de construire du sens aux notions introduites. Les ressources disponibles ou encore les éléments du milieu au sens de Brousseau, ici la consigne et le matériel, et les interactions avec le professeur et au sein de la dyade, sont des éléments essentiels de cette construction du sens. Il faut noter que la vibration est celle de la membrane du haut-parleur, et plus généralement celle de la source du son, elle est donc associée à un événement qui, s'il n'est pas observable visuellement aux fréquences en jeu dans la situation, peut être perçu par le toucher, ce que les élèves font régulièrement.

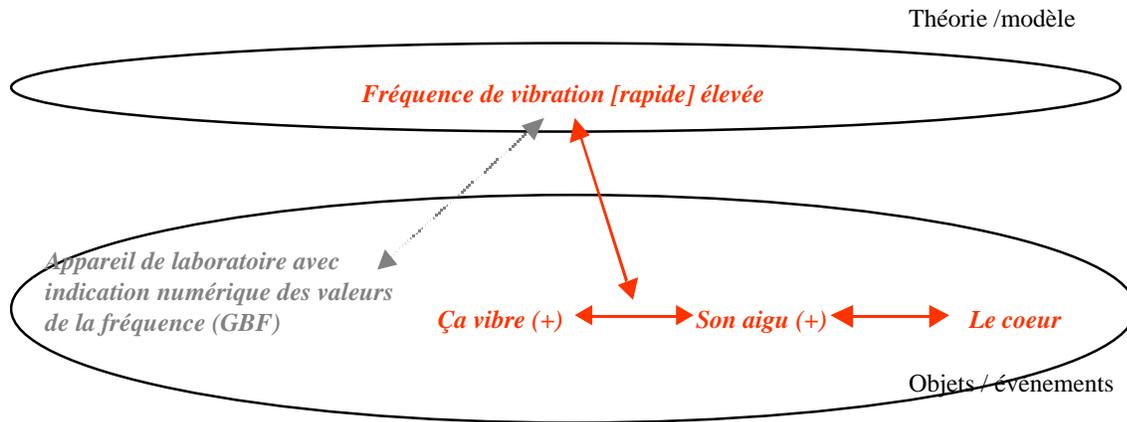


Figure 4 : relations entre les mondes

Le deuxième extrait (tableau 2) montre la richesse des relations entre les concepts de volume, amplitude, vibration, source qui sont associées à une tentative de description de la perception du son plus ou moins fort (figure 5). On voit là à la fois que le langage quotidien des élèves Ni et Ch ne leur permet pas de décrire d'emblée la perception d'un son fort ou faible ayant la même fréquence et que cette expérience leur est familière. Ainsi ils oscillent entre un même son (c'est la même chanson) et un son qui change (il est plus fort). Ceci pose évidemment la question de ce qui définit un son dans la vie de tous les jours et pour la physique. Ces différences de caractéristiques d'un même concept dans deux contextes d'utilisation différents devraient non seulement pouvoir être prises en compte pour l'enseignement mais aussi devenir explicites dans un second temps pour les élèves.

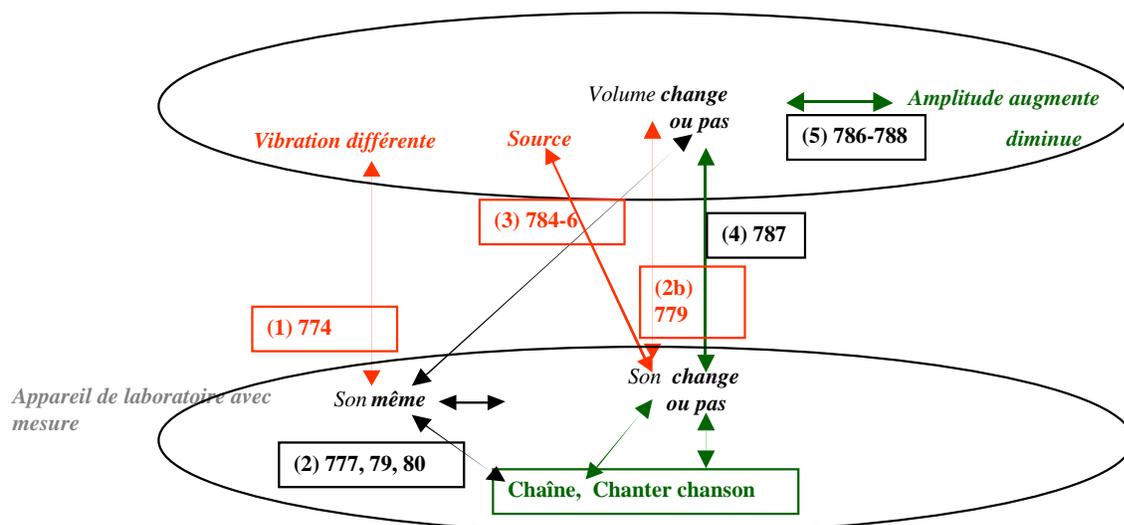


Figure 5 : relations établies par les élèves dans leur dialogue

Il s'agit ici d'exemples typiques de l'apprentissage de la physique élémentaire, où une description en langue naturelle des événements, pertinente pour la physique, n'est pas acquise alors que la situation est familière. Cette description doit faire l'objet d'un apprentissage. Or très souvent dans l'enseignement habituel la reconnaissance par les concepteurs de programme de cette nécessité d'un apprentissage n'est pas faite. On peut imaginer qu'ils supposent que, du fait de la familiarité de la situation, sa description en termes des événements caractéristiques est évidente pour les élèves. Cette description nécessite le plus souvent une certaine connaissance du modèle physique. Ceci est manifeste dans le premier exemple où, l'association avec le cœur, expérience également familière, se fait par l'intermédiaire de la vibration. Il est nécessaire de dissocier ces deux aspects, familiarité d'une situation et sa description en langue naturelle en termes des événements caractéristiques pertinents pour l'étude physique.

5 - Compréhension par les élèves d'un savoir physique dans un environnement de simulation (*SimulaSon*)

Le cas présenté ici met en œuvre, en plus des hypothèses liées à la modélisation celles liées aux registres sémiotiques. Nous présentons tout d'abord en quoi ces hypothèses vont jouer sur la construction de l'environnement de simulation conçu dans notre équipe (Vince, 2000, Vince & Tiberghien, 2000, 2002). Nous analysons ensuite très succinctement l'activité des élèves pour une des tâches.

Le tableau 3 présente l'analyse du savoir à enseigner en relation avec le choix du registre sémiotique associé. Ainsi, la fréquence peut varier de manière qualitative (plus ou moins grande), cette facette du concept se traduit sur la simulation par un graphe dont l'axe horizontal représente la valeur de la fréquence. On peut agir sur la fenêtre donnant ce graphe (voir tableau 4) en déplaçant un point avec la souris (voir figure 6). Chaque facette d'un concept est « représentée » dans un registre sémiotique donné.

| Facettes de "fréquence" | Facettes d'"amplitude" | Registre associé |
|--|--|---|
| Grandeur qu'on peut faire évoluer qualitativement sur un axe | Grandeur qu'on peut faire évoluer qualitativement sur un axe | Graphe |
| Grandeur physique avec valeur et unité | Grandeur physique avec valeur et unité | Valeurs numériques (+ unité) |
| Rapidité du vibreur (non matérialisée, à observer) | Moitié de la distance parcourue par le vibreur pendant un aller (ou un retour) | Registre animé : - vibration - représentation microscopique |
| Concept pouvant être défini en langue naturelle | Concept pouvant être défini en langue naturelle | Langue naturelle |

Tableau 3 : Facettes des concepts de fréquence et d'amplitude et des registres associés (Vince, 2000a)

| fenêtre/Actions permises | Registre sémiotique | Objets et concepts en jeu |
|--|-------------------------------|--|
| Graphe / fréquence et amplitude modifiables sur chaque axe | Graphe (non analogue) | - fréquence (axe des X) - amplitude (axe des Y) |
| Vibration, paramètres de la vibration / déplacement sur chaque axe du graphe | Expression algébrique + unité | Valeurs numériques (+ unité) |
| Son / écouter, ne pas écouter | Sonore | Perception auditive (fort/faible ; grave/aigu) |
| Vibration / pause, animation | Diagramme (analogue) | Ligne verticale qui se déplace |
| Microscopique / pause, animation, pas à pas | Diagramme (analogue) | Source simulée, particules |
| Capteur et écran/ déplacement des capteurs | Graphe (non analogue) | 2 courbes liées à un objet du modèle micro |

Tableau 4 : Les différentes représentations en jeu dans *SimulaSon* (Vince, 2000a)

Ainsi, dans le cas de la fréquence, quatre facettes ont été retenues en association avec un registre sémiotique.

1. Sa définition en langue naturelle : la fréquence de vibration est le nombre d'allers-retours (1 aller et 1 retour comptent pour un) effectués en une seconde.

Cette fréquence mesure donc la "vitesse" avec laquelle la vibration a lieu.

2. La possibilité de variation qualitative de la grandeur, cette variation pouvant être effectuée en déplaçant un point sur un axe (figure 6). Le choix d'un graphe dans un espace à deux dimensions est important car il suppose que le son peut être défini par ces dimensions, l'amplitude et la fréquence.

3. La valeur de cette grandeur et son unité qui complète sa définition : "Comme pour une tension périodique, elle s'exprime en *Hertz* (Hz)." Le registre est alors numérique.

4. L'événement physique "idéalisé" associé à cette grandeur, il s'agit du mouvement d'aller-retour d'un trait rectiligne. Cette représentation élimine tout aspect physique d'un instrument comme un vibreur, un métronome, etc.

Cette analyse du savoir est fortement en lien avec les hypothèses d'apprentissage. Ici l'hypothèse essentielle est que *la construction des relations entre registres sémiotiques associés à un même concept ou un même réseau de concept, joue un rôle essentiel dans l'apprentissage*. La situation d'enseignement doit alors favoriser ces relations en distinguant les registres ce qui exclut leur superposition sur une même figure (Duval, 1995 ; Ainsthworth, 1996). Ceci nous a conduit à choisir des fenêtres différentes suivant le registre sémiotique de la représentation (figure 6)

La figure 6 présente l'ensemble des fenêtres de *SimulaSon*. A ce logiciel sont associées 25 tâches au total qui correspondent à une durée totale d'environ 4h 30 réparties en trois séances d'environ 1h 30. Pour réaliser ces tâches, les élèves doivent utiliser un texte avec des schémas donnant le modèle physique. Ils disposent également d'une feuille décrivant simplement la signification des « entités » représentées à l'écran et les actions qu'il est possible de mener sur ces « entités ». Globalement voici les notions en jeu dans la série des 25 tâches proposées :

T1 : acquisition de la lecture et de la compréhension du graphe

T2 : relation fréquence - mouvement du trait
 T3 : relation fréquence - aspects perceptifs du son
 T4 : mesure et calcul de la fréquence du mouvement d'aller-retour
 T5: relation entre le graphe et la perception du son
 T6 à T13 : Utilisation du modèle microscopique
 T.14, T15 Longueur d'onde
 T.24, T 25 Relation entre longueur d'onde, fréquence et mesure de la vitesse du son.

L'utilisation de ce logiciel par les élèves a été étudiée avec huit dyades dont l'une a été filmée intégralement. Les données consistent en la trace automatique des actions des élèves de la dyade sur l'ordinateur et dans la transcription des dialogues à partir des bandes vidéos.

Nous donnons l'analyse d'un extrait d'un dialogue d'élèves lors de la deuxième tâche associée à ce logiciel (tableau 5). Le but de la première tâche est l'acquisition de la lecture et de la compréhension du graphe, celui de la tâche 2 est d'établir des relations entre la fréquence (vibration) et les aspects perceptifs du mouvement d'aller-retour.

Consigne des tâches 2 a et b

a - Quand la fréquence augmente comment évolue le mouvement d'aller retour ?
 b - Quand l'amplitude augmente comment évolue le mouvement d'aller retour ?

Durée et réponse écrite des élèves à la tâche 2a

Les élèves travaillent pendant 6 minutes à la tâche 2a et donnent la bonne réponse. Voici leur réponse écrite : "*Quand la fréquence augmente, les aigu augmente au niveau du son que l'on entend.*".

Extrait du dialogue lors de la réalisation de la tâche 2b

[...]
 L1: mais va plus vite / parce que l'amplitude c'est l'espace tu vois / plus il augmente non plus il augmente et moins ça va vite [...] ah non parce que ça se rapetissait avec +
 L2: ouais + donc l'amplitude c'est les traits rouges / non (?)
 [...] et l'amplitude c'est le trait noir non qu'est-ce que j' dis [...] non l'amplitude c'est le trait rouge et euh
 [...] et le mouvement d'aller-retour c'est le trait noir
 [...] et le trait ininterrompu au milieu c'est quoi (?)

Tableau 5. Présentation de la tâche 2

La durée de réalisation de la tâche 2b, contrairement à ce qu'on pourrait supposer vu la similarité entre les deux questions, n'est pas inférieure, mais légèrement supérieure : 7 minutes (6 minutes pour la tâche 2a). Ils démarrent en lisant la question (plus d'une minute), ils essaient ensuite de modifier l'amplitude, puis ils décrivent la représentation symbolique (après 2 minutes). Voici le dialogue pendant cette description :

[...]
 L1: mais va plus vite / parce que l'amplitude c'est l'espace tu vois / plus il augmente non plus il augmente et moins ça va vite [...] ah non parce que ça se rapetissait avec +
 L2: ouais + donc l'amplitude c'est les traits rouges / non (?)
 [...] et l'amplitude c'est le trait noir non qu'est-ce que j' dis [...] non l'amplitude c'est le trait rouge et euh
 [...] et le mouvement d'aller-retour c'est le trait noir
 [...] et le trait ininterrompu au milieu c'est quoi (?)

Alors qu'ils sont capables de répondre correctement pour la fréquence concernant le lien entre l'évolution de la perception sonore et la variation de la fréquence, ils ne sont pas pour autant capables d'interpréter complètement, en termes d'amplitude et de fréquence la représentation schématique dynamique. Ce dialogue, à propos de ce qu'ils voient sur l'écran, en termes d'espace entre les traits rouges, qui augmente et "rapetissent", et de la rapidité du mouvement du trait noir, montre combien l'interprétation de cette représentation schématique dynamique n'est pas spontanée. Les liens entre représentation schématique et événements pertinents pour le concept en jeu sont à construire. La relation entre la définition en langue naturelle, et la perception d'une représentation "standard" ne se réalise pas d'emblée, elle est un objet d'apprentissage.

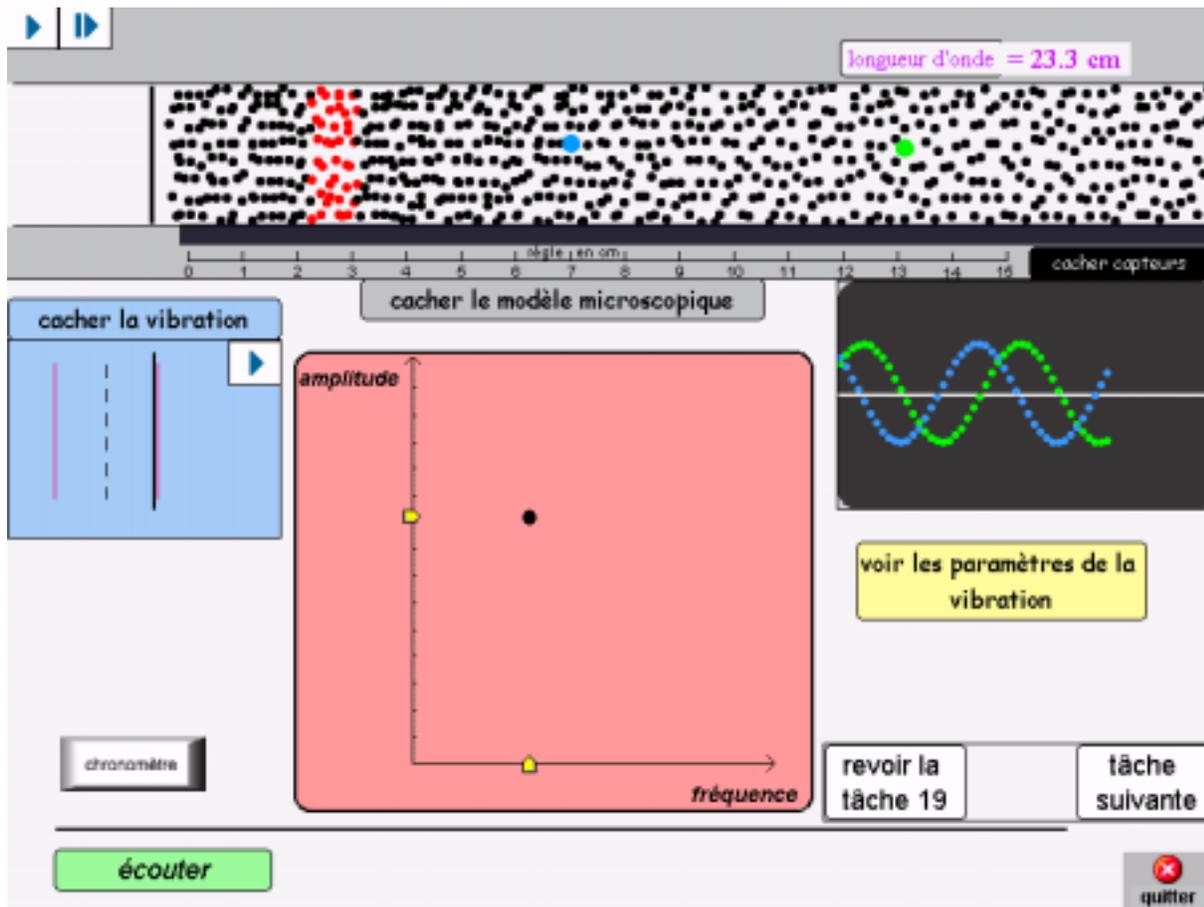


Figure 6 : Interface complète de *SimulaSon*

En conclusion, nous mentionnons les principaux résultats obtenus dans le cas de l'étude de l'utilisation de *SimulaSon*.

1. Un apprentissage pour la description des représentations pour elles-mêmes (familiarité) est nécessaire ;

2. Les réponses des élèves dans un environnement riche peuvent être correctes mais peuvent aussi rester locales, limitées à la stricte situation ;
3. Le contenu et la formulation des questions jouent un rôle crucial dans l'aide qu'elles peuvent apporter aux élèves pour comprendre leur environnement (voir aussi Séjourné, 2001) ;
4. Les rétroactions de l'environnement jouent un rôle essentiel sur l'autonomie des élèves (on rejoint là des résultats bien connus).

6. Conclusion

Cette présentation nous conduit à deux considérations sur les liens avec les sciences du langage et la didactique de cette discipline.

L'une porte sur l'importance des aspects langagiers aussi bien dans la conception de séquences ou de situations d'enseignement que dans leur analyse. L'autre porte sur les relations entre les deux didactiques des langues et des sciences.

Les études présentées et plus largement les travaux menés en didactique des sciences, en particulier les plus récents, mettent en jeu des aspects langagiers multiples. Ainsi, dans l'analyse des savoirs enseignés en relation avec les connaissances initiales des élèves, la différence entre langue scientifique et langue quotidienne est un objet d'analyse. Cette analyse permet de comprendre et d'anticiper certaines difficultés des élèves et d'aller jusqu'à choisir des aspects langagiers qui nécessitent un enseignement. De plus l'analyse du savoir en termes de modélisation nécessite la prise en compte du lexique. La conception des situations (mise en scène du savoir, formulation des textes et des questions, choix des supports, etc.) nécessite la prise en compte du fonctionnement de la langue dans plusieurs dimensions syntaxo-sémantique, sémiotique et bien sûr pragmatique. Enfin, l'analyse des interactions verbales et gestuelles, même si elle a pour but d'étudier la construction du sens de nouveaux savoirs et savoir-faire et non le fonctionnement de la langue, doit tenir compte ce fonctionnement.

En ce qui concerne les relations entre les didactiques des sciences et des langues, il nous semble important de souligner une différence dans les liens entre ces didactiques et leurs disciplines. Les disciplines dites scientifiques comme la physique, la chimie ont pour objet d'étude le monde matériel (inanimé), alors que celui des langues est l'Homme ou la société comme celui des didactiques des disciplines. En effet les recherches en didactique, quelle que soit la discipline, porte sur les phénomènes d'enseignement et d'apprentissage. Ainsi, du point de vue de l'objet d'étude et des méthodologies associées, les didactiques des sciences sont plus éloignées de leur discipline que la didactique des langues.

Dans le fonctionnement des didactiques des langues et des sciences, il commence à apparaître des débats riches. C'est par exemple la cas à propos de la transposition didactique : les types de savoirs ou savoir -faire de référence sur lesquels se fondent le curriculum ne sont pas les mêmes en langues et en sciences. Dans le cas de l'enseignement des langues étrangères, le "savoir parler la langue" dans la vie quotidienne est une référence qui n'est pas socialement reconnue comme "savoir savant". Cependant elle fonctionne comme référence (parmi d'autres). Ce type d'analyse renvoie aussi au fonctionnement dans les classes des "objets de savoir enseignés". Ainsi, le débat pour être fructueux nécessite d'aller au-delà des différences ou similarités de surface, et il est nécessaire d'analyser plus finement le fonctionnement des savoirs et savoir-faire en jeu comme certains courants de la didactique comparée commencent à le faire (Mercier, Schubauer-Léoni, Sensevy, 2002).

Références

- Anderson, B. (1986) : The experimental gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, 8(2), 155-171.
- Ainsworth, S. Wood, D. / Bibby, P. (1996) : Co-ordinating multiple representations in computer based learning environments, *Proceedings of the European Conference on Artificial Intelligence and Education*, Lisbon.
- Bachelard, G. (1975) : *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin.
- Brousseau, G. (1998) : *Théorie des situations didactiques*. Grenoble: La pensée sauvage.
- Bunge, M. (1973) : *Method and matter*. Dordrecht-Holland.: D. Deidel publishing company.
- Carey, S. (1985) : *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Closset, J. L. (1983) : *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Unpublished Thèse 3ème cycle, Physique (didactique), non publiée, Université Paris 7, Paris.
- Corrigan, R., / Denton, P. (1996) : Causal understanding as a developmental primitive. *Developmental review*, 16, 162-202.
- Driver, R., / Guesne, E., / Tiberghien, A. éd. : (1985) : *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press.
- Dupin, J. J. / Johsua, S. (1986) : L'électrocinétique du Collège à l'Université : évolution des représentations des élèves, et impact de l'enseignement sur ces représentations. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 683, 779-800.
- Duval, R. (1995) : *Sémiosis et pensée humaine, registres sémiotiques et apprentissage intellectuels*. Berne: Peter Lang.
- Giere, R. N. (1988) : *Explaining science. A cognitive approach*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Mercier, A., / Schubauer-Léoni, M., / Sensevy, G. (2002) : Revue française de pédagogie, n) 141 vers une didactique comparée
- Séjourné, A. (2001) : *Conception d'un hypermédia et analyses de l'influence de l'organisation des contenus sur l'activité des élèves : Le cas de "Labdoc Son et Vibrations"*. Thèse en Sciences de l'éducation, Université Lumière Lyon 2, Lyon.
- Shipstone, D. M., / Rhöneck von, C., / Jung, W., / Kärrqvist, C., . Dupin, J. J., / Johsua, S., / Licht, P. (1988) : A study of students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, 3, 303-316.
- Tiberghien, A. (2000) : Designing teaching situations in the secondary school. In Millar, R., / Leach, J., / Osborne, J., éd., *Improving science education: The contribution of research* (pp. 27-47) : Buckingham, UK: Open University Press.
- Tiberghien, A., / Buty, C., / Cordier, F., / Coquidé, M., / Cornuéjols, A., / Laborde, / C., / Rogalski, J. / Veillard, L., / Bouchard, R. (2002) : *Des connaissances naïves au savoir scientifique*. Paris: Programme Ecole et Sciences cognitives.
- Tiberghien, A. (2002) : Des connaissances naïves au savoir scientifique. In Kail, M., / Fayol, M., éd., *Les sciences cognitives et l'école* (pp. 353-413) : Paris : PUF.
- Vergnaud, G. (2000) : *Lev Vygotski. Pédagogue et penseur de notre temps*. Paris : Hachette éducation.
- Vergnaud, G. (2002) : On n'a jamais fini de relire Vygotski et Piaget. In Clot, Y., éd., *Avec Vygotski* (pp. 55-68) : Paris : La Dispute.

- Viennot, L. (1993) : Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique. *Didaskalia*, 1, 13-27.
- Vince, J. (2000) : *Approches phénoménologique et linguistique des connaissances des élèves de seconde sur le son. Contribution à l'élaboration et l'analyse d'un enseignement et au développement d'un logiciel de simulation*. Thèse, Université Lumière Lyon 2, Lyon.
- Vince, J., / Tiberghien, A. (2000) : Simuler pour modéliser. Le cas du son. *Sciences et techniques éducatives*, 7(2), 333-366.
- Vince, J., / Tiberghien, A. (2002) : Modeling in teaching and learning elementary physics. In P. Brna, P., / Baker, M. / Stenning, K., / Tiberghien, A., eds., *The role of communication in learning to model* (pp. 49-67) : London: Lawrence Erlbaum associates.
- Vosnadiou, S. (1994) : Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45-69.

Remerciement : nous tenons à remercier Pierre Bange pour ses commentaires très stimulants.