

Éléments théoriques pour la conception d'un hypermédia en sciences physiques et pour l'analyse de l'activité des élèves : le cas des phénomènes sonores

Theoretical elements to design a hyper-
media in physics and to analyse student's
activity : the case of sound phenomena

Arnaud SÉJOURNÉ

UMR GRIC-COAST, université Lumière Lyon 2
5, avenue Pierre-Mendès-France, 69676 Bron cedex 11, France.
arnauld.sejourne@univ-lyon2.fr

Résumé

Ce texte présente une recherche en didactique de la physique dont l'une des finalités est de concevoir un hypermédia dédié à l'enseignement des sciences à partir d'hypothèses d'apprentissage liées au fonctionnement du savoir. L'avantage de telles hypothèses est de permettre à la fois de concevoir l'hypermédia « Labdoc Son et Vibrations » et d'analyser l'activité des élèves en situation de classe. Nous décrivons d'abord le cadre théorique de référence qui introduit les hypothèses d'apprentissage liées au savoir enseigné lesquelles deviennent des contraintes pour la conception. La méthode de la conception est ensuite présentée et illustrée à partir de

plusieurs exemples. Enfin, nous présentons un exemple d'analyse de l'activité des élèves à partir de ce même cadre théorique afin de voir si l'environnement créé va favoriser l'activité des élèves telle que nous l'avons prévue dans notre analyse a priori.

Mots clés : *nouvelles technologies, représentation multiple, activité de modélisation, situation d'apprentissage, physique.*

Abstract

This text presents a research in physics didactics whose main aim is to design a hypermedia dedicated to science teaching on the basis of learning hypotheses related to how knowledge functions. As shown in this text, those learning hypotheses underlie both the design of the hypermedia « Labdoc Son and Vibration » and the analysis of students' activity in classroom situation. First, is described the theoretical framework that introduces the learning hypotheses related to knowledge that is to be taught. The learning hypotheses become constraints for the conception. The method of the conception is then presented and illustrated from several examples. Finally, we present an example of analysis of the student's activity with the same theoretical framework in order to see if the computer environment favours the types of student activity we have provided for in our a priori analysis.

Key words : *new technologies, multiple representation, modelling activity, Learning situation, physics.*

1. INTRODUCTION

La recherche présentée porte sur la conception d'un environnement d'apprentissage dans le domaine de la physique. Elle s'inscrit dans le domaine de l'ingénierie didactique (Artigue, 1990). Nous avons conçu l'hypermédia « Labdoc son et vibrations » dédié à l'enseignement des phénomènes sonores (vibration, propagation du son, etc.) pour des élèves de seconde (Séjourné & Tiberghien, 2001). Cet hypermédia s'insère dans l'une des catégories d'usage proposées par Bruillard et de la Passadière (1998) qui est « *d'utiliser des environnements d'apprentissage intégrant l'hypertexte* » (Venturini & Viel, 1996 ; Paquelin, 1996). Sa conception a nécessité la mise en place d'un cadre théorique à partir de questions portant par exemple sur : l'organisation des tâches initialement scénarisées (sur le papier), la manière de réaliser des expériences à partir d'un ordinateur, la façon d'évaluer la réponse des élèves, la nature des aides à proposer, etc. Ces questionnements sont relatifs d'une part à *comment concevoir des situa-*

tions d'apprentissage présentées sur un support informatique et d'autre part à *comment véhiculer et organiser le savoir en jeu*.

Dans cet article nous présentons d'abord le cadre théorique, suivi de son application du point de vue de la conception de l'hypermédia. Nous analysons ensuite, à partir de ce même cadre théorique l'activité des élèves, en nous centrant sur la nécessité de varier les caractéristiques des situations d'enseignement mettant en jeu un même objet de savoir afin de favoriser l'apprentissage conceptuel. Cette analyse nous permettra d'apprécier si les tâches créées favorisent les activités des élèves que nous avons prévues lors de notre analyse *a priori*.

2. CADRE THÉORIQUE DE RÉFÉRENCE

Notre cadre théorique de référence sert à la fois de base pour organiser les contenus scientifiques dans l'hypermédia et pour analyser les activités des élèves.

Il comporte trois « outils » théoriques. Les deux premiers se réfèrent aux savoirs en jeu dans la situation d'enseignement et ceux (co)-construits par les élèves. Ce sont d'une part l'activité de modélisation et d'autre part ce que nous appelons « activité sémiotique » c'est-à-dire la manière dont un apprenant utilise les représentations du savoir enseigné impliqué dans l'activité de modélisation ; représentations précédemment élaborées à partir d'une analyse du savoir à enseigner. L'activité réalisée par un individu (physicien ou non) lors d'une interprétation ou lors de la prédiction d'un fait scientifique est dite de *modélisation*. Il mobilise et met en relation des éléments d'information d'ordre théorique et liés aux « objets et événements » observés. L'activité sémiotique consiste à utiliser des systèmes sémiotiques de représentations et établir des relations entre des représentations élaborées. Le troisième « outil », qui contribue aux fondements de la conception de l'hypermédia, provient de la théorie des situations de Brousseau (1998). Il permet d'organiser des situations favorables à l'apprentissage des sciences en cernant les rôles de l'enseignant et de l'enseigné vis-à-vis du savoir en jeu dans la situation d'enseignement.

Ces trois « outils » comportent des hypothèses d'apprentissage, en particulier, liées à la manière dont fonctionne le savoir et aux caractéristiques des situations d'apprentissage. Ils ont permis la transformation de séquences d'enseignement¹ sur les phénomènes sonores initialement sur format papier en celles proposées dans l'hypermédia. Ces séquences initiales ont été, au départ, produites par un groupe composé d'enseignants, de chercheurs et d'un inspecteur pédagogique régional (IPR).

2.1. L'activité de modélisation

Le choix fondé sur la modélisation permet d'analyser la diversité des savoirs en jeu dans les séquences d'enseignement et l'activité des élèves dans deux perspectives que sont l'enseignement de la physique et l'apprentissage (partie 0). Nous présentons d'abord l'intérêt de l'activité de modélisation pour organiser les contenus scientifiques, puis les hypothèses d'apprentissage associées.

2.1.1. Intérêt et présentation

Pour Tiberghien (1994), donner une explication, une interprétation ou une prédiction au sujet d'un événement du monde sensible, nécessite une activité de modélisation. Cette activité implique deux mondes, celui de la « théorie-modèle », correspondant aux systèmes explicatifs de l'apprenant, et celui des « objets et des événements » concernant les faits scientifiques et de la vie quotidienne. L'apprenant établit donc des liens entre ses propres systèmes explicatifs et les objets et/ou les événements observés. Ces systèmes explicatifs (pouvant ne pas faire sens du point de vue de la physique) sont constitués d'éléments cognitifs stables (Buty, 2000 ; Niedderer & Schecker, 1992), dont, en particulier, le raisonnement causal linéaire (Viennot, 1993). Par exemple, pour certains élèves, le son cause la vibration de la source de son et non l'inverse.

Le processus de modélisation met en jeu trois principaux niveaux² de savoir que sont la théorie, le modèle et le « champ expérimental ».

Le niveau de la théorie inclut le niveau explicatif de la modélisation. Pour la physique, nous y rencontrons les principes, les lois.

Le modèle est un intermédiaire indispensable entre le niveau de la théorie et le niveau du « champ expérimental ». Il reconstruit la situation expérimentale dans les termes de la théorie (Bachelard, 1979). Dans le cas de la physique, il consiste en des formalismes et des mises en relation entre grandeurs.

Le niveau des « objets et des événements », pour la physique, appartient au « champ expérimental » qui comprend les faits expérimentaux, les objets et les événements associés à des expériences et les prises de mesure.

À ces niveaux correspondent des descripteurs du savoir mis en jeu dans le processus de modélisation. Ces descripteurs rendent possible l'analyse des séquences d'enseignement et la comparaison des démarches de modélisation impliquées dans le savoir enseigné à celles que l'élève met

en œuvre (Tiberghien, 1999). L'analyse de l'activité des élèves revient, en partie, à réaliser cette comparaison (partie 4).

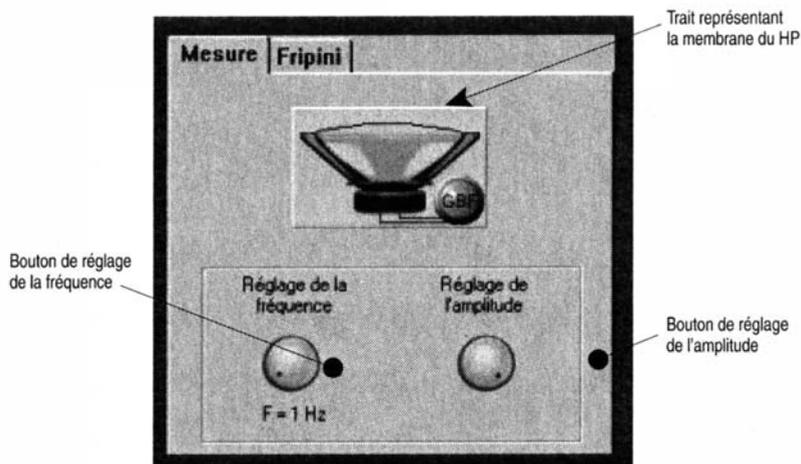


Figure 1 • Exemple du niveau des « objets/événements simulés » à partir d'une simulation présentée dans l'hypermédia Labdoc Son et Vibrations

2.1.2. Le niveau des « objets et événements simulés »

La conception de situations d'enseignement utilisant les nouvelles technologies nécessite de distinguer des éléments de savoir que l'on rencontre sous la forme de simulations, de modélisations informatisées d'expériences à réaliser selon des lois de la physique, etc. Ces éléments de savoir que nous nommons « objets et événements simulés » appartiennent globalement au monde de la simulation : « Ces entités virtuelles, observables et « manipulables » (les simulations), ne sont ni des objets réels, ni des éléments du monde des théories-modèles. Ils servent d'intermédiaires, dans l'activité de résolution d'un problème entre le monde des objets/événements et le monde des modèles : nous appellerons par la suite ce qui est représenté à l'écran le monde de la simulation » (Vince, 2000, p. 315). La simulation sert donc de lien privilégié entre le théorique et l'expérimental (Beaufils *et al.*, 1987 ; Buty, 2000 ; Vince, 2000 ; Vince & Tiberghien, 2000). La figure 1, par exemple, présente la simulation du mouvement d'aller-retour d'une membrane du haut-parleur dont il est possible de faire varier les grandeurs fréquence et amplitude à partir des deux boutons. Nous constatons qu'une telle simulation se réfère :

– au « champ expérimental » *via* les objets représentés (une coupe de haut-parleur, une membrane du haut-parleur (HP) représentée par un trait),

– à une théorie et un modèle puisqu'il est possible d'agir sur les grandeurs fréquence et amplitude, qui sont des concepts du cadre théorique physique du savoir en jeu.

Cette simulation peut donner ainsi l'occasion aux élèves d'évoquer d'une part le « champ expérimental » *via* les objets composant la simulation (un haut-parleur par exemple) et les événements observés (mouvement du trait représentant la membrane du haut-parleur) et d'autre part le monde des théories-modèles, car il est possible d'agir sur les grandeurs physiques associées.

2.1.3. Hypothèse d'apprentissage et difficultés des élèves

L'hypothèse d'apprentissage associée à cette activité de modélisation pose que les concepts de physique prennent leur sens dans les mises en relation que les élèves réalisent entre les différents niveaux de savoir et au sein d'un même niveau de savoir. La verbalisation qui suit illustre le cas où un élève met en relation le niveau de la « théorie-modèle » (la fréquence) avec celui du « champ expérimental » (la perception d'un son) : « *la fréquence est faible quand un son est grave* ».

Cependant, les précédents travaux de l'équipe COAST (Bécu-Robinault, 1997 ; Tiberghien & Megalakaki, 1995) montrent que les élèves éprouvent des difficultés à réaliser cette activité de modélisation. En réponse à cette difficulté d'articuler les éléments des mondes « théories/modèles » et « objets/événements », Vince (2000) considère qu'il faut les dissocier. Cela implique alors la sélection de situations expérimentales qui doivent être cohérentes avec le modèle en jeu.

2.2. Systèmes sémiotiques et représentations sémiotiques

Nous considérons que les représentations sémiotiques produites par un enseignant ou par un élève lors d'une séquence d'enseignement ne se limitent pas à leurs esthétismes, à produire de l'émotion ou à diversifier les représentations d'un même objet. Elles nécessitent, de la part d'un sujet, des activités cognitives essentielles à leur compréhension (Duval, 1995; Ainsworth *et al*, 1996 ; Ainsworth, 1999). Nous présentons d'abord l'intérêt des représentations sémiotiques et des systèmes sémiotiques, puis les hypothèses d'apprentissage associées.

2.2.1. Intérêt et présentation

Selon Duval (1996), parler de représentation c'est prendre en compte le mode de production et la signification de la représentation. Une

représentation sémiotique est, par nature, externe, du fait qu'elle est visible et observable et qu'elle nécessite le développement et la maîtrise d'un système de représentation (la langue naturelle, l'image, l'écriture symbolique). Les représentations peuvent être converties en des représentations équivalentes dans un autre système sémiotique et prendre des significations différentes pour l'apprenant qui les utilise³ (Duval, 1995). Le concept d'amplitude, par exemple, peut être représenté à partir de trois systèmes sémiotiques que ce soient la langue naturelle (une définition), la représentation dynamique (une animation) ou le dessin légendé (tableau 1). Chacune des représentations sémiotiques apporte des informations supposées aider à la compréhension dudit concept. Par exemple, à partir de la représentation intitulée « dessin », il est possible de prendre conscience de ce que l'on entend par déplacement plus ou moins grand de la partie vibrante de la source de son (voir définition de l'amplitude) puisque c'est explicitement désigné sur le dessin. L'animation, quant à elle, présente l'amplitude de vibration en tant que grandeur mesurable avec une règle graduée.

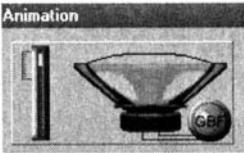
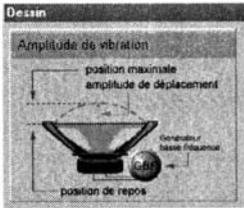
Systèmes sémiotiques	Différentes représentations de l'amplitude de vibration
Langue naturelle	Définition : L'amplitude est un déplacement plus ou moins grand de la partie vibrante de la source de son.
Représentation dynamique	 <p>Animation</p>
Dessin légendé	 <p>Dessin</p> <p>Amplitude de vibration</p> <p>position maximale</p> <p>amplitude de déplacement</p> <p>position de repos</p> <p>Générateur basse fréquence</p> <p>GBF</p>

Tableau 1 • Représentations possibles du concept d'amplitude de vibration présentée dans l'hypermédia Labdoc Son et Vibrations

2.2.2. Hypothèses d'apprentissage

À la suite de Duval (1995), nous supposons que les relations construites par les élèves entre les diverses représentations favorisent la construction du sens d'un concept en jeu dans la tâche proposée. Prenons cet exemple de verbalisation d'un élève réalisant la tâche « définition de la

fréquence » (figure 2) : « Ah là la fréquence c'est un hertz et la fréquence c'est le nombre d'allers et retours effectués en une seconde par la partie vibrante de la source donc en une seconde ça fait un deux ». Nous constatons que l'élève met en relation des informations provenant de la définition de la fréquence (langue naturelle) avec celle de l'animation (représentation dynamique). Nous pouvons supposer que l'élève est en train de construire du sens au concept de fréquence en articulant ces deux représentations.

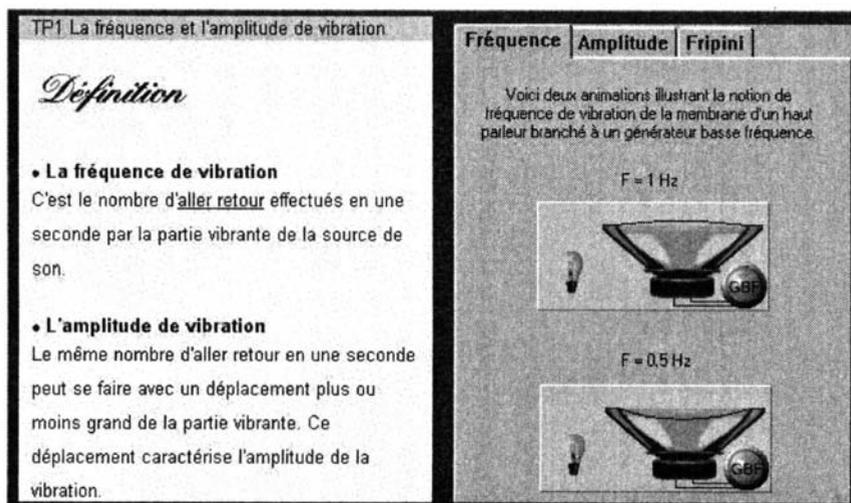


Figure 2 • Page-écran de la tâche « Définitions de la fréquence et de l'amplitude » du TP1 proposée dans l'hypermédia Labdoc Son et Vibrations

2.3. Situations d'apprentissage

Il va s'agir de caractériser les situations d'apprentissage qui visent à permettre aux élèves de construire de nouveaux savoirs. La situation est définie par des éléments de nature matérielle (matériel expérimental, cahier, tableau), conceptuelle (consigne, définitions, etc.) et sociale (enseignant, élève). Le sens du savoir (enseigné et de l'élève) est « situé » par rapport aux situations proposées. La compréhension des élèves est donc dépendante de la situation. Ainsi, nous empruntons et adaptions certains aspects de la théorie des situations de Brousseau (1998) afin de spécifier certaines conditions pour créer des situations d'apprentissage favorables à la construction de connaissances par les élèves.

La prise en compte des éléments théoriques, tels que les situations adidactiques, la dévolution, l'institutionnalisation, le milieu, permet de cerner les rôles de l'enseignant et de l'élève relativement au savoir. La conception d'une situation adidactique implique de placer l'élève dans une relation privilégiée avec le savoir. L'élève devient responsable du problème à résoudre, la réponse au problème ne doit dépendre que de ses connaissances et de l'organisation de la situation constituée par exemple d'une consigne, du matériel expérimental, de ressources informationnelles (documents papier présentant le modèle scientifique à mettre en œuvre dans la tâche proposée). Ces situations organisées par l'enseignant sont donc censées « *provoquer chez l'élève les adaptations souhaitées (de ses connaissances premières ou précédemment enseignées), par un choix judicieux des problèmes* » (Brousseau, 1998, p. 58). Pour Brousseau, l'élaboration de situations d'apprentissage nécessite d'organiser un milieu qui produise des difficultés, contradictions, déséquilibres.

L'enseignant organise donc un milieu dénué d'intention didactique dans l'objectif que les rapports de l'élève avec ce dernier le conduisent à des comportements « *pertinents* » « *indices de l'appropriation du savoir* » (Brousseau, 1998, p. 93). L'élève interagit avec le milieu et l'interprétation de ses interactions influence son activité. L'apprentissage résulte donc de la qualité de l'interaction du sujet avec le milieu organisé.

De notre point de vue, le milieu correspond à l'environnement informatique médiateur de l'activité des élèves. Ce milieu dit « informatique » doit alors :

- fournir aux élèves des feed-back pertinents sur leurs actions⁴,
- fournir aux élèves les savoirs scientifiques : rôle d'institutionnalisation du milieu,
- rendre responsables les élèves de la tâche à réaliser, favoriser l'autonomie des élèves : aspect « dévolutif » du milieu.

Ainsi, nous considérons que le milieu « informatique » doit au moins jouer deux rôles :

- 1. Le milieu favorise la dévolution, le travail autonome de l'élève. Pour cela :
 - a. il encourage les élèves à réaliser la tâche,
 - b. il permet la répétition des stratégies « *ce qui le (l'élève) rend de plus en plus conscient de ce qui le pousse à agir* » (Margolinas, 1993, p. 117) et la modification des stratégies de résolution,
 - c. il fournit aux élèves un moyen de tester régulièrement leurs solutions, leurs prédictions,

- d. il propose la même situation ou une nouvelle dans le cas où la réponse de l'élève serait « erronée » : l'erreur étant considérée constitutive du processus d'apprentissage ;
- 2. Le milieu joue un rôle d'institutionnalisation :
 - a. il précise le savoir que les élèves sont censés posséder,
 - b. il donne un statut officiel aux actions des élèves, à leur réponse en relation au savoir en jeu.

Pour un même objet de savoir à enseigner, qui met en jeu différents systèmes sémiotiques, il est donc nécessaire d'organiser diverses situations. Ainsi, nous supposons qu'il faut faire varier les caractéristiques des situations pour favoriser un apprentissage conceptuel des élèves.

2.4. En conclusion

L'originalité d'un tel cadre théorique est de servir de base pour concevoir l'hypermédia et pour analyser l'activité des élèves. De plus, nous tenons à souligner que ces trois axes théoriques ne sont pas isolés les uns des autres mais imbriqués. Caractériser le « milieu » (Brousseau, 1998) va nécessiter de prendre en compte les aspects sémiotiques et le processus de modélisation. Par exemple, l'élément du milieu « énoncé du problème » est en langue naturelle (système sémiotique) et peut relever de différents niveaux de savoir. Nous considérons aussi que l'activité de modélisation de l'élève sera favorisée par son activité sémiotique et par les diverses actions qu'il effectue avec les différents éléments composant le milieu « informatique ».

Ainsi, ces « outils » théoriques permettent de concevoir des situations d'enseignement favorisant *a priori* l'activité de modélisation, l'activité sémiotique de l'apprenant et les rétroactions du milieu. Toutefois, leur conception nécessite de tenir compte de contraintes informatiques et ergonomiques lesquelles sont imbriquées avec celles issues des hypothèses d'apprentissage présentées ci-dessus. En effet, la prise en compte de résultats de recherche en ergonomie des interfaces et en psychologie de l'éducation, sur les difficultés d'un utilisateur à lire des informations à l'écran (Rouet, 1997), à naviguer et à se repérer (Conklin, 1987 ; Foss, 1998 ; Tricot, 1993), à identifier les informations sur un écran (travaux sur l'espace et la densité des informations à l'écran, Van Nes, 1986 ; Caro & Betrancourt, 1998 ; Scapin, 1986) et sur les effets de la disposition des informations à l'écran (Caro & Betrancourt, 1998) associée aux contraintes liées aux hypothèses d'apprentissage, conduisent, par exemple, à découper les séquences d'enseignement initiales (format papier) en tâches bien distinctes

(une tâche par page-écran), à élaborer de nouvelles consignes, à envisager parfois de nouvelles tâches, à envisager une navigation de l'utilisateur en relation avec l'ordre d'introduction des concepts scientifiques (voir partie 3).

3. DU CADRE THÉORIQUE À LA CONCEPTION DE L'HYPERMÉDIA

L'hypermédia « Labdoc Son et vibrations », co-élaboré avec la société Jeulin⁵, est dédié à l'enseignement du son en conformité avec les directives du bulletin officiel (BOEN, 1992) pour des élèves en classe de seconde. Il se compose de « cinq lieux » : (1) une salle de travaux pratiques (TP) comportant cinq séances de TP, (2) une salle d'expériences libres proposant une liste de protocoles en lien avec le savoir à enseigner et le logiciel « Sonorama », permettant de visualiser un signal électrique acquis par un microphone, (3) une salle de cours, (4) une salle d'exercices et (5) une bibliothèque. La familiarité des élèves avec ces lieux peut les encourager à s'y référer régulièrement (Guéraud *et al.*, 1993). Le cadre théorique de référence a été utilisé principalement pour concevoir les différentes séquences d'enseignement proposées dans la salle de travaux pratiques et certains types de ressources. De plus, l'activité expérimentale est centrale dans cet hypermédia. Nous considérons que c'est au travers de la réalisation des différentes séquences d'enseignement constitutives de la salle de TP que les élèves feront appel aux autres contenus (cours, dictionnaire, etc.) Enfin, la conception de ces séquences est issue d'un travail collectif dont l'une des productions fut un ensemble de travaux pratiques (TP SOC⁶) qui, de notre point de vue, comportent des caractéristiques essentielles pour la conception (Séjourné, 2001 ; Vince, 2000).

Dans cette partie, nous présentons les différentes contraintes de conception issues des trois « outils » théoriques pour organiser le savoir à l'écran et le milieu « informatique » : activité de modélisation, système sémiotique et certains aspects de la théorie des situations. Enfin, nous présentons notre *méthode de conception* synthétisée sous la forme d'une grille (section 3.4) permettant le passage des TP SOC (papier) à ceux qui sont présentés dans l'hypermédia.

3.1. Activité de modélisation et conception

L'hypothèse d'apprentissage en lien avec l'activité de modélisation constitue une première contrainte lors de la conception de l'hypermédia. Elle suppose que les concepts de physique prennent leur sens dans les mises en

relation réalisées par les élèves entre les différents niveaux de savoir et au sein d'un même niveau. Ceci conduit à une analyse des différentes séquences d'enseignement selon les niveaux de savoir. Ce qui nécessite de :

– C1. Vérifier la cohérence entre les niveaux de savoir présents dans la tâche et son objectif d'enseignement (décrire un événement, prédire, interpréter, réaliser une mesure, etc.) Cela permet d'éviter d'élaborer des tâches dont l'énoncé, par exemple, comporterait des éléments d'ordre théorique qui n'ont pas la nécessité d'être présents. Nous supposons que cela peut aider les élèves à mobiliser des connaissances relatives aux niveaux de savoir attendus ;

– C2. Désimbriquer et désigner les éléments d'ordre théorique (objet de l'enseignement) et ceux relatifs aux « objets événements » (Vince, 2000). Cela permet aux élèves d'apprendre à distinguer ces deux types d'information ;

– C3. Vérifier que les niveaux de savoir impliqués dans la question correspondent aussi à ceux que les élèves doivent mobiliser lors de la réalisation de la tâche (Bécu-Robinault, 1997). Par exemple, si l'on souhaite que les élèves mettent en œuvre le niveau des objets/événements, il est important que la question relève uniquement de ce niveau ;

– C4. Proposer des tâches qui encouragent les mises en relation entre les niveaux de savoir ;

– C5. Élaborer des ressources informationnelles qui peuvent favoriser les mises en relation entre les niveaux de savoir.

Nous illustrons ces diverses contraintes à partir de deux exemples. Le premier présente comment nous sommes passés des séquences d'enseignement des TP SOC (papier) aux séquences de TP dans l'hypermédia. Nous décrivons l'analyse d'une partie du contenu de la tâche « *Une condition nécessaire à l'émission d'un son* » en respectant les contraintes C1 et C3 et sa transformation en trois pages-écrans. Le second exemple fournit une analyse des cinq premières tâches de la première séquence de TP de l'hypermédia en tenant compte des contraintes C2, C3, C4.

3.1.1. Exemple 1 : analyse et transformation d'une consigne à partir des contraintes C1 et C3

Prenons la consigne suivante proposée dans la première séquence d'enseignement des TP SOC (format papier). L'objectif de cet enseignement est d'amener les élèves d'une part à prendre conscience du lien entre le phénomène sonore perçu, le son, et le phénomène physique associé : la vibration de la source de son, et d'autre part à donner sens à la vibration, terme « cache-misère » pour les élèves (Vince, 2000). Les élèves vont donc

réaliser une série d'expériences (expérience du diapason, du sifflet à papier à cigarettes, instrument à cordes, tambourin, etc.) puis décrire l'événement observé, enfin déterminer le phénomène commun à l'ensemble des sources de son. Dans notre exemple, nous nous limitons au cas de l'expérience du diapason (figure 3).

(...)

1.1. Une condition nécessaire à l'émission d'un son

Vous allez réaliser les expériences suivantes et essayer de trouver une condition nécessaire à l'émission d'un son.

Question pour chaque expérience :

Nommez la source du son et expliquez en quelques lignes et éventuellement avec un schéma le comportement de la source.

– **Diapason :** On frappe le diapason avec la baguette, on l'approche de la boule du pendule jusqu'au contact. Observer le comportement du pendule.

Remarque : On peut mettre le pendule au contact du diapason après avoir frappé celui-ci.

(...)

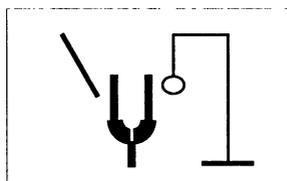
Figure 3 • Consigne de la tâche proposée par le groupe SOC

Du point de vue de la modélisation, l'analyse de la consigne de la tâche initiale en tenant compte des objectifs d'enseignement et en termes des niveaux de savoir permet de distinguer *trois tâches* à réaliser par les élèves : observations de l'expérience, désignation de la source de son et description par écrit de l'événement observé et perçu. Ces tâches relèvent uniquement du « champ expérimental ». La prise en compte de la contrainte de conception C1 couplée aux contraintes ergonomiques liées à l'espace et à la densité d'informations à l'écran et à la disposition des informations à l'écran conduit à :

– élaborer trois pages-écrans dont les informations relèvent uniquement du « champ expérimental » (texte, vidéo, image, etc.),

– créer une consigne pour chacune des tâches en vérifiant que les niveaux de savoir impliqués dans la consigne correspondent aussi à ceux que les élèves doivent mobiliser lors de la réalisation de la tâche (contrainte 3),

– donner un titre à chacune des tâches : Observation, Détermination de la source, Description.



Nous présentons ci-dessous les pages-écrans élaborées et proposées dans la première séquence d'enseignement de l'hypermédia (figures 4, 5 et 6).

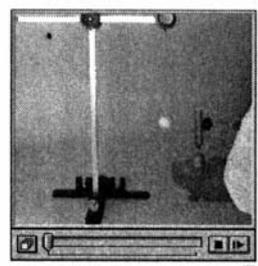
<p>TP1 Expérience du diapason</p> <p><i>Observation</i></p> <p>A partir de la vidéo ci contre, observer le comportement de la balle suspendue, au moment où elle est en contact avec le diapason préalablement frappé avec le marteau.</p> <p>N'oubliez pas de regarder l'animation en cliquant sur la tortue.</p> 	<p>Vidéo de l'expérience du diapason</p>  <p>Légende La tortue : ralenti animé de l'expérience sans perception sonore</p> <p>Matériel utilisé Diapason, pied, balle</p>
--	--

Figure 4 • Tâche 1 « Observation de l'expérience à partir d'une vidéo »

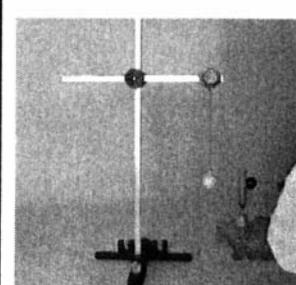
<p>TP1 Expérience du diapason</p> <p>Déterminer la source de son en cliquant sur l'image.</p> <p>La réponse est donnée dès que vous cliquez sur l'image alors concentrez vous avant de répondre !!</p> 	<p>Photo de l'expérience</p> 
--	--

Figure 5 • Tâche 2 « Désignation de la source en la sélectionnant sur l'image »

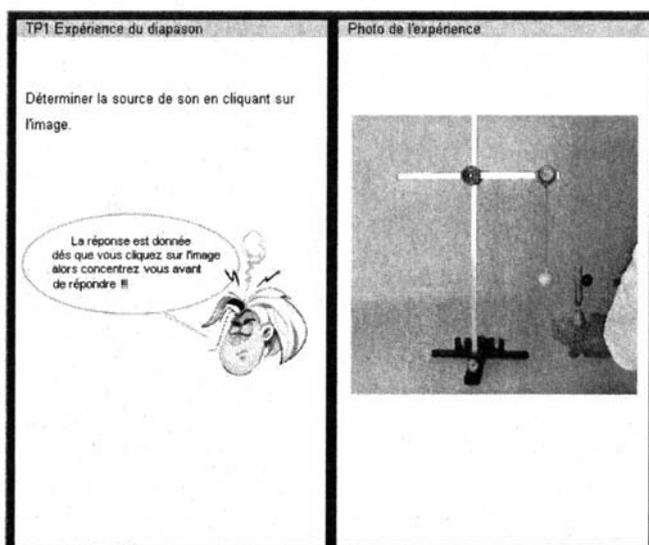


Figure 6 • Tâche 3 « Description de l'événement en rédigeant un texte »

3.1.2. Exemple 2 : organisation de cinq tâches selon les niveaux de savoir

Ce second exemple met en évidence principalement la prise en compte des deux contraintes C2 et C4. Dans le tableau 2, nous présentons l'analyse, selon les niveaux de savoir, des informations proposées dans les cinq premières tâches de la première séquence d'enseignement de l'hypermédia. Nous ajoutons aussi les niveaux de savoir que les élèves sont censés mobiliser pour réaliser la tâche afin de voir la cohérence avec la contrainte 3.

La comparaison entre les niveaux de savoir présents dans la consigne ou page-écran, les objectifs d'enseignement et les niveaux de savoir que les élèves sont censés mobiliser montrent la prise en compte des contraintes C1 et C3. De plus, nous pouvons observer la « désimbrication » des aspects théoriques (tâche « Définition de la fréquence et de l'amplitude »), objectif de l'enseignement, des aspects faisant intervenir les objets/événements. Nous répondons ainsi à la contrainte C2. Enfin, les tâches T3, T4, T5 demandent aux élèves de construire des relations entre les niveaux de savoir. Ce dernier point constitue une réponse à la contrainte C4.

Cependant, la lecture des objectifs d'enseignement montre que le savoir enseigné est introduit dans un ordre bien défini : concept de vibration, puis de fréquence et d'amplitude. De ce fait, la navigation entre les tâches est linéaire. En effet, nous considérons que l'introduction des concepts scienti-

fiques doit se faire d'une manière *séquentielle* avec des retours en arrière possibles par l'élève.

N° Tâche	Intitulé de la tâche	Objectif d'enseignement	Niveaux de savoir présents dans la consigne/page-écran	Niveaux de savoir que les élèves doivent mobiliser
T1	Activités expérimentales	Savoir que le son peut être produit par un solide dont une partie vibre à partir de l'étude de différentes sources	Champ expérimental	Champ expérimental (CE)
T2	Définition de la fréquence et de l'amplitude	Introduire les concepts de fréquence et d'amplitude	Théorie-modèle (TM) Objets et événements simulés (simulation) (OES)	Théorie-modèle (TM) Relation entre la théorie-modèle et les objets événements simulés (Re(TM-OES))
T3	Mesure de la fréquence	Réaliser une mesure de la fréquence à partir d'une simulation	TM OES (en relation avec la simulation)	TM Re(TM-OES)
T4	Mesure de l'amplitude	Réaliser une mesure de l'amplitude à partir d'une simulation	TM OES (en relation avec la simulation)	TM Re(TM-OES)
T5	Test "Fréquence et amplitude"	Comparer les grandeurs fréquence et amplitude à partir de deux simulations	TM OES (en relation avec la simulation)	TM Re(TM-OES)

Tableau 2 • Description des tâches de la première séquence d'enseignement selon les niveaux de savoir

Abréviation	Signification
TM	Théorie-modèle
OES	Objets événements simulés
Re(TM-OES)	Relation externe entre théorie-modèle et Objets événements simulés
CE	Champ expérimental

Cette séquentialisation a l'avantage de proposer une organisation progressive des savoirs relative aux difficultés des élèves, à leurs besoins, en les amenant à construire du sens dans un certain ordre à partir de mises en scène élaborées à cet effet, de tâches successives et répétitives. La navigation non-linéaire est réservée principalement à la recherche d'informations. Ainsi, la nature de la navigation est liée aux choix pédagogiques et didactiques en amont de la conception.

3.2. Systèmes sémiotiques et conception

Lors de la conception de l'hypermédia, nous utilisons six systèmes sémiotiques. Nous les présentons successivement à partir d'un exemple :

- la langue naturelle : un texte,
- l'image : une représentation de la réalité (photographie, illustration),
- la représentation symbolique : une formule mathématique, une équation,
- le dessin légendé : une représentation schématique ou graphique assortie d'un titre ou d'étiquettes,
- la représentation graphique : un graphe d'une fonction dans un repère, un oscillogramme,
- la représentation dynamique : une vidéo d'expérience, une animation, une simulation.

L'hypothèse d'apprentissage en lien avec les systèmes sémiotiques constitue une contrainte lors de la conception de l'hypermédia. Elle suppose que les relations construites par les élèves entre les diverses représentations favorisent la construction du sens d'un concept en jeu dans la tâche proposée. Cela conduit à :

- C6. Élaborer des tâches favorisant la coordination des représentations du savoir ;
- C7. Proposer diverses représentations pour un même concept ce qui peut aider à acquérir le sens dudit concept ;
- C8. Diversifier les situations expérimentales ou de la vie quotidienne ;
- C9. Diversifier les modes de production des réponses comme la langue naturelle, la représentation symbolique et la représentation graphique (exemple partie 4).

3.3. Situations d'apprentissage et conception

La conception de situations d'apprentissage va consister à élaborer un milieu « informatique » pouvant favoriser à la fois le processus de dévolution et le processus d'institutionnalisation. Lors de la conception d'un hypermédia, le milieu correspond à l'environnement informatique médiateur de l'activité des élèves. Ce milieu dit « informatique » doit alors :

- fournir aux élèves des « feed-back » pertinents sur leurs actions,
- fournir aux élèves les savoirs scientifiques : rôle d'institutionnalisation du milieu,

– rendre responsables les élèves de la tâche à réaliser, favoriser leur autonomie : aspect « dévolutif » du milieu.

Nous présentons dans le tableau 3 les éléments du milieu relatifs à la dévolution et à l’institutionnalisation.

Éléments du milieu « informatique » liés au processus de dévolution		Éléments du milieu « informatique » liés au processus d’institutionnalisation	
Ne dépendant pas des actions des élèves	Dépendant des actions des élèves	Ne dépendant pas des actions des élèves	Dépendant des actions des élèves
La consigne	Les feed-back peuvent entretenir la réalisation des tâches : Les messages suite à une demande de validation de la réponse entretiennent la réalisation de la tâche	Les tâches synthèses résumant les concepts impliqués dans la séquence d’enseignement	Les réponses du professeur désignent la connaissance que les élèves devront apprendre
La situation expérimentale proposée (chanteuse)	Le système d’évaluation qui permet d’évaluer seul les réponses en terme d’échec et de réussite	Les tâches présentant les objectifs de la séquence d’enseignement	Le système d’évaluation donne un statut officiel aux réponses des élèves
	La possibilité de donner des réponses multiples		Les ressources informationnelles
	Les interactions possibles avec les simulations permettant de vérifier certaines prédictions.		
	Les ressources informationnelles		

Tableau 3 • Élaboration des éléments du milieu « informatique » en relation avec le processus de dévolution et d’institutionnalisation

3.4. En conclusion

Nous regroupons dans la grille suivante (tableau 4) les principales contraintes de conception issues des différentes hypothèses d’apprentissage présentées précédemment.

À partir de cette grille, il est possible de diversifier les caractéristiques des situations d’enseignement/d’apprentissage et d’adapter des séquences d’enseignement traditionnelles. Nous ajoutons que c’est à partir de cette grille que nous avons conçu les diverses tâches proposées dans l’hypermédia, ainsi que les ressources informationnelles associées. Ces tâches (77 au total) sont réparties dans cinq séquences d’enseignement :

- introduction à la chaîne sonore,
- TP1 : les sources de son et leurs effets sur la perception sonore,
- TP2 : le milieu de propagation,

- TP3 : la propagation du son dans l'air,
- TP4 : deux des grandeurs caractéristiques du son (hauteur et volume).

Les hypothèses d'apprentissage conduisent à			
Analyser le savoir enseigné en relation avec l'activité de modélisation	Analyser le savoir enseigné selon des systèmes sémiotiques	Élaborer des éléments du milieu liés au processus de dévolution	Élaborer des éléments du milieu liés au processus d'institutionnalisation
– élaborer des tâches encourageant l'articulation entre les niveaux de savoir ;	– élaborer des tâches favorisant la coordination des représentations du savoir ;	– le système d'évaluation qui permet d'évaluer seul les réponses en terme d'échec et de réussite ;	– les réponses du professeur désignent la connaissance que les élèves devront apprendre ;
– « désimbriquer » les aspects théoriques enjeux de l'enseignement ;	– proposer diverses représentations pour un même concept (en plus de la langue naturelle) ;	– la possibilité de donner des réponses multiples entretenant la réalisation de la tâche ;	– le système d'évaluation donne un statut officiel aux réponses des élèves ;
– vérifier la cohérence entre les niveaux de savoir présents dans la tâche aux objectifs d'enseignement ;	– diversifier les modes de production des réponses (langue naturelle, écriture symbolique...);	– les interactions possibles avec les simulations permettant de vérifier certaines prédictions ;	– les tâches synthèses résumant les concepts impliqués dans la séquence d'enseignement ;
– vérifier que les niveaux de savoir impliqués dans la question correspondent aussi à ceux que les élèves doivent mobiliser ;	– diversifier les situations expérimentales et de la vie quotidienne.	– les feed-back qui peuvent entretenir la réalisation des tâches : les messages suite à demande de validation de la réponse ;	– les tâches présentant les objectifs de la séquence d'enseignement ;
– élaborer des ressources informationnelles en relation avec les difficultés conceptuelles des élèves.		– la consigne, les situations expérimentales ;	– les ressources informationnelles.
		– les ressources informationnelles.	

Tableau 4 • Grille de conception des situations proposées dans un hypermédia en physiques

Nous présentons dans la partie suivante un exemple d'analyse de l'activité des élèves en montrant l'importance de varier les caractéristiques des situations mettant en jeu un même objet de savoir afin de favoriser la construction de sens dudit savoir.

4. ANALYSE DE L'ACTIVITÉ DES ÉLÈVES

Nous souhaitons montrer la nécessité de varier les caractéristiques des situations d'enseignement mettant en jeu un même objet de savoir afin de favoriser l'apprentissage conceptuel. Pour cela, nous présentons tout d'abord les tâches réalisées par les élèves, puis la méthodologie d'analyse mise en œuvre, enfin, l'analyse de l'activité des élèves.

4.1. Présentation des tâches et analyse *a priori*

Les deux tâches étudiées se situent dans la cinquième séquence d'enseignement (TP4) proposée dans la salle de travaux pratiques du logiciel. Cette séquence porte sur l'étude de deux des propriétés du son, la hauteur et le volume, en relation avec les grandeurs caractéristiques de l'onde sonore : la fréquence et l'amplitude. Les tâches choisies sont les tâches T21 « Expérience 2 » et T22 « Expérience 3 » du TP4 dont l'objectif est de décrire l'évolution des grandeurs caractéristiques de l'onde sonore en termes de fréquence et d'amplitude au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source de son. Elles sont censées conduire les élèves à mettre en relation les niveaux de la « théorie-modèle » avec le « champ expérimental » (tâche 21) ou les « objets-événements simulés » (tâche 22). Comme nous le verrons, ces deux situations diffèrent par les situations expérimentales proposées, les modalités de réponses en termes de systèmes sémiotiques à utiliser et par les ressources informationnelles proposées.

La tâche 21 (figure 8) demande d'interpréter cette évolution, à partir d'une situation de la vie quotidienne (dans un village), en utilisant la langue naturelle. Les élèves doivent déterminer les grandeurs caractéristiques du son, émis initialement par une cloche, selon la position de deux récepteurs (les deux individus Cardé et Polo) en sélectionnant l'une des solutions proposées telles que : « *l'amplitude de l'onde sonore sera plus petite chez Cardé qu'au niveau de la source de son* ». Dans cette tâche, nous souhaitons que les élèves interprètent la situation en se référant aux éléments du modèle : amplitude et fréquence. Ces éléments ont été introduits dès la première séquence d'enseignement et rappelés dans cette dernière. En fait, nous désirons que les élèves mettent en relation le niveau de la « théorie-modèle » et celui des « objets/événements ». Cela correspond à une interprétation du phénomène sonore à partir de grandeurs caractéristiques de la vibration. Il faut signaler que lors de la tâche 20 (figure 7) les élèves explicitent cette évolution à partir de la même situation de la vie quotidienne, en fonction de la hauteur et de l'intensité sonores comme par exemple « *le son de la cloche entendu chez Cardé sera plus faible que celui qui est émis* ». Dans ce cas, les élèves mobilisent des connaissances liées aux « objets/événements ».

Lors de la tâche 22 (figure 9), il s'agit d'interpréter l'évolution des grandeurs caractéristiques de l'onde sonore, à partir d'une situation expérimentale, en utilisant la représentation graphique (correspondant à un oscillogramme). Il est demandé aux élèves de déterminer la forme de la tension électrique en fonction du temps (l'oscillogramme) aux bornes de deux microphones plus ou moins distants d'un émetteur (le haut-parleur). Nous nous attendons à ce que les élèves mettent en relation les niveaux de savoir de la

« théorie-modèle » avec celui des « objets-événements simulés » (oscillogramme de l'oscilloscope). Nous soulignons que lors des tâches précédemment réalisées dans cette séquence, les élèves se sont familiarisés avec la représentation graphique.

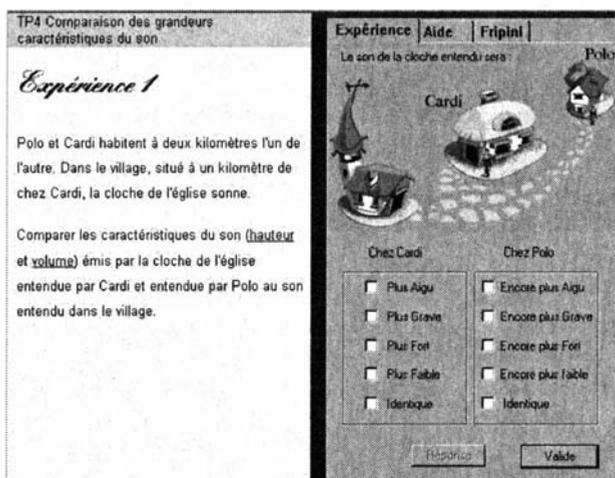


Figure 7 • Tâche 20 « Expérience 1 » du TP4 proposée dans l'hypermédia Labdoc Son et Vibrations

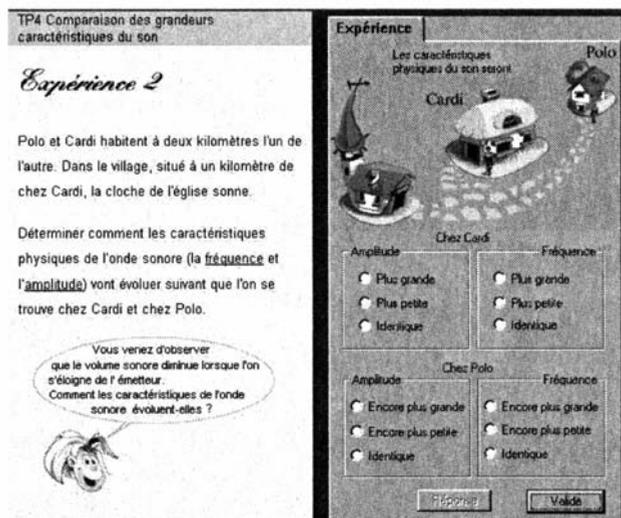


Figure 8 • Tâche 21 « Expérience 2 » du TP4 proposée dans l'hypermédia Labdoc Son et Vibrations

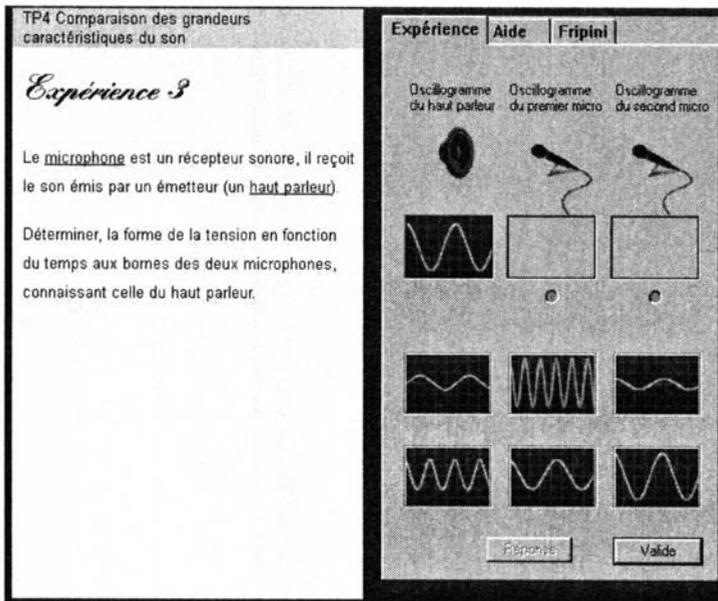


Figure 9 • Tâche 22 « Expérience 3 » du TP4 proposée dans l’hypermédia Labdoc Son et Vibrations

L’objectif commun des tâches 21 et 22 consiste à décrire l’évolution des grandeurs caractéristiques de l’onde sonore en termes de fréquence et d’amplitude au fur et à mesure que l’on s’éloigne de la source de son. L’analyse *a priori* a conduit à considérer que les élèves lors de la réalisation de ces deux tâches, mettent en relation les niveaux de savoir de la « théorie-modèle » (caractéristiques physiques de l’onde sonore) avec celui du « champ expérimental » (perception sonore liée à la position du récepteur).

Les principales différences entre ces deux tâches se situent au niveau des situations expérimentales proposées, des systèmes sémiotiques à utiliser pour répondre et des ressources informationnelles. Pour la tâche 21, la situation expérimentale relève de la vie quotidienne, les élèves répondent en sélectionnant l’une des solutions en langue naturelle et les ressources informationnelles sont principalement un mini-dictionnaire et une information placée dans la demi page-écran de gauche rappelant le résultat de la tâche précédente : « Vous venez d’observer que le volume sonore diminue lorsqu’on s’éloigne de l’émetteur. Comment les caractéristiques de l’onde sonore évoluent-elles ? » Pour la tâche 22, la situation expérimentale se réfère à une expérience de physique, les élèves répondent en sélectionnant deux oscillogrammes (la représentation graphique) et les ressources informationnelles sont le mini-dictionnaire, deux « pop up »⁷ sur les termes

« microphone » et « haut-parleur » et enfin un onglet « Aide » (une fenêtre « Windows ») présentant différentes représentations pour les termes « microphone » (définition, dessin, animation), récepteur (définition), oscilloscope (définition, dessin), voir figure 10.

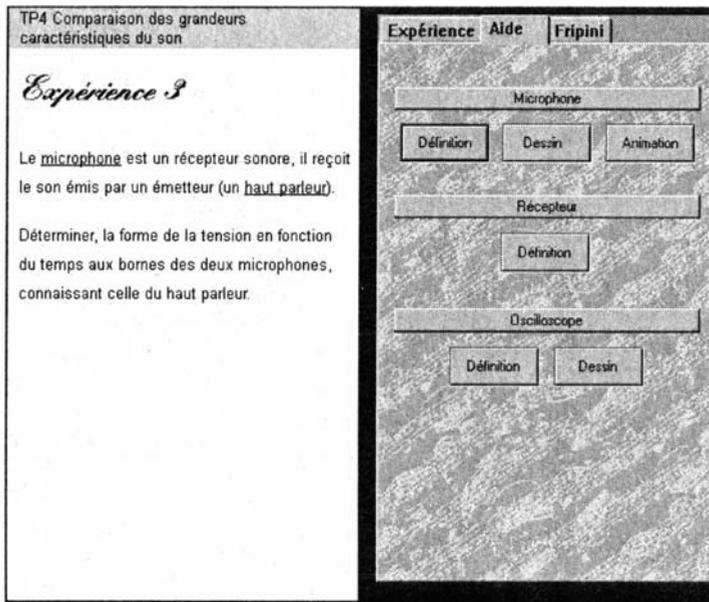


Figure 10 • Onglet « Aide » de la tâche 22 du TP4 proposée dans l'hypermédia Labdoc Son et Vibrations

4.2. L'expérimentation

4.2.1. Condition de l'expérience

L'expérimentation s'est déroulée dans trois classes de Seconde de lycées différents situés dans l'agglomération lyonnaise. Les élèves (au total 40) ont été recrutés selon leur motivation pour réaliser trois séances d'enseignement avec l'hypermédia Labdoc Son et Vibrations. Ces séances ont duré environ 1 heure et demie et se sont déroulées durant la partie de l'année consacrée à l'enseignement sur le son. Les élèves étaient groupés par deux (20 dyades au total) car nous souhaitions recueillir leurs verbalisations pour les analyser, de plus les interactions verbales entre les élèves sont un support à la (co)-construction des connaissances (Baker, 1996). Ils étaient ainsi isolés des autres élèves et de leur professeur évitant tout échange verbal avec ces derniers. Pendant ce temps, les autres élèves réalisaient la

même séquence d'enseignement avec leur professeur sous forme de TP traditionnels sans l'hypermédia.

4.2.2. Les données recueillies

Lors des trois séances d'enseignement, nous avons filmé les élèves et enregistré leur dialogue. Le chercheur est toujours présent en tant qu'observateur. Les enregistrements audio sont entièrement retranscrits pour quatre dyades réalisant les trois séances. Les bandes vidéo permettent de compléter la transcription et de mettre en relation les actions des élèves avec leur discours. Notre analyse est basée principalement sur deux types de données : la transcription et la trace informatique. Notre développement informatique permet une transcription automatique au cours du temps des diverses actions d'un utilisateur au niveau de l'interface. Les actions enregistrées peuvent être la navigation, les réponses fournies, la nature des messages de validation. Nous appelons cet enregistrement automatisé, la *trace informatique*.

4.3. Méthodologie d'analyse

La méthodologie mise en œuvre consiste à comparer l'activité effective des élèves réalisant les différentes séquences proposées dans l'hypermédia à celle prévue lors de la conception et dans l'analyse *a priori*. Cette analyse permet de distinguer des « écarts » éventuels (Crozier, 1977) et de répondre à l'une de nos questions de recherche : *En quoi le fait de varier les caractéristiques des situations d'enseignement qui mettent en jeu un même objet de savoir peut-il favoriser l'apprentissage conceptuel ?* L'analyse des données issues, à la fois, de la trace informatique (transcription automatique des actions des élèves à l'écran) et des transcriptions des verbalisations des élèves issues d'enregistrements audio et vidéo conduit à l'articulation de deux niveaux d'analyse que nous nommons *global* et *local*.

4.3.1. Méthode de l'analyse globale

Cette méthodologie consiste en une analyse quantitative des données issues de la trace informatique résultant de l'activité des 20 dyades. Cette trace est ensuite transformée en base de données exploitable avec le logiciel Access. Notre objectif est de constituer des données supports de l'analyse globale. Pour cela, nous découpons la trace informatique (initialement un fichier texte) en trois catégories :

– catégorie temporelle : elle précise au cours du temps la chronologie des actions et la durée entre deux actions,

– catégorie spatiale : elle indique la tâche en cours, le lieu où elle est effectuée (salle de cours, salle de travaux pratiques, etc.) la tâche réalisée, et l'onglet utilisé,

– catégorie « diverses actions » : elle rassemble la plupart des actions effectuées lors de la réalisation d'une tâche c'est-à-dire les réponses tapées au clavier, cochées avec la souris, la sélection du bouton « demande de validation de la réponse », l'état de la réponse, etc.

Enfin, nous constituons une base de données exploitable avec le logiciel Access donnant la possibilité de comparer l'activité des 20 dyades lors de la réalisation des trois séances d'enseignement. Ainsi, en lien avec nos questions de recherche, nous élaborons quatre données : (1) *la durée de réalisation des tâches*, (2) *le nombre de réponses inexactes*, (3) *le nombre d'informations sélectionnées dans l'onglet Aide et la nature des informations sélectionnées* et (4) *les ressources informationnelles sélectionnées*. Ces données fournissent des éléments pour identifier par exemple les tâches qui posent des difficultés aux élèves, pour comprendre comment ils essayent de dépasser leurs difficultés conceptuelles, pour avoir un éclairage sur le temps d'apprentissage de certains concepts sur la globalité des trois séances d'enseignement, pour connaître les ressources informationnelles dont ils peuvent avoir besoin lors de la réalisation d'une tâche donnée.

4.3.2. Méthodologie de l'analyse locale

La méthodologie d'analyse mise en œuvre est construite à partir du cadre théorique présentée dans la première partie de l'article (partie 1). L'objectif est de décrire l'évolution de la construction du savoir par les élèves à partir de leurs verbalisations⁸. Cela consiste à identifier les connaissances mobilisées par les élèves et la manière dont ils les font fonctionner selon les caractéristiques des tâches, à expliciter de quelle manière les représentations sémiotiques présentes dans une page-écran et/ou dans les ressources informationnelles (aide, mini-dictionnaire, bibliothèque) peuvent soutenir l'activité de modélisation des élèves, à décrire comment le « milieu » informatique élaboré favorise la réalisation de la tâche en amenant les élèves à mobiliser les connaissances attendues. La réussite de la réalisation de la tâche est liée à la mobilisation de ces connaissances. Compte tenu de ces objectifs, notre méthodologie d'analyse se décompose en trois principales phases que nous présentons brièvement ci-dessous.

Σ Analyse des verbalisations des élèves selon les niveaux de savoir

Les connaissances verbalisées des élèves sont codées à partir de trois principales catégories (figure 11) qui rendent possible la comparaison des démarches de modélisation impliquées dans le savoir enseigné à celles

que l'élève met en œuvre. Le tableau 5 présente des exemples de codage des verbalisations pour un tour de parole donné (TdP) des élèves (A et B) selon les niveaux de savoir.

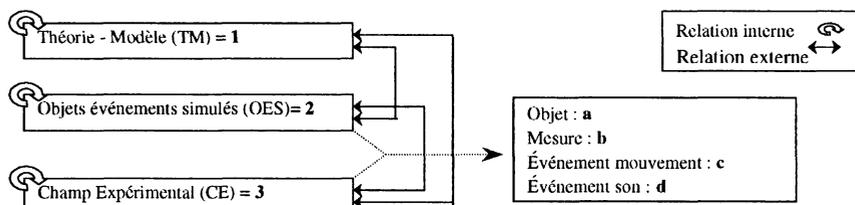


Figure 11 • Présentation schématique du codage à partir des niveaux de savoir

Niveaux de savoir	codage	Explicitation du codage	Exemple du corpus
Théorie-Modèle (TM)	1	Verbalisation se référant à la théorie-modèle : la fréquence	N°TdP 13 A « La fréquence euh l'amplitude là elle est grande là elle devient de plus en plus basse (...) »
Objets-événements simulés (OES)	2	Verbalisation se référant aux objets-événements simulés : compter le nombre d'aller-retour effectué par la membrane du haut-parleur simulé	N° TdP 69 A « En fait plus tu montes et plus ça vibre » (ils augmentent la fréquence et observe le mouvement de la membrane du haut-parleur simulé)
Re(TM-OES)	Re(1-2)	Verbalisation mettant en relation la théorie-modèle et les objets événements simulés : mise en relation entre la fréquence et le nombre d'aller retour	N° TdP 70 B « Ah ouais et à force ici ça vibre vite avec la fréquence de vibration »
Re(TM-CE)	Re(1-3c)	Verbalisation mettant en relation la théorie-modèle et le champ expérimental	N° TdP 4 B « L'amplitude de déplacement oui / c'est la différence entre le machin là et le maximal » (reformulation à partir de la schéma légendé)
Re(OES-CE)	Re(2a-3d)	Verbalisation mettant en relation les objets événements simulés et le champ expérimental	N° TdP 19 B « Eux ils disent que la particule elle a un son »
Champ expérimental (CE)	3c	Verbalisation se référant au champ expérimental	N° TdP 82 A « Tu as déjà mis / tu as déjà mis ta main sur un diapason quand il quand il sonne »

Légende du tableau 5

Abréviation	Signification
TM	Théorie-modèle
OES	Objets événements simulés
Re(TM-OES)	Relation externe entre théorie-modèle et Objets événements simulés
Re(TM-CE)	Relation externe entre théorie-modèle et champ expérimental
Re(OES-CE)	Relation externe entre les objets événements simulés et champ expérimental
CE	Champ expérimental

Tableau 5 • Exemples de codage des verbalisations des deux élèves A et B (TdP : tour de parole)

Σ Analyse des verbalisations des élèves selon les systèmes sémiotiques

À partir de notre cadre théorique, nous avons distingué six systèmes sémiotiques. Chacun de ces systèmes peut être utilisé pour exprimer des éléments de chacun des niveaux de modélisation. Les différents systèmes sémiotiques sont mis en œuvre *via* la langue naturelle.

NTdP	Locuteur	Intervention	Signification	Système sémiotique	Niveaux de savoir
27	A	Alors l'amplitude est plus petite	Lecture et sélection de l'une des réponses proposées dans le QCM	Langue naturelle (LN)	Théorie-modèle
50	A	Animation + et le deuxième micro il est plus loin en fait j'crois que j'ai compris y a un micro qui est près et un deuxième micro qui il est plus loin donc	Observation de l'animation et interprétation de la situation expérimentale proposée à partir d'une image	Représentation dynamique (RD) et image (I)	Champ expérimental

Tableau 6 • Exemples de codages des verbalisations des élèves lors de la tâche 21 et 22 (TdP : tour de parole)

Σ Analyse des verbalisations des élèves selon les éléments du milieu « informatique »

L'objectif de cette méthodologie est de décrire l'évolution des connaissances des élèves au cours de leurs interactions avec le milieu « informatique » (figure 12). Pour cela nous avons catégorisé certaines actions des élèves qui permettent de cerner leur activité lors de la réalisation d'une tâche donnée. Cela revient à identifier leur cheminement. Nous précisons que ce codage n'est pas très fin mais tient compte de la plupart des éléments de la page-écran. Ainsi, la méthode d'analyse peut, selon le cas, consister à identifier selon les tours de parole les données suivantes : l'état de la réponse des élèves (bonne réponse ou réponse erronée), la lecture de textes (consignes), la navigation des élèves (de page-écran à page-écran), l'utilisation de ressources (onglet Aide par exemple).

4.4. Analyse de l'activité des élèves

4.4.1. Analyse globale

Cette première analyse permet d'étudier comment les 20 dyades évoluent lors des tâches 20, 21, 22 du TP4 selon les trois données : « durées de réalisation de la tâche », « nombre d'informations sélectionnées dans l'aide » et « nombre de réponses erronées »⁹.

N° dyade	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Durée Moyenne
Tâche 20																				
Nbre de réponses erronées	2	9	17	15			2	1					3	1		5	1		1	
Nbre d'appels à l'aide			6	3			3													
Durée de réalisation	1:50	2:29	11:43	7:57	1:47	1:09	4:27	1:57	1:55	6:17	2:35	1:17	2:47	2:09	2:05	3:28	2:45	2:02	1:15	3:15
Tâche 21																				
Nbre de réponses erronées											2									
Durée de réalisation	0:48	1:22	0:58	1:22	1:17	0:56	0:54	1:08	0:37	2:57	2:47	0:46	1:28	1:23	0:46	1:02	1:26	0:59	0:49	1:15
Tâche 22																				
Nbre de réponses erronées	2	1	1	1	2	1			1	1			2	5		1	1	1	1	
Nbre d'appels à l'aide	1						5			3									1	
Durée de réalisation	5:04	3:06	1:57	2:35	1:49	1:14	3:48	1:15	3:34	2:29	3:29	1:04	2:51	7:22	2:16	4:34	2:37	1:25	2:14	2:53

Tableau 7 • Comparaison de l'activité des élèves (19 dyades) lors des tâches T20, T21 et T22 du TP4

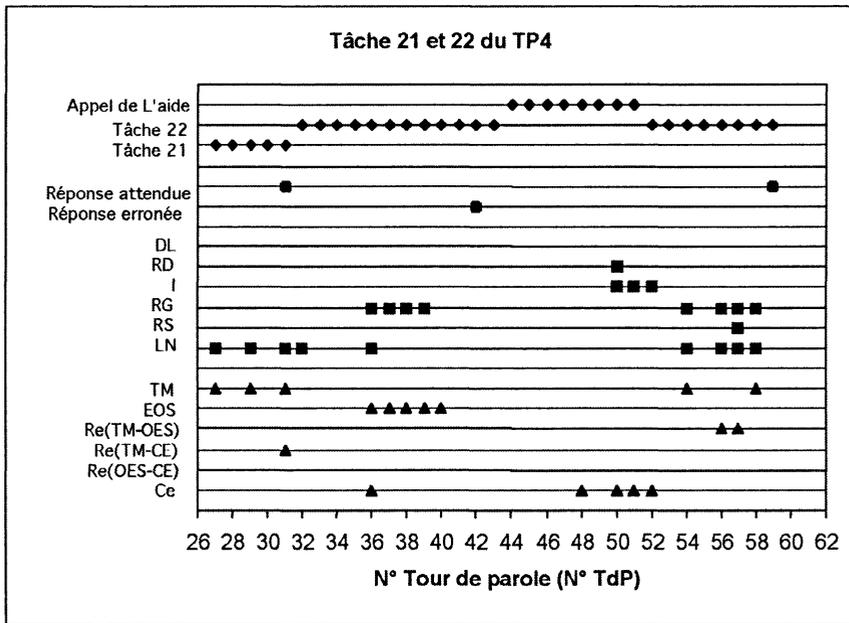
Légende : « 3 : 05 » signifie 3 minutes et cinq secondes.

À partir de ce tableau (dernière colonne du tableau 7), nous constatons d'abord que la durée moyenne mise pour réaliser la tâche 22 est supérieure à celle de la tâche 21 et est similaire à la tâche 20. Ensuite, le nombre d'élèves produisant au moins une réponse inexacte augmente de nouveau entre les tâches 21 et 22.

Ainsi, nous rappelons que la résolution successive de ces deux tâches (21 et 22) qui demandent de réinvestir un « même savoir » à partir de deux représentations différentes et dans le cadre de deux dispositifs expérimentaux, favorise l'émergence des difficultés conceptuelles des élèves. Ces dernières pourraient se situer au niveau soit du savoir en jeu soit des systèmes sémiotiques à utiliser pour donner la réponse (représentation graphique et langue naturelle) et du changement de la situation expérimentale proposée.

4.4.2. Analyse qualitative

Nous allons étudier le fonctionnement d'une dyade lors des tâches 21 et 22 du point de vue des connaissances mises en œuvre, de l'activité sémiotique et des ressources utilisées. Dans la figure 12, les élèves réalisent les tâches 21 et 22 de la façon suivante : des tours de parole 27 à 31 ils réalisent la tâche 21, des tours de parole 32 à 59 la tâche 22 au cours de laquelle ils vont dans l'onglet Aide des tours de parole 45 à 51.



Légende de la figure 12

Abréviation	Signification	Abréviation	Signification
TM	Théorie-modèle	LN	Langue naturelle
OES	Objets événements simulés	RS	Représentation symbolique
Re(TM-OES)	Relation externe entre théorie-modèle et Objets événements simulés	RG	Représentation graphique
Re(TM-CE)	Relation externe entre théorie-modèle et champ expérimental	I	Image
Re(OES-CE)	Relation externe entre les objets événements simulés et le champ expérimental	RD	Représentation dynamique
CE	Champ expérimental	DL	Dessin légendé

Figure 12 • Activité des élèves décrites à partir des niveaux de savoir, des systèmes sémiotiques, de la navigation (tâche 22, 21 et aide) et des réponses fournies au cours des tâches 21 et 22 du TP4

Ainsi, cette figure permet de visualiser le résultat de l'analyse des verbalisations des élèves selon les niveaux de savoir (de CE à TM), les systèmes sémiotiques (de LN à DL), la nature des réponses des élèves (réponse attendue et réponse erronée), la navigation des élèves (tâches 21 et 22) et l'utilisation de l'onglet Aide en fonction des tours de parole.

Au cours de la tâche 21 (figure 8), nous constatons que les élèves utilisent uniquement la langue naturelle pour élaborer leur réponse et ne se réfèrent pas à l'illustration dont ils ont déjà eu connaissance lors de la tâche 20. La modélisation de la situation en termes de fréquence et d'amplitude semble ne leur poser aucune difficulté.

N° TdP 27 A : « Alors l'amplitude est plus petite ».
28 B : « Hm hm ».

Lors de la tâche 22 (figure 9), l'activité des élèves se découpe en trois étapes liées à la navigation dans l'onglet Aide pour rechercher des informations.

Avant la navigation dans l'onglet Aide (TdP 32-44), la dyade mobilise principalement le niveau des « objets-événements simulés » et le système sémiotique la représentation graphique. En effet, les élèves sont en train de se familiariser avec cette nouvelle situation expérimentale, manipulent les oscillogrammes, semblent rechercher une relation entre les oscillogrammes et la situation expérimentale proposée.

N° TdP 33 A : « Oui j'ai pas compris faut faire quoi (?) ».
34 B : « Je sais pas / ben (... ?) enfin je sais pas t'as fais quoi (?) / non non attends ».
35 A : « (... ?) ».
36 B : « Attends le microphone +++ mais non mais faut mettre le truc il faut le coincer là non (?) » (truc = oscillogramme).
37 A : « Ben oui mais tu peux ».
38 B : « Ça se déplace » (ça = oscillogramme).
39 A : « Tu peux mettre tu peux mettre n'importe lequel » (lequel = oscillogramme).

Ainsi, ils ne réinvestissent pas les connaissances issues de la tâche précédente et donnent une première réponse inexacte (n° TdP 43).

Durant la phase de recherche d'information dans l'onglet Aide (figure 10), les élèves sélectionnent en particulier l'animation du microphone (qui montre l'évolution au cours du temps de la tension électrique aux bornes du microphone). Cette représentation conduit les élèves à mettre en relation la représentation de la situation expérimentale proposée dans la tâche avec

l'animation (TdP 50). Ils reconstruisent ainsi la situation expérimentale proposée (TdP 52) :

N° TdP 50 A : « Animation + et le deuxième micro il est plus loin en fait j' crois que j'ai compris y a un micro qui est près et un deuxième micro qui il est plus loin donc ».

51 B : « Mais on avait déjà le premier micro ».

52 A : « Oui donc d'accord alors / donc en fait c'est / entre les deux faut que se soit entre ça et ça » (ça = microphone).

En d'autres termes, dès que les élèves parviennent à se représenter le dispositif expérimental, ce que nous identifions au travers de la mise en œuvre du « champ expérimental » (n° TdP 50-52) lors de la sélection des informations dans l'onglet Aide, ils identifient le problème (n° TdP 50 A « *je crois que j'ai compris... »*).

Lorsqu'ils retournent dans la tâche, ils élaborent une solution en réinvestissant le modèle construit lors de la tâche 21 (n° TdP 54).

N° Tdp 54 A : « Faut que se soit la même fréquence / attends enlève tes doigts je vois rien ».

5. CONCLUSION

Suite à cette étude sur les quatre dyades, cette succession de tâches, où la représentation du savoir à mettre en œuvre varie ainsi que les situations expérimentales, est favorable à la construction du savoir car elle permet aux élèves :

- de se représenter un nouveau dispositif expérimental et de le mettre en relation avec celui des tâches précédentes,
- d'utiliser deux systèmes sémiotiques relatifs à un « même savoir » pour modéliser deux dispositifs expérimentaux,
- de revenir sur le modèle en jeu et de prendre conscience parfois de la difficulté de le réinvestir dans la nouvelle situation. Cela semble montrer la difficulté d'acquérir un savoir donné dans une durée assez courte.

Ainsi, dans cet article, nous venons de présenter un cadre théorique permettant l'organisation de situations d'enseignement en sciences physiques. Ce cadre théorique et en particulier les hypothèses d'apprentissage associées relatives au savoir et aux situations d'apprentissage ont conduit à la mise en place d'une méthode de conception et d'une grille

d'analyse de l'activité des élèves. Toutefois, même si nous avons seulement effleuré le sujet, l'organisation des situations sur un support informatique nécessite de prendre en compte les recommandations relatives à l'espace, à la densité informative à l'écran, au multifenêtrage, etc. Ces recommandations ont conduit par exemple à segmenter le texte initial, à élaborer de nouvelles consignes, de nouveaux titres associés à chaque activité. Nous avons pu aussi apprécier que ces contraintes sont imbriquées avec les contraintes issues des hypothèses d'apprentissage.

Enfin, suite à l'analyse de vingt dyades au cours de trois séances d'enseignement (Séjourné, 2001), nous souhaitons souligner qu'il est nécessaire pour concevoir un hypermédia éducatif de faire au préalable une analyse du savoir en jeu des points de vue de l'activité de modélisation et des systèmes sémiotiques : les systèmes sémiotiques et les représentations associées vont « médier » l'activité des élèves. Cette analyse est indispensable pour prendre en compte le fonctionnement cognitif de l'élève et l'aider ainsi à construire du sens.

NOTES

1. <http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/docs/soc/son/son.html>

2. Le terme niveau n'introduit pas de hiérarchie dans le savoir : ce qui relève de la théorie ou du modèle n'est ni supérieur ni inférieur à ce qui relève du « champ expérimental » (Buty, 2000).

3. La production et l'utilisation d'une représentation sémiotique nécessitent l'acquisition des « règles de conformité » inhérentes à chacun des systèmes (Duval, 1995).

4. De notre point de vue, le feed-back est une rétroaction du système informatique en réponse à une action des apprenants qui peut influencer leurs actions telles que des réponses visuelles (texte, image, animation) et sonores.

5. Société de vente par correspondance de matériels expérimental en physique, chimie, biologie (www.jeuilin.fr).

6. Sept séquences de TP ont été produites par le groupe SOC, associant chercheurs et IPR, et enseignants du secondaire. Voir site de l'académie de Lyon :
<http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/docs/soc/son/son.html>

7. Pop up ou escamot : information intégrée dans une fenêtre qui n'apparaît que sous l'action de l'utilisateur.

8. Notre analyse des productions verbales des élèves ne distingue pas les productions verbales spontanées des élèves comme celles faites dans la vie quotidienne, des productions verbales plus élaborées utilisant un vocabulaire scientifique. Pour nous, les productions verbales des élèves permettent principalement d'identifier les connaissances que les élèves mobilisent durant la réalisation des différentes tâches proposées par le logiciel.

9. Dans cet exemple, la donnée « ressources informationnelles » n'apparaît pas car les élèves ne s'y réfèrent pas.

BIBLIOGRAPHIE

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, Lisbonne.

AINSWORTH S.E. (1999). The fonction of multiple representations. *Computers & education*, n° 33, pp. 131-152.

ARTIGUE M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherche en didactique des mathématiques*, vol. 9, n° 3, pp. 51-67.

BACHELARD S. (1979). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles. In P. Delattre & M. Thellier (Éds.), *Actes du colloque « Élaboration et justification des modèles »*, vol. 1. Paris, Maloine, pp. 3-19.

BAKER M. (1996). Argumentation et co-construction des connaissances. *Interaction et cognitions*, vol. 2-3, n° 1, pp. 157-191.

BEAUFILS D., DUREY A. & JOURNAUX R. (1987). L'ordinateur en sciences physiques, quelles simulations ? In A. Giordan & J.-L. Martinand (Éds), *IX^{es} journées sur l'éducation scientifique*. Paris, université Paris VII, pp. 321-327.

BRUILLARD E. & DE LA PASSADIÈRE B. (1998). Fonctionnalités hypertextuelles dans les environnements d'apprentissage. In A. Tricot & J.-F. Rouet (Éds), *Hypertexte et hypermédia*. Paris, Éditions Hermès, pp. 95-122.

BÉCU-ROBINAULT K. (1997). *Rôle de l'expérience en classe de physique dans l'acquisition des connaissances sur les phénomènes énergétiques*. Thèse de doctorat, université Claude Bernard Lyon 1.

BROUSSEAU G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Textes rassemblés et préparés par N. Balacheff, M. Cooper, R. Sutherland & V. Warfield. Grenoble, La Pensée sauvage.

BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1992). *Nouveaux programmes des Classes de seconde, première et terminale des Lycées, Tome 1 : Programmes de la classe de seconde générale et technologique. Hors-série du 24 septembre 1992*. Paris, ministère de l'Éducation nationale.

BUTY C. (2000). *Étude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique*. Thèse, université Lumière Lyon 2.

CARO S. & BÉTRANCOURT M. (1998). Ergonomie des documents techniques informatisés : expériences et recommandations sur l'utilisation des organisateurs para-linguistiques. In A. Tricot & J.-F. Rouet (Éds), *Hypertexte et hypermédia*. Paris, Éditions Hermès, pp. 123-138.

CONKLIN J. (1987). Hypertext : an introduction and survey. *Computer*, vol. 9, n° 20, pp. 17-41.

- CROZIER M. & FRIEDBERG E. (1977). *L'acteur et le système*. Paris, Seuil.
- DUVAL R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine, registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*. Berne, Peter Lang.
- DUVAL R. (1996). Quel cognitif retenir en didactique des mathématiques. *Recherche en didactique des mathématiques*, vol. 16, n° 3, pp. 349-382.
- FOSS C.L. (1988). *Effective browsing in hypertext system*. Proceedings of RAIO 88. Cambridge, MA-MITT.
- GUÉRAUD V., PEYRIN J.-P., DAVID J.-P. & PERNIN J.-P. (1993). Environnements logiciels pour une intégration quotidienne de l'EAO dans l'enseignement. In B. de La Passadière & G.-L. Baron (Éds), *Hypermédiats et apprentissages 2*. Paris, INRP-EPI, pp. 85-96.
- MARGOLINAS C. (1993). *De l'importance du vrai et du faux*. Grenoble, La Pensée sauvage.
- NIEDDERER H. & SCHECKER H.P. (1992). Towards an explicit description of cognitive systems for research in learning physics. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Éds), *Research for Physics Learning, Theoretical Issues and Empirical Studies*. Kiel, Institute for Physics Education, université de Kiel, pp. 74-98.
- PAQUELIN D. (1996). Les cartes concepts : outils pour les concepteurs et les utilisateurs d'hypermédia éducatif. In E. Bruillard, J.-M. Baldner & G.L. Baron (Éds), *Hypermédiats et Apprentissages 3*. Paris, INRP-EPI, pp. 85-96.
- ROUET J.-F. (1997). Le lecteur face à l'hypertexte. In *Apprendre avec le multimédia : où en est-on ?* Paris, Retz, pp. 165-180.
- SCAPIN D. (1986). Guide ergonomique de conception des interfaces Homme-Machine. *Rapport Technique de l'INRIA-Rocquencourt, n° 77*.
- 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, université Lumière Lyon 2.
- SÉJOURNÉ A. & TIBERGHEN A. (2001). Conception d'un hypermédia en physique et étude des activités des élèves du point de vue de l'apprentissage. In E. de Vries, J.-P. Pernin & J.-P. Peyrin (Éds), *Hypermédiats et Apprentissages 5*. Paris, INRP-EPI, pp. 103-118.
- TIBERGHEN A. (1994). Modelling as a basis for analysing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, vol. 4, pp. 71-87.
- TIBERGHEN A. & MEGALAKAKI O. (1995). Characterization of modelling activity for a first qualitative approach to the concept of energy. *European Journal of psychology of Education*, vol. 4, pp. 369-383.
- TIBERGHEN A. (1999). *Learner's modelling activities in elementary physics learning*. Communication présentée au colloque Roles of Communication Interaction in Learning to model in Mathematics and Science, Ajaccio.
- TRICOT A. (1993). Stratégie de navigation et stratégies d'apprentissage : pour l'approche expérimentale d'un problème cognitif. In G.-L. Baron, J. Baudé & B. de La Passadière (Éds), *Hypermédiats et apprentissage 2*. Paris, INRP-EPI, pp. 21-38.
- VAN NES F.L. (1986). Space colour and typography on visual display terminals. *Behaviour and Information Technology*, vol. 5, n° 2, pp. 99-118.
- VENTURINI P. & VIEL L. (1996). Base de données hypermédia pour le programme d'électricité en seconde. In E. Bruillard, J.-M. Baldner & G.L. Baron (Éds), *Hypermédiats et Apprentissages 3*. Paris, INRP-EPI, pp. 211-224.

VIENNOT L. (1993). Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique. *Didaskalia*, n° 1, pp. 13-27.

VINCE J. (2000). *Approches phénoménologiques et linguistique des connaissances des élèves de 2^{nde} sur le son. Contribution à l'élaboration analyse d'un enseignement et au développement d'un logiciel de simulation*. Thèse, université Lumière Lyon 2.

VINCE J. & TIBERGHEN A. (2000). Simuler pour modéliser. Le cas du son. *Sciences et techniques éducatives*, vol. 7, n° 2, pp. 333-366.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier l'équipe COAST, et en particulier Andrée Tiberghien et Bernadette Pateyron pour leurs aides précieuses, les trois enseignants de sciences physiques des lycées Branly, Camus et St Exupéry sans qui les expériences ne se seraient pas réalisées. La société Jeulin pour avoir permis la réalisation du cédérom Labdoc Son et Vibrations. Enfin, je tiens à remercier Michael Baker pour toutes nos discussions.

Cet article a été reçu le 19 juillet 2002 et accepté le 17 décembre 2003.