

CONCEPTION D'UN HYPERMÉDIA EN PHYSIQUE ET ÉTUDE DES ACTIVITÉS DES ÉLÈVES DU POINT DE VUE DE L'APPRENTISSAGE

Arnauld SÉJOURNÉ et Andrée TIBERGHIE

UMR GRIC, équipe COAST, Université Lumière Lyon 2,
5 avenue Pierre Mendès France, 69676 Bron cedex 11
Arnauld.Sejourne@univ-lyon2.fr, Andree.Tiberghien@univ-lyon2.fr

***Résumé :** Ce texte présente une recherche en cours réalisée en didactique des sciences 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. Comme nous le décrivons, 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 à enseigner. Les bases de la conception sont ensuite présentées ainsi que deux exemples de tâches. Enfin, nous analysons l'activité des élèves lors de l'utilisation de l'hypermédia dans le but de répondre à l'une de nos questions de recherche qui porte sur le rôle de la structuration des informations dans la construction du sens de la connaissance en jeu. L'un des premiers résultats indique que donner la possibilité aux élèves d'avoir des échecs successifs semble les mener à rechercher des informations et par ce biais, à prendre conscience que la connaissance qu'ils mettent en œuvre n'est pas celle qui est attendue.*

***Mots-clés :** didactique, systèmes sémiotiques, activité de modélisation, physique, résolution de problème.*

***Abstract :** This article presents ongoing research in Science Education, whose main aim is to design hypermedia software dedicated to science teaching on the basis of learning hypotheses relating to how the nature of the knowledge to be learned. As described in this text, these learning hypotheses underlie both the design of the hypermedia « Labdoc Son et Vibration » [Sound and Vibration] and the analysis of students' activity in a classroom situation. First, we describe the theoretical framework that introduces the learning hypotheses relating to knowledge that is to be taught. Then design principles are presented and two examples of activities and resources are given to illustrate the application such a theoretical framework. Finally we analyse students' activity whilst using the hypermedia in order to answer one of our research questions : the role of information structure in constructing of the meaning of related knowledge. One of the results presented here shows that enabling students to have successive failures leads them to look for other*

information, and to realise that they use parts of knowledge that are not the expected ones.

Keywords : *science education, multiple representation, modelling activity, physics, problem solving*

INTRODUCTION

Dans le cadre d'une recherche en didactique des disciplines scientifiques, nous avons élaboré un hypermédia. Il s'insère dans l'une des catégories d'usage proposées par É. Bruillard et B. de La Passadière (1998) qui est celle « d'utiliser des environnements d'apprentissage intégrant l'hypertexte » (Venturini & Viel, 1996 ; Paquelin 1996). Cette conception de situations visant l'apprentissage s'inscrit dans le domaine de l'ingénierie didactique (Artigue, 1988). Il s'agit de la réalisation d'un hypermédia fondée sur des hypothèses d'apprentissage, en particulier celles liées au fonctionnement du savoir¹. Dans cette présentation, nous nous limiterons à un aspect, celui de la structuration des informations en tenant compte d'une part de l'interactivité et d'autre part des types d'information proposés. L'hypermédia « Labdoc Son et Vibrations » que nous avons développé en collaboration avec la société Jeulin², est dédié à l'apprentissage des phénomènes sonores au niveau de l'enseignement secondaire.

Dans cet article, nous présentons d'abord le cadre théorique de référence suivi de son application du point de vue de la conception. Nous analyserons ensuite l'activité des élèves à partir de ce même cadre théorique en nous centrant sur le rôle de la structuration des informations dans la construction du sens de la connaissance en jeu par l'apprenant.

CADRE DE RÉFÉRENCE

Ce cadre de référence sert à la fois de base pour concevoir le logiciel et pour analyser les activités des élèves.

L'activité de modélisation

La modélisation est définie comme la construction d'un modèle qui représente, d'un point de vue théorique, la situation expérimentale. D'après A. Tiberghien (1994), nous considérerons deux principaux « niveaux » de savoir dans ce processus de modélisation :

- La théorie inclut le cadre explicatif de la modélisation. Il comporte les principes, les lois, la causalité en tant que raisonnement explicatif de l'élève. Le modèle représente la situation expérimentale dans les termes de la théorie.

1 A. Tricot, C. Pierre-Demarcy et R. El Boussarghini (1998) posent la question de « comment concevoir de bons scénarios d'interaction ».

2 <http://www.jeulin.fr>

- Le champ expérimental correspond aux situations expérimentales. Il comprend les objets et les événements associés à des expériences ou à des situations de la vie quotidienne, les prises de mesure, les faits expérimentaux.

En outre, nous introduisons un niveau supplémentaire, le niveau des objets et événements simulés dérivant de l'utilisation de l'outil informatique. Il possède à la fois des attributs du modèle et des attributs du champ expérimental. Ce niveau intermédiaire est censé favoriser l'articulation entre le champ expérimental et la théorie-modèle (Quintana-Robles, 1997).

Les systèmes sémiotiques

Un même objet peut être représenté à partir de différents systèmes sémiotiques (langage naturel (LN), représentation symbolique (RS), représentation graphique (RG), représentation dynamique (RD), image (I)). En physique par exemple, la fréquence peut être présentée à partir d'une définition (LN), d'une formule (RS) ou d'une animation (RD).

Hypothèses d'apprentissage

Nous reprenons à notre compte, d'abord, deux hypothèses largement partagées par les chercheurs :

- l'élève est le propre acteur de son apprentissage ;
- les connaissances initiales de l'élève jouent en rôle déterminant dans l'apprentissage.

Puis, deux hypothèses plus spécifiques sont en relation avec le cadre présenté ci-dessus :

- les relations établies par les élèves entre les informations appartenant à différents niveaux du processus de modélisation favorisent l'apprentissage et la construction du sens d'une notion lors de la réalisation d'une tâche.
- les relations entre les diverses représentations pour chacune des informations favorisent leur « compréhension ».

Enfin, à la suite de Duval (Duval, 1995), nous considérons que les systèmes sémiotiques permettent de réaliser trois activités cognitives inhérentes à toutes représentations qui sont :

- « de constituer une trace (...) qui soit identifiable comme une représentation de quelque chose » ;
- « de transformer les représentations par les seules règles propres du système (...) de façon à obtenir d'autres représentations » ;
- « de convertir les représentations produites dans un système en représentations d'un autre système ».

Ces hypothèses vont nous servir de base à la fois pour concevoir les séquences d'enseignement implémentées dans l'hypermédia et pour analyser l'activité des élèves.

LA CONCEPTION DE L'HYPERMÉDIA

Présentation de l'hypermédia

Cet hypermédia se compose de « cinq lieux » : (1) une salle de travaux pratiques 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 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. Dans la partie suivante, nous présentons les bases de la conception relatives au contenu et à la navigation.

Les bases de la conception

Le contenu : élément « premier » de la conception

Le contenu choisi lors de la conception de cet environnement est issu d'un travail collectif au sein de notre équipe (projet SOC³, 1995-1998), associant chercheurs, inspecteurs pédagogiques régionaux (I.P.R) et enseignants du secondaire. Ce projet (SOC) a conduit à différentes productions dont l'élaboration de sept séquences de travaux pratiques (TP) dédiées à l'enseignement du son en classe de Seconde. Nous présentons succinctement les deux principales caractéristiques de ces TP afin de justifier ce choix :

- Distanciation avec les TP classiques. L'utilisation d'une grille d'analyse de TP (Millard, Le Maréchal et Tiberghien, 1997) a permis de mettre en évidence deux particularités des TP SOC, comparés à des TP dits « classiques ». D'abord, ces TP proposent des activités diverses comme prédire, expliquer, décrire, conclure, mettre en relation des mesures. Puis, ils privilégient les mises en relation des objets matériels et des observables avec les savoirs théoriques (Tiberghien et Megalakaki, 1995). Ceci est l'une des principales raisons qui nous a conduit à concevoir notre hypermédia à partir de ce type de TP.
- Prises en compte des hypothèses d'apprentissage dans l'élaboration de la séquence. Les conceptions⁴ des élèves à propos du son, conditionnent la construction des séquences d'enseignement. Celles-ci visent à aider les élèves à surmonter leurs difficultés⁵ et non à les contourner. La séquence vise également à faire prendre conscience aux élèves que la question posée est la leur et qu'ils en sont responsables.

3 voir site de l'académie : <http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/docs/soc/son/son.html>

4 Conceptions d'élèves : ensemble hypothétique de propositions, savoir-faire, procédures, habilités manuelles, que le chercheur attribue à l'élève dans le but de rendre compte des conduites de l'élève dans un ensemble de situations données.

5 Le terme difficulté est pris dans le sens où l'on juge une notion délicate à comprendre par l'élève.

Les choix de navigation en lien avec les ressources proposées

Deux sortes de navigations ont été implémentées dans le logiciel dans le but d'inciter les élèves à se référer dès qu'ils le souhaitent à la diversité des informations disponibles : *une navigation interne à un lieu et une navigation entre lieux*. Ces informations prennent alors le statut de ressources pouvant aider les apprenants par exemple dans leurs raisonnements, leurs décisions.

La navigation interne à un lieu, mis à part la navigation de page en page, met en jeu trois types de ressources. Elles permettent à l'apprenant de recueillir des informations tout en restant dans la même page-écran, c'est-à-dire dans un même contexte de tâche (résolution de problème, lecture d'information, observation d'une expérience, etc.) (Rouet & de La Passadière, 1998). Nous supposons que cela limite la désorientation de l'apprenant (Foss, 1988) et permet d'éviter une surcharge cognitive « liée à l'effort et à la concentration nécessaire pour maintenir différents travaux ou chemins » (Bruillard & de La Passadière, 1994). Nous présentons ci-dessous les trois types de ressources :

- L'**escamot** (ou pop-up window) est un ensemble d'informations intégrées dans une fenêtre qui n'apparaît que sous l'action de l'utilisateur et qui permet à l'apprenant de trouver rapidement l'information (Caro & Betrancourt, 1998). Dans l'hypermédia, les informations fournies définissent les termes soulignés. Elles sont proposées principalement dans un unique niveau de modélisation et dans la majorité des cas en langage naturel.
- L'**aide** propose différentes représentations possibles d'une information. Par exemple la définition de la fréquence peut être présentée à l'aide d'un texte, d'une animation ou d'une formule. Ces représentations correspondent à celles que les élèves sont censés mobiliser durant la résolution d'un problème. Lors de la conception de l'hypermédia, nous implémentons principalement une aide dans des activités mettant en jeu des concepts difficiles à construire par les apprenants.
- Le **mini-dictionnaire** propose un ensemble de définitions de termes relatifs à l'enseignement du son en seconde.

La navigation externe permet d'accéder à des informations hors du lieu où se trouve l'utilisateur. Le logiciel impose un retour au lieu d'origine afin de limiter une possible désorientation.

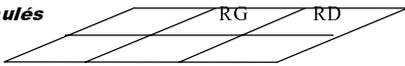
Mise en pratique du cadre de référence

Comme nous l'avons introduit dans le cadre de référence, nous définissons les catégories des informations présentes à l'écran à partir des « niveaux » de savoir et des systèmes sémiotiques. La Figure 1 présente schématiquement le cadre théorique de conception et d'analyse des activités des élèves.

Théorie / modèle

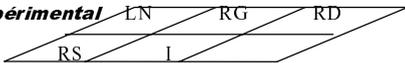


Objets - événements simulés



Champ

Expérimental



Les cinq systèmes sémiotiques

LN : Langage naturel,

RS : Représentation symbolique,

RG : Représentation graphique,

I : Image

RD : Représentation dynamique

Figure 1. Grille permettant de catégoriser l'information contenue dans la page-écran selon trois niveaux de modélisation et cinq systèmes sémiotiques

Par conséquent, ce cadre nous a permis de structurer à la fois le contenu de chacune des séquences de TP et un ensemble de ressources. À titre d'illustration, nous présentons deux exemples d'activités ainsi que l'aide associée. Nous donnerons aussi une analyse *a priori* de l'activité des élèves à laquelle nous nous référerons lors de l'analyse de l'activité des élèves en situation de classe.

Exemple 1 : Mesure de la fréquence

Présentation

Cette activité fait suite à une activité présentant les définitions des grandeurs caractéristiques de la vibration, la fréquence et l'amplitude. Nous détaillons selon notre grille (Figure 1) la page-écran liée à l'activité mesure de la fréquence (Figure 2).

Figure 2. Page-écran : Mesure de la fréquence. Catégorisation des informations à l'écran selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques

La demi page de gauche, contient l'énoncé du problème en langage naturel : « À l'aide du chronomètre, compter le nombre d'allers-retours effectués par la mem-

brane du haut-parleur pendant un temps t (10 secondes par exemple). Puis, donner la valeur de la fréquence de vibration ». La première étape de la question vise à dénombrer le nombre d'allers-retours effectué par la membrane en un temps t à partir de l'animation (ou simulation), elle se réfère au niveau des objets événements simulés. La seconde étape demande de déterminer la valeur de la fréquence, elle se rapporte au niveau de la théorie-modèle. La demi-page de droite est une simulation du mouvement de la membrane du haut-parleur à partir de laquelle les élèves réalisent leur mesure. Le contenu de cette demi-page se réfère au niveau des objets-événements simulés dont la représentation est dynamique.

L'aide intégrée à la page-écran

La fenêtre Aide comporte des informations sur la fréquence et le nombre d'allers-retours selon différents systèmes de représentation (Tableau 1). Nous supposons que les aides ainsi construites favorisent la conceptualisation.

Analyse a priori de l'activité des élèves

Dans l'activité proposée, nous nous attendons à ce que les élèves mobilisent et mettent en relation deux éléments de connaissance qui sont : (1) le mouvement de la membrane du haut-parleur et le comptage du nombre d'allers-retours effectués en un temps t et (2) la grandeur fréquence. Le premier élément relève du champ expérimental, alors que le deuxième relève du niveau de la théorie-modèle, avec le formalisme donnant la valeur de la fréquence ($F = \text{nombre d'allers-retours compté} / \text{temps}$). Nous supposons que lors de cette activité, les élèves vont rencontrer des difficultés en particulier celle de se limiter au comptage sans prendre en compte la durée.

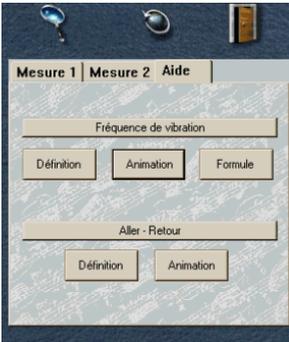
Demi page-écran Aide	Information visible à l'écran	Informations analysées à partir de la grille	
<p>Fenêtre aide de l'activité mesure de la fréquence</p> 		Système sémiotique	Niveaux de savoir
	<p>Connaissance : fréquence</p>		
	<p>Définition : nombre d'allers-retours effectués par la partie vibrante de la source de son en une seconde</p>	Langage naturel	Relation (Théorie-modèle, champ expérimental)
	<p>Animation </p>	Représentation dynamique	Objets événements simulés
<p>Formule : $F = 1/T$</p>	Représentation symbolique	Théorie-modèle	
<p>Connaissance : aller-retour</p>			
<p>Définition : C'est le déplacement réalisé pour aller à un endroit et en revenir</p>	Langage naturel	Champ expérimental	
<p>Animation </p>	Représentation dynamique	Objets événements simulés	

Tableau 1. La fenêtre Aide associée à l'activité mesure de la fréquence

Exemple 2 : Relation entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la vibration

Présentation

Cette activité suit l'introduction des définitions de la perception sonore en lien avec les grandeurs caractéristiques de la vibration. L'application de notre grille (Figure 1) à cette activité conduit à la structuration suggérée sur la Figure 3.

Figure 3. Page-écran : relation entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la vibration. Catégorisation des informations à l'écran selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques

La demi-page de gauche, contient l'énoncé du problème en langage naturel : « En comparant les sons émis par le haut-parleur de référence et le haut-parleur à étudier, déterminer les caractéristiques du son et les caractéristiques de la vibration du haut-parleur à étudier qui auraient changé ». Dans la première partie de l'énoncé on qualifie le son à étudier par rapport au son de référence, ce qui se réfère au niveau des objets événements simulés. La seconde partie consiste à déterminer les grandeurs caractéristiques de la vibration, c'est-à-dire la fréquence et l'amplitude, ce qui se rapporte au niveau de la théorie-modèle. La demi-page de droite est constituée de deux parties. La partie du haut présente deux haut-parleurs qui permettent à l'élève de comparer les sons émis par chacun d'eux. Le mouvement des deux haut-parleurs est simulé par un mouvement flou de la membrane. Ainsi, cette première partie se réfère au niveau des objets événements simulés dont la représentation est dynamique. La partie basse propose une série de réponses en langage naturel liées à la perception sonore (objets événements simulés) et aux grandeurs caractéristiques de la vibration (théorie-modèle).

L'aide intégrée à la page-écran

L'aide construite propose non seulement des informations à propos de la perception sonore, mais aussi à propos des propriétés de la vibration c'est-à-dire l'amplitude, la fréquence (Tableau 2).

Information proposée dans la page-écran	Informations analysées à partir de la grille	
	Système sémiotique	Niveaux de savoir
Connaissance : Perception sonore Aiguë / Grave		
<i>Définition</i> : Un son est d'autant plus grave que la fréquence de vibration de l'élément matériel est faible (et inversement pour un son perçu aigu).	Langage naturel	Relation (Théorie-modèle, champ expérimental)
Perception sonore Aigu grave (on entend un son)		Champ expérimental
Connaissance : Perception sonore Fort/ Faible		
<i>Définition</i> : Un son est d'autant plus fort que l'amplitude de vibration de l'élément matériel est élevée (et inversement pour un son perçu faible).	Langage naturel	Relation (Théorie-modèle, Objets/Événements)
Perception sonore Fort / faible (on entend un son)		Champ expérimental
Fréquence (voir Tableau 1)		
Amplitude		
<i>Définition</i> : L'amplitude est un déplacement plus ou moins grand de la partie vibrante de la source de son.	Langage naturel	Relation (Théorie-modèle, Objets/Événements)
Animation du mouvement de la membrane du haut-parleur à une fréquence donnée et une amplitude donnée		Représentation dynamique
Dessin légendé d'un haut-parleur en coupe	Image	Relation (Théorie-modèle, champ expérimental)

Tableau 2. *La fenêtre Aide associée à l'activité mesure de la fréquence**Analyse a priori de l'activité des élèves*

À partir de cette activité, nous souhaitons que les élèves mobilisent deux éléments de connaissance qui sont : (1) les caractéristiques de la perception sonore (fort/ faible et aigu/ grave) et (2) la relation entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la source de son (par exemple un son est d'autant plus fort que l'amplitude de la vibration est grande). Le premier relève du champ expérimental, le deuxième nécessite de mettre en relations les niveaux de la théorie-modèle et du champ expérimental. La difficulté des élèves se situe au niveau de la construction de cette relation puisque jusqu'à présent les grandeurs fréquence et amplitude leur permettaient de modéliser la vibration de la source et non d'interpréter la perception du son.

En résumé

Nous supposons que cette structuration des informations et des ressources associées « dynamisera » la démarche de résolution de problème des élèves. En effet, nous considérons que « l'apprentissage n'est pas le résultat d'une modification d'un système cognitif par un apport de l'extérieur mais résulte de l'interaction au cours de laquelle la qualité et la variété des supports du milieu extérieur permettent aux potentialités existantes de s'organiser, de se restructurer » (Dimitracopoulou, 1995). Les relations que l'élève va entretenir avec les éléments de la situation peuvent provoquer les adaptations attendues, voire l'apprentissage des savoirs en jeu. Ainsi, les différents types d'informations qui sont, par exemple, le contenu des pages-écrans (énoncé de problème, question, définition,...), les multiples représentations, la structuration de l'information selon les niveaux de modélisation, les

ressources disponibles, les messages de rétroaction retournés lors de la validation de la réponse ⁶, sont des éléments constitutifs de la situation.

ACTIVITÉ DES ÉLÈVES

Afin de se centrer sur le rôle de la structuration des informations proposées dans la construction du sens de la connaissance en jeu par l'apprenant, nous présentons notre méthodologie, puis une analyse des activités des élèves.

Méthodologie d'analyse

Conditions 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 20 dyades) ont été recrutés par leurs professeurs respectifs selon leur motivation dans l'objectif de réaliser trois séquences de travaux pratiques, d'une durée de 1 heure et demi à partir de l'hypermédia. Ces séquences sont effectuées en parallèle de l'enseignement dirigé par l'enseignant. Deux dyades sont placées dans une autre salle de classe : elles sont ainsi isolées des autres élèves et de leur professeur évitant ainsi tout échange et influence ⁷.

Conditions du recueil et données recueillies

Notre développement informatique permet l'enregistrement, en fonction du temps, de la trace des navigations des élèves, de leurs réponses et des ressources utilisées. De plus, nous avons filmé les élèves et enregistré leur dialogue. Durant la séance, le chercheur est toujours présent en tant qu'observateur. Ainsi, nous obtenons trois types de données : des enregistrements audio et vidéo et une trace informatique. Les enregistrements audio sont retranscrits. Les bandes vidéo permettent d'une part de compléter la transcription et d'autre part de suivre les faits et gestes des élèves durant les trois séances de TP.

Grille d'analyse

Nos hypothèses d'apprentissage liées au savoir permettent d'étudier et d'interpréter le fonctionnement des élèves du point de vue de l'activité de modélisation et de l'utilisation des systèmes sémiotiques. La grille d'analyse de l'activité des élèves interagissant avec l'hypermédia se réfère, comme dans le cas de la conception de l'hypermédia, aux niveaux de savoir et aux systèmes sémiotiques (Figure 1). Par conséquent, selon le choix de l'information sélectionnée, indiquée par la trace, nous pouvons faire une hypothèse sur la façon dont l'élève est en train de fonctionner du point de vue des connaissances qu'il mobilise. De plus, l'analyse

6 Un exemple de message retourné à l'élève afin de l'inciter à utiliser les différentes ressources : « Attention !!! La fréquence saisie est incorrecte. Il est conseillé de consulter l'aide proposée puis de faire de nouveau la mesure. »

7 Nous rappelons que les autres élèves réalisaient la même séquence avec leur professeur, mais sous forme de TP traditionnel sans l'hypermédia.

des verbalisations selon les niveaux de savoir permettra peut être de préciser ce fonctionnement.

Analyse

Pour présenter l'analyse du rôle des aides dans la construction du sens d'une notion, nous avons choisi deux activités du TP1. Pour chacune des activités, « mesure de la fréquence » et « relation entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la vibration », nous avons montré, à partir de l'analyse *a priori*, que les élèves sont susceptibles de rencontrer des difficultés.

Étude globale à partir de la trace

Les données présentées dans cette étude sont issues d'un traitement de la trace à partir du logiciel Access. Le Tableau montre que le nombre de dyades qui produisent au moins une réponse inexacte est important (14 sur 17 dans le cas de la mesure de la fréquence). Cela confirme notre analyse *a priori* qui considère que ces deux activités peuvent poser des difficultés aux élèves. Cependant, aucune des dyades n'abandonne, elles arrivent toutes à une bonne réponse. Etant données la fréquence d'appel de l'aide et la diversité des informations sélectionnées, nous considérons que la construction de ressources intégrées à la page-écran dans le cas d'activités difficiles est pertinente en tant que support à la résolution de problème. Pour la mesure de la fréquence, les informations en langage naturel (LN) et en représentation symbolique (RS) sont les plus appelées, alors que pour la seconde activité ce sont les informations en langage naturel et les informations sonores. Dans chaque cas il apparaît que les systèmes de représentation des aides les plus sollicités sont ceux en jeu dans la question et la réponse demandée.

Enfin, le nombre d'appel à des ressources et celui de réponses inexactes ne sont pas proportionnels. Ceci peut signifier que les élèves ont tendance, avant de se référer à une aide, à tenter leurs propres stratégies d'une manière répétitive jusqu'à ce qu'ils considèrent que cette la stratégie est en échec.

Ainsi, à partir de cette première étude, nous avons constaté l'intérêt et la pertinence de la proposition des informations sélectionnées au préalable par les concepteurs de l'hypermédia en tenant compte des difficultés des apprenants. De plus, le Tableau nous a permis d'observer que les élèves recueillent différents types d'informations qui les amèneraient à mettre en œuvre de nouvelles stratégies de résolution et/ou de nouvelles connaissances. Ceci expliquerait le nombre élevé de mauvaises réponses (jusqu'à 28) de certaines dyades qui pourtant n'abandonnent pas. Cependant, cette étude n'est pas suffisante pour expliquer et spécifier l'évolution des connaissances des élèves : une analyse locale, c'est-à-dire des dialogues des élèves au moyen de notre grille contribue à nous apporter une réponse.

Remarque : Sur les 17 dyades, nous précisons que trois groupes ont pratiqué une navigation externe et un seul s'est limité à naviguer dans le mini-dictionnaire pour l'activité « mesure de la fréquence ». Il faut signaler que cette activité est la première qui propose une aide.

Intitulé de l'activité	Aide sélectionnée	N° Dyades																		
		1	3	4	5	6	7	8	9	11	12	14	15	16	17	18	19	20		
Mesure de la fréquence	Définition (Fréquence)	1	1		1		1		1	1		1			5	3	1	5		
	Animation (Fréquence)	1	2		1		1		1	1			1					3		
	Formule (Fréquence)		4		1		1	1	1	2		2		1	5	4		3		
	Définition (Aller/Retour)		1						1	1	1	1		1	1	1		1		
	Animation (Aller/Retour)		2						1	1								1		
<i>Nombre d'appels à l'aide</i>		2	10	0	3	0	3	1	5	6	1	4	0	4	11	8	1	13		
<i>Nombre de réponses inexactes</i>		3	9	0	1	2	23	0	4	5	2	4	0	2	3	5	1	14		
Relation entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la vibration	Perception sonore (fort)			1				3	1	1		1								
	Perception sonore (Aigu)			1				4	2	1	1	1								
	Perception sonore (Faible)							2	1	1		1								
	Perception sonore (Grave)			4				1	1	1	1	1								
	Définition (Fréquence)	1			1	1			1	1					1	1	1			
	Animation (Fréquence)					1		1	2	1										
	Formule (Fréquence)					1				1										
	Définition (Amplitude)									1										
	Animation (Amplitude)								1	1	1									
	Dessin (Amplitude)								1		1									
	Définition (Perception sonore aiguë/grave)	1		2	2		1	1	3	2	1				1	3	1			
	Définition (Perception sonore faible/fort)			3	1			1	4		1				2	2	1			
	<i>Nombre d'appels à l'aide</i>		2	0	11	4	3	1	15	17	11	4		4		3	6	3		
	<i>Nombre de réponses inexactes</i>		5	5	27	5	4	11	28	17	15	1	1	8	0	2	1	1		

Tableau 3. Type et fréquence d'aide sélectionnée, nombre de réponses inexactes pour 17 dyades lors des deux activités

Étude locale à partir des verbalisations des élèves

Cette étude est présentée à partir du cas de la dyade 12. Nous justifions le choix de cette dyade car elle a sélectionné des informations dans l'Aide (une information choisie alors qu'elle produit trois réponses erronées) et, sa navigation est suffisamment restreinte pour qu'elle puisse nous permettre d'énoncer nos premiers résultats. L'analyse de l'activité des élèves à partir de la grille d'analyse est présentée dans les figures 4 et 5. Nous nous limitons ici aux niveaux de savoir, le rôle des systèmes de représentation ne sera pas développé.

Activité « Mesure de la fréquence »

Lors de cette activité, la dyade débute par une lecture de la définition de la fréquence (tours de parole n° 1 à 2), les élèves réalisent ensuite une première mesure qui relève du niveau des objets événements simulés (OES) (n° 4 à 10). Puis, ils relisent l'énoncé (n° 10), le niveau théorie-modèle (TM) en témoigne et décident alors de retourner dans la page-écran définition de la fréquence (n° 13 à 20) :

N°9 A « Dix huit / précise »

N°10 B « Préciser la fréquence trouvée / tu retournes ils disaient comment on faisait la fréquence »

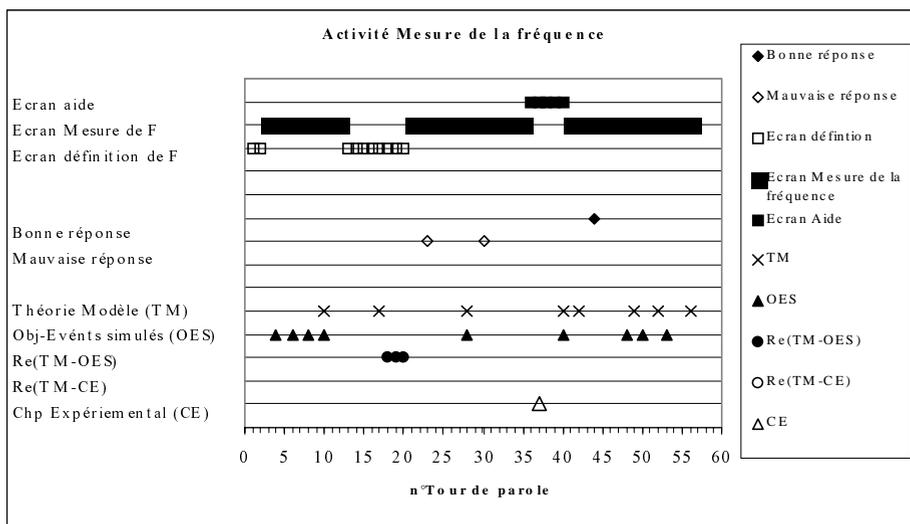


Figure 4. Écran mis en œuvre dans la navigation, réponse donnée, niveau de savoir du dialogue, en fonction des tours de parole

Lors de cette première navigation, les élèves construisent un sens de la grandeur fréquence en effectuant le lien entre la mesure du nombre d'allers-retours de la membrane et la grandeur fréquence (n° 18 à 20) indiqué par la mise en œuvre de relations Re(TM-OES).

N°20 B « Ben oui facile ben si en dix secondes il fait dix huit en une seconde il fait 1,8 »

Cependant, la réponse proposée est inexacte (N° 23). Malgré le conseil du feed-back de consulter une aide, ils recommencent une mesure (OES) (n° 28) et proposent une nouvelle réponse inexacte (n° 30). Ils décident alors de consulter l'aide (n° 36 à 40) et de sélectionner une seule information la définition de l'allers-retour qui se réfère au champ expérimental (n° 37). La réponse qui en a suivi est alors celle attendue.

Ainsi, l'aide a conduit la dyade à mettre en œuvre les objets et événements, puis à reconstruire la relation entre les deux niveaux (Re(TM-OES)). Elle a donc été déterminante pour favoriser la mise en œuvre de différents niveaux.

Activité « Relation entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques du son »

Nous allons regarder précisément ce qui se passe avant et après l'appel de l'aide (Figure 5). Dans un premier temps, les élèves déterminent les caractéristiques du son identifiées à partir des objets événements simulés (n° 7 à 16) : ils répondent à la première question « par rapport au son de référence, le son étudié est... ». Ensuite, ils déterminent les grandeurs caractéristiques de la vibration ce qui les amènent à construire des relations (n° 17 à 26). Durant cette période, la multiplicité des relations mises en œuvre est révélatrice de la difficulté à modéliser mais aussi à mettre en place une stratégie dont les élèves vérifient la validité en répondant à la

question. Leur réponse est inexacte (n° 28) et ils décident alors de chercher de l'information dans l'aide. Les informations sélectionnées se réfèrent au champ expérimental (la perception sonore) et à la relation entre ce niveau et celui de la théorie-modèle (définition de la perception sonore). La reformulation des définitions par la dyade conduit à identifier cette relation (n° 31 et n° 35). De retour dans l'exercice, ils répondent de nouveau et cette fois leur réponse est exacte.

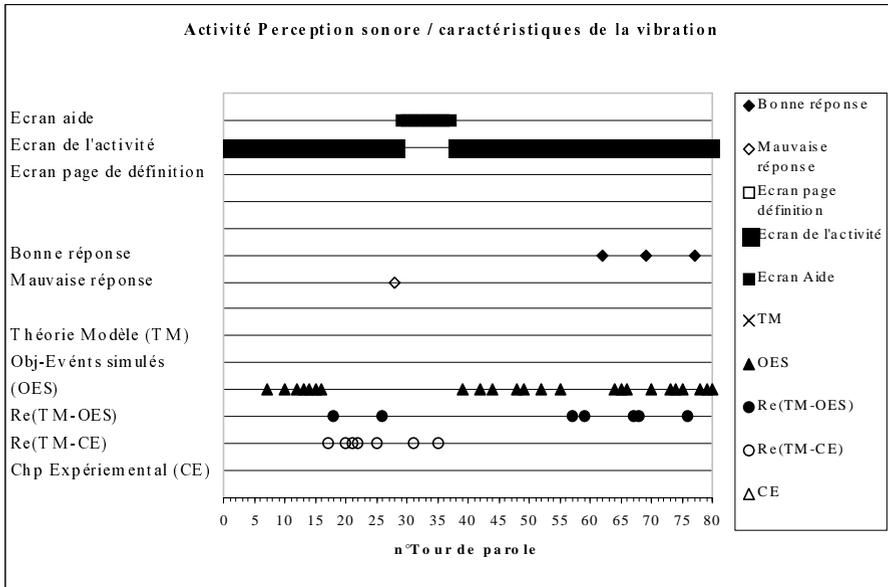


Figure 5. Écran mis en œuvre dans la navigation, réponse donnée, niveau de savoir du dialogue, en fonction des tours de parole⁸

CONCLUSION

À la suite de l'analyse globale, le lien entre la fréquence d'appel de l'aide et le nombre de réponses inexactes laisse supposer que les élèves ne naviguent qu'à partir du moment où ils ont conscience du besoin d'une aide, plus précisément d'informations. On peut supposer qu'un échec « répété » conduit les élèves à prendre conscience de l'écart entre leurs connaissances et le savoir en jeu et de la nécessité à naviguer. L'analyse locale nous a permis de mettre en relation le déclenchement de la navigation avec le besoin de connaissance. Par exemple, c'est après avoir produit deux réponses inexactes que la dyade étudiée va dans l'aide chercher l'information qui lui manque à propos du mouvement d'aller-retour et la prend en compte pour construire une nouvelle réponse et cette fois correcte. Nous pouvons supposer qu'elle a pris conscience que ce n'était pas une erreur de « savoir-faire » mais que leur connaissance est inadaptée à la résolution du problème.

⁸ Dans la verbalisation des élèves, nous avons distingué quand il s'agissait du son émis à partir des actions des élèves sur la simulation et du son évoqué de manière générale.

Ces résultats confortent le choix de conception de notre hypermédia qui d'une part permet des échecs répétés conduisant les élèves à prendre conscience de la distance entre leur propre idée et la connaissance à mobiliser et d'autre part propose différentes ressources à partir desquelles les élèves peuvent sélectionner selon leurs besoins les informations proposées.

BIBLIOGRAPHIE

- Artigue M. (1988). « Ingénierie didactique ». *Recherche en didactique des mathématiques*, vol. 9, n° 3, Grenoble : éditions La pensée sauvage, p. 51-67.
- Bruillard É. & de La Passadière B. (1994). « Hypermédias et éducation : des repères », *Sciences et Techniques Éducatives*, vol. 1, n° 1, Paris : Hermès, p. 17-37.
- Bruillard É. & de La Passadière B. (1998). « Fonctionnalités hypertextuelles dans les environnements d'apprentissage », in A. Tricot & J.-F. Rouet (éds), *Les hypermédias, approches cognitives et ergonomiques*, Paris : Hermès, Hypertexte et hypermédias.
- Caro S. & Betrancourt M. (1998). « Ergonomie des documents techniques informatisés : expériences et recommandations sur l'utilisation des organisateurs paralinguistiques », in A. Tricot & J.-F. Rouet (éds), *Les hypermédias, approches cognitives et ergonomiques*, Paris : Hermès, Hypertexte et hypermédias.
- Dimitracopoulou A. (1995). *Le tutorat dans les systèmes informatisés d'apprentissage : Étude de la conception et réalisation d'un tutoriel d'aide à la représentation physique des situations étudiées par la mécanique*, Thèse de didactiques des sciences physiques, sous la direction de Mme Andrée Dumas-Carré, Université Paris 7-Denis Diderot.
- Duval R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine*, Registres sémiotiques et apprentissages intellectuels, Paris : éditions Peter Lang.
- Foss C. L. (1988). « Effective browsing in hypertext system », *Proceedings of RAIO 88*, Cambridge, MA : MIT Press.
- 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), *Hypermédias et Apprentissages 2*, Paris : INRP/EPI, p. 85-96.
- Millar R., Le Maréchal J.-F. & Tiberghien A. (1997). « "map" of the varieties of labwork – its possible uses as a research tool », *communication at the ESERA conference*, Rome.
- Paquelin D. (1996). « Les cartes de concepts : outils pour les concepteurs et les utilisateurs d'hypermédia éducatif », in É. Bruillard, J.-M. Baldner. & G.-L. Baron (éds), *Hypermédias et Apprentissages 3*, Actes du troisième colloque Hypermédias et Apprentissages, Paris : INRP/EPI, p. 85-96.
- Quintana-Robles M. (1997). *Étude didactique de films comme aide pour l'enseignement de la physique. Cas de l'expansion des gaz*, Thèse de didactique de la physique sous la direction de Monsieur Jean-François Le Maréchal, Université Lyon 1-Claude Bernard.
- Rouet J.-F. & de La Passadière B. (1998). « Hypermédias et apprentissages : Outils, utilisateurs, usages », in É. Bruillard, J.-M. Baldner. & G.-L. Baron (éds), *Hypermédias et Apprentissages 4*, Actes du Quatrième Colloque Hypermédias et Apprentissages, Paris : INRP/EPI, p. 7-8.

- Tiberghien 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, p. 369-383.
- Tiberghien A. (1994). « Modelling as a basis for analysing teaching-learning situations », *Learning and Instruction*, vol. 4, p. 71-87.
- Tricot A., Pierre-Demarcy C. & El Boussarghini R. (1998). « Définitions d'aides en fonction des types d'apprentissages dans des environnements hypermédias », in J.-F. Rouet & B. de La Passadière (éds), *Hypermédias et Apprentissages 4*, Actes du 4^{ème} colloque Hypermédias et Apprentissages, Poitiers, Paris : INRP/EPI, p. 41-58.
- Venturini P. & Viel L. (1996). « Base de données hypermédia pour le programme d'électricité en seconde », in É. Bruillard, J.-M. Baldner. & G.-L. Baron (éds), *Hypermédias et Apprentissages 3*, Actes du troisième colloque Hypermédias et Apprentissages, Paris : INRP/EPI, p. 211-224.