HAL
open science

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"

Arnauld Séjourné

To cite this version:

Arnauld Séjourné. 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". Education. Université Lumière - Lyon II, 2001. Français. NNT : . edutice-00000241

HAL Id: edutice-00000241

https://theses.hal.science/edutice-00000241v1

Submitted on 19 Nov 2003

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

Thèse

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

en Sciences de l'Éducation

présentée et soutenue publiquement par

Arnauld Séjourné

le 22 Octobre 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"

Préparée sous la direction de

M. Jean-François Le Maréchal

au sein de l'équipe COAST

UMR 5612 GRIC (CNRS-Université Lyon 2)

Jury

Mme Andrée TIBERGHIEN	Présidente
M. Nicolas BALACHEFF	Rapporteur
M. Michel CAILLOT	Rapporteur
M. Pierre DILLENBOURG	Examinateur
M. Jean-François LE MARECHAL	Directeur
M. Zahed BAHNA	Directeur

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier Andrée TIBERGHIEN, directeur de recherche CNRS et directrice de l'équipe COAST, pour avoir accepté d'être la présidente du jury de soutenance et pour son soutien tout le long de la thèse. Merci Andrée pour m'avoir donné la possibilité de faire une thèse dans ton équipe et de m'avoir laissé goûter à la recherche.

Je remercie ensuite Nicolas BALACHEFF, directeur de recherches CNRS et directeur du Laboratoire Leibniz (Grenoble), et Michel CAILLOT, professeur à l'Université René Descartes, Paris 5, pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail et pour avoir accepté d'en être les rapporteurs.
Merci à Pierre DILLENBOURG, maître d'enseignement et de recherche à l'université de Genève pour son intérêt pour ce travail.
Je tiens à remercier Jean-françois LE MARÉCHAL, maître de conférence à l'Ecole Normale supérieure de Lyon et Zahed BAHNA, responsable de l'unité Physique Chimie au sein de la société Jeulin, pour leur encadrement et leur soutien tout au long de ses quatre années.

Enfin, cette thèse est comme une fleur qui s'est épanouie avec le temps et surtout avec le soutien des camarades d'école (in cit. Laurent « *Dadais* ») ; camarades présents pour discuter et aussi pour se laisser bercer par les lumières et les violons de la nuit. J'exprime ma gratitude aux membres du GRIC et tout particulièrement à ceux de l'équipe COAST. Merci à Françoise pour sa patience et sa gentillesse, à Jacques pour ses remarques judicieuses et son énergie, à Laurent et Christian pour leurs conseils, à Laurence pour sa patience au milieu de ses hommes. Je tiens à saluer Matthieu pour son soutien moral, et pour toutes les discussions diurnes et nocturnes surtout à la fin de la rédaction. Enfin, je porte un *special toast* à Michael Baker, « *Hey Old chap* » pour sa gentillesse, ses conseils, son soutien, sa musique, son ironie. Encore *merci* Michael.

Merci Bernadette, la Madame de la didactique, qui soutient les jeunes thésards dans leurs détresses et leurs incertitudes.

Pour terminer, je remercie toute ma famille et mes amis (fat, mimi, les deux soeurs, jérémie, Lali, ...) pour m'avoir supporté pendant ces longues années et souvent absent des grands évènements. Excusez l'égoïsme d'un apprenti chercheur ou d'un enfant gâté.
Merci à toutes les personnes que je n'ai pas citées et qui m'ont aidées et encouragées tout au long de ce travail.

Sommaire

Sommaire 3

Introduction 7

I. Démarche de la recherche 9

II. Organisation du document 9

Chapitre 1 : Problématique Hypermédias et Apprentissage 11

I. Conception d'un hypermédia 12

II. Conception de situations d'enseignement et d'apprentissage 15

III. Synthèse 16

PARTIE A : LE CADRE THÉORIQUE 19

Chapitre 2 Organisation conceptuelle et sémiotique d'un contenu d'enseignement 21

I. L'activité de modélisation 21

II. Les systèmes sémiotiques 27

III. En résumé : Sémiotique et Modélisation 31

Chapitre 3 Création d'un milieu interactif favorable à la résolution d'un problème 35

I. Tâche, activité et résolution 35

II. La théorie des situations 37

III. Que devient la résolution d'un problème ? 41

PARTIE B : CONCEPTION DE L'HYPERMÉDIA LABDOC "SON ET VIBRATIONS" 43

Chapitre 4 L'importance des choix didactiques dans la conception de l'hypermédia 45

I. Les TP SOC : A l'origine des séquences de TP dans l'hypermédia 45

II. "Transformation" informatique des éléments constitutifs d'une situation d'enseignement en classe pour créer un nouveau milieu 51

III. En conclusion 69

Chapitre 5 L'hypermédia "Labdoc Son et Vibrations" 71
I. Présentation globale 71
II. Présentation détaillée des lieux 76
III. Résumé....85

PARTIE C : MÉTHODOLOGIES D'ANALYSE ET ANALYSE DES DONNÉES RECUEILLIES 87

Chapitre 6 Méthodologies de recueil et d'analyse des données 89
I. Expérimentation et recueil de données....89
II. Méthodologies d'analyse des données recueillies....91

Chapitre 7 Analyse *a priori* des 4 séquences de TP 103
I. Analyse *a priori* du TP0 : Exercice d'introduction.... 103
II. Analyse *a priori* du TP1 106
III. Analyse *a priori* du TP2.... 130
IV. Analyse *a priori* du TP3 131
V. Analyse *a priori* du TP4.... 131
VI. Implication de cette analyse.... 132

Chapitre 8 Analyse globale 135
I. Observations globales de l'activité des 20 dyades 136
II. Analyse globale de chacune des séquences de TP.... 142
III. Conclusion & discussion.... 159
IV. Sélection de quatre dyades.... 161

Chapitre 9 Analyse locale des données recueillies 167
I. Y-a-t-il des relations entre les niveaux de savoir des contenus des tâches et ceux effectivement mis en œuvre par les élèves?.... 167
II. La structuration des contenus des tâches à partir de différents systèmes sémiotiques favorise-t-elle la construction du savoir ?.... 194

Chapitre 10 En quoi le milieu créé favorise t-il la résolution d'un problème par les élèves ? 217
I. En quoi les éléments de la situation peuvent-ils favoriser la construction de la réponse attendue ?.... 217
II. Existe-t-il un contrat implicite ou explicite entre les élèves et certains éléments du milieu ?..... 230
III. Conclusion sur le rôle du milieu 232

Conclusions et perspectives 233
L'apport du cadre théorique dans la conception de l'hypermédia 233
La méthodologie d'analyse 235

Synthèse des résultats 236
Limites et perspectives 239

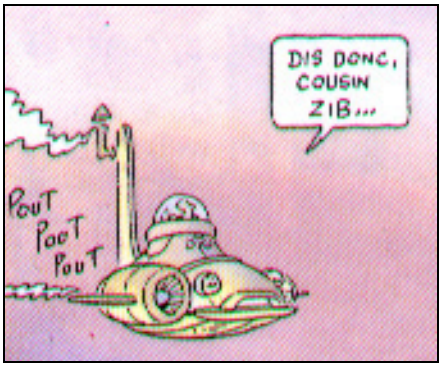
Bibliographie **241**

Table des matières **245**

Liste des figures **253**

Liste des tableaux **255**

Introduction



Zélub : "Dis donc cousin Zib …"
Zib : "Quoi donc cousin Zélub?"
Zélub : "As-tu déjà remarqué, cousin Zib ? Dans les films de science-fiction, quand on voit passer une fusée …, on entend toujours rugir son moteur !"
Zib : "Oui et alors ?"

Figure 1 : Extrait du Concombre Masqué (Mandryka, 1990, p. 5)

Cette petite histoire est bien banale, mais montre que l'on peut, sans y prendre garde, donner au son une propriété qu'il n'a pas, celui de se propager dans le vide. Comment imaginer qu'au passage d'un réacteur de fusée, il règne un silence absolu ? Comment bouleverser de telles idées ?
Une première réponse à ce constat consiste à dire qu'il faut remettre en question le sens commun en se référant au fonctionnement du physicien qui modélise le système qu'il étudie, puis qui fait parler son modèle. Toutefois ce n'est pas si simple et la didactique des sciences est bien placée pour en témoigner. En effet, l'une des préoccupations de ce champ de recherche consiste à étudier les rapports que les apprenants entretiennent avec les savoirs lors d'un enseignement donné dans l'objectif de déterminer les conditions et la nature des apprentissages en jeu. En d'autres termes, l'une des vocations de la recherche en didactique est d'élaborer des outils pour favoriser l'apprentissage des savoirs en jeu dans un enseignement donné, c'est-à-dire dans la bande dessinée, aider Zib à comprendre le questionnement de Zélub.
Ainsi, nous pouvons nous demander si l'enseignement du son proposé dans le programme de seconde prend en compte les difficultés des élèves ?

Une étude réalisée par le bulletin de l'union des physiciens (n°788, 1996, p. 9) met en évidence que cette partie du programme pose des problèmes aux enseignants car elle est difficile à enseigner et à comprendre par les élèves. Il en résulte que 10 % des enseignants demandent la suppression de cette partie et 19% une diminution de l'horaire qui lui est attribué. Pourtant, les élèves apprécient cet enseignement. Cela montre que les enseignants ne semblent pas posséder les outils nécessaires pour favoriser la compréhension des phénomènes sonores aux élèves. En juillet 1999, cet enseignement a été retiré du programme de seconde à l'occasion d'une réforme des programmes.

A partir de 1995, à l'occasion d'un projet de recherche et de développement (nommé SOC), un groupe de chercheurs, enseignants du secondaire et d'inspecteurs pédagogiques régionaux (I.P.R) a travaillé à l'élaboration de séquences d'enseignement dont celles traitant de la partie "Sons et ultrasons" du programme de Seconde. L'originalité de ces séquences tient principalement au fait qu'elles prennent en compte les difficultés et les conceptions des lycéens et favorisent la mise en relation des événements perçus auditivement (ou visuellement) avec les théories en jeu.
L'élaboration de ces séquences d'enseignement a donné naissance au travail de recherche dont il est question dans cette thèse. Son objectif est de porter ces séquences sur un support informatique de façon "rationnelle", c'est-à-dire en utilisant les résultats de recherche en didactique et dans les disciplines connexes, dans le but de comprendre la relation entre l'organisation des contenus présents dans l'hypermédia ainsi constitué et l'apprentissage qui va résulter de son utilisation.

Ce travail de recherche a devancé la demande institutionnelle de mettre les technologies de l'information et de la communication au service de "*l'innovation et l'amélioration de la qualité de l'éducation*" (Rapport de la commission au conseil et au parlement européen, 2000, p. 5). Notre travail prend à contre-pied l'évolution naturelle de l'utilisation des nouvelles technologies dans les classes de sciences physiques qui se limite principalement à la réalisation d'expériences assistées par ordinateur (EXAO). Ce moyen, facilitant l'acquisition ou le traitement de valeurs issues de mesures, prolonge naturellement la pratique expérimentale d'une telle discipline scientifique mais ne prend pas toujours en compte l'apprentissage des savoirs en jeu. L'usage des simulations, de micro-mondes, des hypermédias, de l'Internet reste encore un cas d'espèce. Cela peut s'expliquer du fait qu'ils nécessitent la mise en place et la maîtrise de la part de l'enseignant de nouvelles séquences d'enseignement auquel il n'a pas été formé.
Notre travail se réfère à un questionnement actuel sur la *structuration* des informations et des tâches proposées dans un hypermédia ou sur un site Web (voir par exemple les actes du colloque *Hypermédia* et *Apprentissages*, 2001). De ce fait, la conception de cet hypermédia nécessite d'envisager une méthode pour à la fois conserver la structure initiale de chaque séquence de TP en tenant compte des caractéristiques du support informatique (taille de l'écran, diverses possibilités de présentations de l'information, liens hypertextes, etc.), et prendre en charge une partie du rôle actif de l'enseignant dans l'apprentissage de l'élève : l'institutionnalisation des connaissances, l'organisation des activités, l'aide dans la démarche de résolution de problèmes... Il s'ensuit une étude de l'activité effective des élèves lors de l'utilisation l'hypermédia.

L'objet de ce travail est donc de rechercher une manière d'*organiser les informations* dans un hypermédia en vue de proposer une démarche autonome d'apprentissage des élèves. Il s'agit d'organiser et de présenter les savoirs selon la tâche que les élèves seront amenés à réaliser, diversifier les modalités de présentations de ces savoirs, entretenir et guider la résolution de problème par la conception d'aide et de systèmes d'évaluation adaptés. Nous étudions ensuite comment les élèves l'utilisent.

I. Démarche de la recherche

Ce travail réalisé dans le cadre d'une convention Cifre, a débuté par la conception d'un hypermédia dédié à l'enseignement du son en Seconde "Labdoc Son et Vibrations". Ce projet a nécessité la collaboration entre une équipe de recherche (COAST, UMR 5612 GRIC) et la société Jeulin. La mise en œuvre et la conception des situations d'enseignement centrées sur l'activité expérimentale (cinq séquences de travaux pratiques sont proposées dans l'hypermédia) ont donc rassemblé des compétences multiples : informaticiens, infographistes, chercheurs en didactique et enseignants. Cette conception de situations d'enseignement visant l'apprentissage à partir de nouvelles technologies s'inscrit dans le domaine de l'ingénierie didactique (Artigue, 1988), l'hypermédia élaboré donnant lieu à une étude de l'activité des élèves.

L'hypermédia a été ensuite proposé à des élèves de Seconde dans le cadre des enseignements sur le son. L'objectif est d'étudier la réalisation de ces séquences d'enseignement de travaux pratiques (TP) sur support informatique par 20 dyades de classe de Seconde provenant de trois lycées différents. L'analyse a nécessité, d'une part l'élaboration d'un module de traçage afin d'enregistrer automatiquement les actions des élèves au niveau de l'interface et d'autre part, la réalisation d'enregistrements audio et vidéo. De plus, douze dyades sur les vingt ont réalisé les mêmes séquences de TP sur l'hypermédia accompagnées du matériel expérimental habituellement confié aux élèves lors de TP traditionnels. Les données recueillies sont donc deux types : une trace informatique et les enregistrements audio et vidéo des productions des élèves.

Le recueil a donné lieu à la mise en œuvre de deux types d'analyse : une *analyse globale* dont l'objectif est d'une part de mettre en évidence des fonctionnements communs relatifs aux différentes dyades et d'autre part de sélectionner quatre dyades pour réaliser une analyse plus fine. Cette seconde analyse, que nous appelons locale, étayée des transcriptions des verbalisations des élèves, est réalisée dans le but de répondre à notre question : *Quelle peut être l'influence de l'organisation des informations selon les savoirs, les représentations de ces savoirs et les éléments de la situation sur l'activité des élèves ?*

II. Organisation du document

Ce document est organisé en trois parties. Notre démarche permet d'apprécier comment, à partir d'un même cadre théorique (Partie 1), nous avons à la fois élaboré l'hypermédia (Partie 2) et analysé les activités des élèves (Partie 3).

Le chapitre 1 relatif à la problématique de la thèse, met en évidence le positionnement de la didactique de la physique dans la conception d'hypermédia comparés aux divers travaux de recherche (en psychologie cognitive, en ergonomie). De cette présentation émergent nos questions de recherche.

Les deux chapitres de la première partie décrivent le cadre théorique de conception de l'hypermédia et d'analyse des activités des élèves. Le chapitre 2 présente les principaux "outils théoriques" en rapport avec notre problématique d'organisation du savoir à enseigner : l'activité de modélisation dans l'enseignement de la physique (Tiberghien, 1994) et les systèmes sémiotiques (Duval, 1995 ; Ainsworth & al., 1996). Le chapitre 3 décrit les éléments théoriques permettant la création d'un milieu

informatique qui particularise les rôles de l'enseignant et de l'enseigné relativement au savoir en jeu (Brousseau, 1998).
Les deux chapitres de la deuxième partie sont consacrés à la conception de l'hypermédia à partir du cadre théorique. Le chapitre 4 décrit la mise en œuvre du cadre théorique pour la transformation des TP format papier en ceux proposés dans l'hypermédia. Le chapitre 5 présente l'hypermédia finalisé du point de vue de la navigation et de l'organisation des contenus.
Les cinq chapitres de la troisième partie, qui portent sur l'activité des élèves, présentent les méthodologies utilisées, l'analyse *a priori* et les analyses des données recueillies. Le chapitre 6 décrit la méthodologie expérimentale et la méthodologie d'analyse de l'activité des élèves. Le chapitre 7 présente l'analyse *a priori* des tâches que les élèves vont réaliser au cours des cinq séquences de TP. Les chapitres 8, 9 et 10 exposent les analyses des données obtenues à partir de la trace informatique et de la transcription des verbalisations des dyades sélectionnées. De chacune de ces analyses des conclusions s'imposent sur l'influence de l'organisation des contenus sur l'activité des élèves.

En conclusion, nous rappellerons les résultats obtenus au cours de ces deux analyses et nous discuterons de la pertinence d'une telle recherche dans le cadre de la conception d'environnements multimédias d'apprentissage soutenus par l'hypertexte.

Chapitre 1 : Problématique Hypermédias et Apprentissage

Le terme hypermédia *"a été introduit, surtout par la presse, pour insister sur l'aspect multimédia de certaines applications hypertextes"* (Nanard, 1994, p. 9). Un hypertexte (étymologiquement "plus que du texte") est un système d'informations basé sur des documents (fiches de texte, images, dessins, animations, sons, etc.) interconnectés par des liens permettant une lecture non linéaire laissée à l'initiative de l'utilisateur. En fait, l'hypertexte est *"un système d'aide à la structuration* (pour le concepteur) *et à l'accès à d'importants volumes de données* (pour l'utilisateur)*"* (Bruillard et de La Passardière, 1998, p. 97) c'est-à-dire qui *"aide les humains dans une tâche de lecture active en apportant l'information pertinente selon le contexte de lecture passé et présent"* (Nanard et Nanard, 1998, p. 16).
Concevoir un tel système nécessite, entre autres, de prendre en compte l'utilisateur pour éviter une approche dirigée uniquement par les documents, de fournir les informations pertinentes selon le contexte d'utilisation et de proposer des outils de navigation adéquats pour aider l'utilisateur dans la lecture et la compréhension des documents[1]. Cette conception ne peut donc se faire sans la collaboration d'acteurs aux compétences diversifiées et complémentaires (Choplin 1998 ; Nanard et Nanard, 1998) aux vues des *difficultés* relatives à la présentation des informations, à la navigation, à la lecture des documents, etc. Pour résoudre ces difficultés, nous nous inspirons des résultats de recherche en psychologie cognitive et en ergonomie.

Bruillard et de La Passardière (1998, p. 97), lors d'un état des lieux de l'usage de l'hypertexte dans l'éducation, précisent que l'hypertexte *"n'est pas un instrument éducatif en soi, mais il intervient dans diverses activités à caractère éducatif"* qui sont : (1) accéder à des bases de documents et s'y promener, (2) créer, baliser, structurer des bases de documents, (3) utiliser des environnements d'apprentissage intégrant l'hypertexte. Parmi ces différentes formes d'activités, nous nous situons dans le cadre de notre travail de thèse dans le dernier cas : *"utiliser des environnements d'apprentissage intégrant l'hypertexte"*.
Cependant, la conception d'un hypermédia, dédié à l'enseignement et à l'apprentissage (dans notre cas de la physique), pose le problème des contenus proposés à l'utilisateur. En effet, *dans quelle mesure*

[1] Voir pour plus de détails les cinq axes de l'espace de conception de Nanard et Nanard, 1998, p. 19.

les contenus construits et organisés par le concepteur peuvent-ils favoriser l'acquisition de connaissances par l'utilisateur ?
Le concepteur est donc amené à analyser le savoir à enseigner (en accord avec le programme officiel), puis à le transformer en savoir enseigné. Cette transformation donne lieu à la mise en place de situations d'enseignement et d'apprentissage dans lesquelles l'apprenant doit être autonome. *Comment alors organiser les contenus dans la perspective que les élèves "apprennent" d'une manière autonome ?*

Ainsi, la conception d'un hypermédia dédié à l'enseignement de la physique conduit à un problème double : l'un lié à la conception en elle-même de l'hypermédia et l'autre lié à l'élaboration du contenu en vue de son apprentissage d'une manière autonome.

I. Conception d'un hypermédia

Cette section décrit, à partir de travaux de recherches en psychologie cognitive et en ergonomie, différents problèmes rencontrés par les utilisateurs d'hypermédias ainsi que les solutions proposées par les concepteurs.

I.1. La navigation des utilisateurs

Dans une revue de la littérature portant sur la navigation[2], Tricot (1993, p. 21) précise que c'est un problème "*primordial*" qui est "*loin d'être résolu*" et "*que l'on ne peut se permettre d'ajouter un problème de navigation au problème de l'acquisition de connaissances*". Les principaux problèmes liés à la navigation concernent la *désorientation* de l'utilisateur et la *surcharge cognitive*.
La désorientation de l'utilisateur ("*Getting lost in space*", Conklin, 1987, p. 38) résulte de l'organisation complexe des informations (à l'inverse d'une organisation linéaire) qui conduit à ne plus savoir où l'on est dans le réseau d'hypertexte ou ne pas savoir comment accéder à un document existant (Conklin, 1987, p. 38). Foss (1988), d'après Tricot (1993, p. 22) souligne que cette désorientation peut aussi s'exprimer sous la forme : *"arriver à un endroit et ne plus savoir pourquoi on est là, oublier quelles sélections on a fait précédemment, ne pas être capable de se représenter une vue d'ensemble ou un résumé cohérent de ce que l'on vient de voir"*, etc.
Quant à la surcharge cognitive, elle est liée à l'effort et à la concentration nécessaire pour maintenir différents travaux ou chemins en même temps et à l'absence de signification des liens proposés à l'utilisateur (Conklin, 1987, p. 39).
Pour éviter ces problèmes, Bruillard et de La Passardière (1994, p. 22-23) proposent trois types d'aide :

- Les aides ponctuelles : elles permettent de comprendre le contenu du nœud courant et de décrire succinctement la destination des liens présents dans le document.
- Les aides spatiales et structurelles : elles fournissent des informations sur l'ensemble des documents proposés et sur son organisation ce qui permet à l'utilisateur de s'orienter dans le réseau.
- Les aides historiques : elles permettent de savoir ce qui a déjà été vu et ce qui reste encore à voir.

[2] Déplacement de l'utilisateur à travers un réseau de lien

Le problème de la navigation dans un hypermédia dédié à l'apprentissage conduit à nous poser la question suivante : Peut-on amoindrir le phénomène de désorientation et de surcharge cognitive de l'utilisateur en élaborant l'architecture de l'hypermédia en fonction de la nature du contenu (cours, article de dictionnaire, résumé sous la forme de fiche, …) et des actions de l'utilisateur liées à ces contenus ?

I.2. La lecture et la compréhension des informations

I.2.1. Le lecteur d'hypertexte

Rouet (1997) présente les difficultés d'un lecteur occasionnel ou débutant dans un système hypertexte dont les modes d'organisation et de lecture des informations diffèrent d'un texte imprimé. Il conteste l'idée que *"l'utilisation d'hypertextes faciliterait automatiquement la recherche et la sélection d'informations en fonctions des besoins et des objectifs des apprenants et, par conséquent, les mécanismes de la construction des connaissances."* Ainsi, l'auteur pointe trois difficultés lors de la lecture d'un hypertexte qui peuvent être dues à un manque :

- de cohérence locale : L'hypertexte permet au lecteur de faire des sauts d'un thème à l'autre sans que la cohérence locale soit nécessairement maintenue d'une page à l'autre comparée à celle d'un texte imprimé où les idées sont présentées linéairement. Le lecteur devra donc faire un effort pour relier le passage du texte présenté sur la nouvelle page avec celui lu précédemment. L'auteur conseille de réaliser des ajouts de "soudure" entre les pages d'origine et de destination qui repose sur une méthode d'analyse sémantique.
- de cohérence globale : Les dispositifs tels que la table des matières, l'index ou la pagination permettent au lecteur d'un texte imprimé d'avoir une idée globale de l'organisation du texte imprimé. Dans un hypertexte, la structure des documents n'est pas connue de l'utilisateur ce qui pose alors des problèmes de désorientation ou de noyade dans l'information. Pour pallier à cette difficulté, l'auteur propose l'utilisation de cartes conceptuelles qui permettent d'avoir une représentation graphique de l'organisation des concepts.
- de familiarisation : Le format de présentation des informations dans un hypertexte et l'inadéquation possible des stratégies de lecture nécessitent un apprentissage particulier des lecteurs débutants ou occasionnels tels que les élèves.

I.2.2. L'organisation des informations

I.2.2.1. L'ergonomie des textes sur l'écran

Dans une revue de la littérature, Caro et Bétrancourt (1998) présentent des résultats expérimentaux à propos des effets de la disposition des informations sur l'écran en ce qui concerne l'espace et la densité informative, la couleur, la typographie, la ponctuation, les attributs vidéo, le multifenêtrage du texte, l'escamot. De plus, ils accompagnent chacun des résultats de recommandations pratiques pour organiser ces informations sur un écran.

I.2.2.2. Exemple : Ergonomie des documents multimédias

D'après la revue de la littérature de Caro et Bétrancourt (1998, p. 135), la figure doit apparaître avant ou au cours du texte afin de fournir "des bénéfices" à la lecture. Les auteurs supposent que cela relève plus d'un effet attentionnel que mnésique. Ensuite, les auteurs précisent que pour favoriser les

connections entre un texte et une figure, il est important que ces deux modalités soit à proximité l'une de l'autre, Cela permet d'éviter un partage de l'attention qui requiert alors un coût cognitif élevé. Enfin, ils recommandent que les informations verbales (sur le mode auditif) et visuelles coréférentes (figure, texte) soient diffusées au même moment.

I.2.3. Les icônes de logiciels et d'environnements informatiques

Peraya (1998) s'intéresse à la structure et au fonctionnement sémiotique des icônes de logiciels et d'environnements informatiques (ILEIS). L'hypothèse générale de ce travail de recherche est qu'un marquage visuel constitue une aide efficace à la mémorisation et à la recherche de l'information : il permet au lecteur de mieux s'orienter dans le document, d'identifier, de sélectionner et d'extraire l'information pertinente et il est un moyen mnémotechnique pour accéder aux logiciels ou à leur fonction. Dans une perspective pédagogique, le questionnement de l'auteur porte sur la mise en place de méthodes qui permettraient que les icônes réalisées soient plus compréhensibles, plus fonctionnelles et plus adaptées aux utilisateurs.

I.2.4. En résumé

Ces travaux de recherche posent le problème de l'organisation des informations au niveau d'une interface dans le but d'aider les utilisateurs à lire, à faire des connections entre les informations de nature différentes, … mais cela laisse supposer que les contenus soient déjà élaborés !

I.3. Quelles aides proposées pour soutenir la résolution d'un problème

Pour Dufresne (2001, p. 11), l'aide doit s'intégrer dans la tâche sans distraire ou déranger, elle doit guider, encourager à l'action et à la réflexion et non pas répéter le contenu présent à l'écran. Ces qualités sont-elles suffisantes pour "inciter" les utilisateurs à s'en servir ?

I.3.1. Pertinence, accessibilité, contextualisation

Dans le cadre d'une formation à distance à partir d'un hypermédia, De Lièvre et Depover (2001) observent l'apport de deux modalités du tutorat dans l'utilisation de différentes aides par les apprenants : réactif (réaction à une demande de l'utilisateur) et proactif (intervention volontaire du tuteur pour aider l'apprenant). Ils se rendent compte que la proactivité a pour effet d'augmenter l'usage des outils d'aide : elle donnerait à *"l'apprenant le sentiment d'être suivi en le stimulant à rester en état de veille cognitive et à exploiter les aides mises à disposition"* (De Lièvre et Depover, 2001, p. 273). D'après leur expérimentation, il semble que l'usage des différentes aides ne dépend pas uniquement du comportement du tuteur, mais des caractéristiques intrinsèques des aides qui sont :

- la pertinence : répondre à un besoin de l'apprenant,
- l'accessibilité : éviter une recherche longue des informations,
- la contextualisation : mettre à jour les informations selon l'évolution des apprenants dans le logiciel.

Enfin, ils supposent que ces caractéristiques peuvent ne pas être suffisantes pour inciter les élèves à utiliser les aides : *"l'une des raisons de leur faible utilisation peut être attribuée au fait que les apprenants ont des difficultés à anticiper le type d'information que certaines formes d'aide vont leur apporter et que, en raison de ces difficultés, ils hésitent à les utiliser"*.

I.3.2. Contextualiser les aides à la résolution d'un problème

Scherly & al. (1998) s'aperçoivent que durant la résolution d'un problème à partir d'un laboratoire simulé "Virolab" intégrant un hypertexte, les étudiants consultent peu l'hypertexte pendant la résolution du problème. Ce résultat est intéressant car il montre que la présence d'une aide informationnelle n'est pas suffisante pour motiver les élèves à modifier leurs stratégies de résolution lorsque ces derniers ont les connaissances suffisantes pour résoudre le problème. Au vu de ce résultat, les auteurs s'interrogent sur les modifications à apporter à leur logiciel pour inciter les étudiants à se référer à l'aide lors de la résolution d'un problème :

- Faut-il incorporer plus de connaissances déclaratives autour de la tâche (dans les feed-back par exemple), et non hors de la tâche ?
- Faut-il créer des liens directs et impératifs avec la documentation de l'hypertexte ou bien des liens mentionnés mais dont l'activation est laissée au libre choix de l'utilisateur ? Il s'agirait ainsi de contextualiser l'aide dans le cadre de la tâche à réaliser.

I.3.3. En résumé

Cette dernière section conduit à se poser la question suivante : où placer les aides sur l'interface pour favoriser leurs sélections par les apprenants lors de la réalisation d'une tâche donnée ? Quelles informations doit-on proposer aux élèves dans une aide lors de la réalisation d'une tâche donnée ?
Cette dernière question étend le questionnement de la conception du système à celle des contenus à proposer à l'utilisateur. Dans la section suivante nous présentons différentes difficultés que l'on peut rencontrer lors de la construction d'un contenu d'enseignement en sciences.

II. Conception de situations d'enseignement et d'apprentissage

Comme nous l'avons introduit précédemment, du point de vue de la didactique des disciplines scientifiques la conception d'un hypermédia dédié à l'enseignement et l'apprentissage des sciences pose le problème de l'élaboration et de l'organisation des contenus présentés à un utilisateur qui dans notre cas est un apprenant. Deux questions principales se posent au concepteur :

- Quel savoir choisir dans la perspective de créer une situation d'apprentissage ?
- Comment le mettre en scène ?

II.1. Le savoir et l'apprenant

Lors de l'élaboration d'une séquence d'enseignement en science, nous considérons qu'il est nécessaire de vérifier (Tiberghien, 1994b ; Buty, 2000 ; Vince 2000) :

- La cohérence entre les modèles en jeu et les activités expérimentales. Comme le précise Tiberghien (1994, p. 142), *"selon l'expérience choisie, l'apprenant ne construit pas le même sens au savoir en jeu même si les mêmes formules physiques sont utilisées"*. Il va s'agir de vérifier que les activités expérimentales proposées sont suffisamment proches du domaine de fonctionnement et de pertinence du modèle à construire (Vince, 2000).

- La pertinence des savoirs proposés compte tenu des difficultés des élèves et de la manière dont ils "apprennent" la science. D'après Tiberghien (1994b, p. 142), le savoir à enseigner ne devrait pas

être éloigné de ce que les apprenants peuvent comprendre : une adaptation de ce savoir est nécessaire pour le rendre "appropriable" par les élèves. Cette adaptation est rendue possible en étudiant, par exemple, la manière dont les élèves interprètent les situations expérimentales et celles de la vie quotidienne. Une telle analyse donne l'occasion d'identifier des *"notions intermédiaires"* (Baker et Tiberghien, 1999) qui sont importantes dans l'acquisition du savoir par l'élève comme la "notion de vibration" dans l'enseignement du son.

II.2. La mise en scène du savoir à enseigner

La seconde difficulté rencontrée concerne la mise en scène des savoirs lors de la création des situations d'apprentissage. Elle consiste en la construction explicite de situations d'enseignement et d'apprentissage relatif au savoir à enseigner préalablement *"analysé"* (Tiberghien, 1997). L'élaboration des situations d'apprentissage dans l'hypermédia, doit conduire le concepteur à élaborer :

- une progression du savoir à enseigner,
- des activités variées à partir desquelles les élèves seront amenés à donner sens au savoir en jeu,
- des activités utilisant la diversité des formats de présentation (image, vidéo, graphique, simulation, etc.) dans l'objectif de favoriser la "compréhension" des concepts en jeu,
- des situations d'enseignement et d'apprentissage "interactives" favorisant la réalisation autonome des tâches : l'enseignant n'étant pas là pour mettre en scène le savoir enseigné, guider les élèves …

Ainsi, nous considérons que l'élaboration et l'organisation des contenus par le concepteur nécessitent une analyse fine du savoir à enseigner des points de vue de sa cohérence et des difficultés des élèves et également une analyse du rôle de l'enseignant lors de la mise en scène du savoir enseigné.

III. Synthèse

La conception d'un hypermédia requiert de s'intéresser à différents domaines de recherches qui concernent la conception informatique du système, l'ergonomie des interfaces et l'élaboration d'un point de vue didactique des contenus. Les deux premiers points ne feront pas l'objet d'un questionnement de notre part : nous nous limiterons à intégrer et adapter, lors de la conception de l'hypermédia "Labdoc Son et Vibrations", les résultats des recherches en psychologie cognitive et en ergonomie.

La problématique de notre recherche se focalise en revanche sur l'organisation des contenus proposés dans l'hypermédia et ceci dans un objectif d'apprentissage. Les questions de recherche relatives à cette problématique sont les suivantes :

Comment organiser les tâches proposées aux élèves pour aider ces derniers à les réaliser d'une manière autonome en dépassant leurs difficultés et en élaborant de nouvelles connaissances ? Cette organisation va reposer sur une analyse du savoir à enseigner, du fonctionnement des élèves et du rôle de l'enseignant.

Quelle est l'influence de cette organisation sur l'activité des élèves ? L'objectif est d'évaluer la méthodologie de conception :

- en analysant à partir d'une trace informatique, le comportement des élèves par rapport à la progression de la séquence
- en comparant, à partir des transcriptions, l'activité effective des élèves à celle prévue,
- en analysant l'évolution des connaissances mises en œuvre par les élèves lors de la réalisation des tâches successives.

Le cadre théorique qui suit présente les différents "outils" théoriques à partir desquels nous avons à la fois organisé les contenus des tâches proposées dans l'hypermédia et analysé l'activité des élèves.

Partie A : Le cadre théorique

Chapitre 2
Organisation conceptuelle et sémiotique d'un contenu d'enseignement

L'objectif de ce chapitre est de décrire les deux "outils théoriques" à partir desquels nous avons analysé les contenus de quatre séquences de travaux pratiques dans le but d'élaborer une nouvelle mise en scène adaptée au format de présentation d'un hypermédia. Nous nous intéressons à déterminer les conditions qui pourraient favoriser l'activité de modélisation des apprenants ainsi que l'utilisation par ces derniers des systèmes sémiotiques selon l'organisation du contenu de la tâche proposée. Nous présentons successivement ces deux outils ainsi que leur implication lors de la conception de l'hypermédia.

I. L'activité de modélisation

Le choix fondé sur la modélisation permet d'analyser à la fois les savoirs en jeu dans les situations d'enseignement et l'activité des élèves dans deux perspectives que sont l'apprentissage et l'enseignement de la physique. Cette section repose principalement sur les travaux de Tiberghien (1994a, 1999), Vince (2000) et Buty (2000).

I.1. Intérêt de la modélisation

Pour Tiberghien (1999), 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 d'une part celui de la théorie-modèle correspondant aux systèmes explicatifs de l'individu qui fournit l'explication et d'autre part celui des objets et des événements. Il établit donc des liens entre les objets ou les événements et ses propres systèmes explicatifs.

D'après Buty (2000), les systèmes explicatifs que l'élève construit et met en œuvre, dépendent non seulement de la situation[3] expérimentale dans laquelle il est placé mais aussi de ses acquis antérieurs (ou "théorie(s) préexistante(s)"). Ces systèmes explicatifs sont constitués d'éléments cognitifs stables (Buty, 2000), en particulier le raisonnement causal linéaire (Viennot, 1993). Par exemple, pour

[3] Pour Buty (2000), la situation expérimentale est constituée du dispositif expérimental, de la consigne, des informations mises à la disposition des élèves.

certains élèves, le son cause la vibration de la source de son et non l'inverse. Ces systèmes explicatifs peuvent ainsi ne pas faire sens du point de vue de la physique.

I.2. Activité de modélisation

Tiberghien (1994) explicite l'importance d'une construction théorique pour interpréter ou prédire un fait en physique ou dans la vie quotidienne. L'auteur considère que cette construction met en jeu une activité de modélisation. Elle consiste à mettre en relation le monde des objets et événements et le monde des théories-modèles. Comme le précise Vince (2000, p.111), lors de cette construction, *"les théories naïves, les structures conceptuelles ou causales "quotidiennes" ou encore la connaissance de modèles dans d'autres domaines interviennent dans l'acte de modéliser, aussi bien pour le novice que pour l'expert. En conséquence, il nous paraît essentiel de considérer que l'activité de modélisation implique en fait des allers-retours constants entre les deux mondes".*

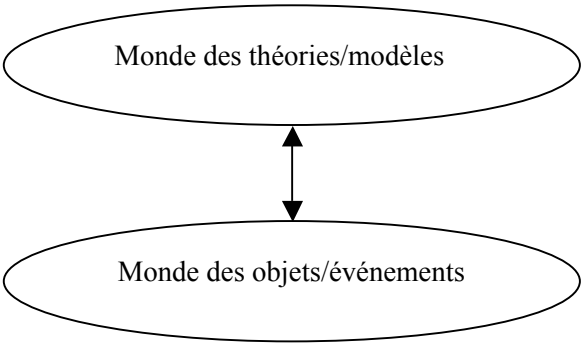


Figure 2 : Activité de modélisation

Ce processus met en jeu trois principaux niveaux de savoir que sont la théorie, le modèle et le champ expérimental (Tiberghien, 1994) :

- 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, il s'agit du champ expérimental qui comprend les faits expérimentaux, les objets et les événements associés à des expériences et les prises de mesure.

A ces niveaux correspondent des descripteurs du savoir mis en jeu dans le processus de modélisation. Le terme "niveau" utilisé ici 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, p. 18). L'hypothèse sous-jacente à cette activité réside en ce que les concepts de physique prennent leur sens dans la mise en relation entre le niveau du modèle et du champ expérimental. D'après Tiberghien (1999), ces niveaux rendent possible la comparaison des démarches de modélisation impliquées dans le savoir enseigné et celle (s) que l'élève met en œuvre.

I.3. Hypothèses d'apprentissage

Lors de tâches d'explication, de prédiction ou d'interprétation, nous supposons que la construction du sens d'un concept se fait en partie par les mises en relation que l'apprenant construit entre le niveau du champ expérimental et le niveau de la théorie-modèle.

Toutefois, l'une des principales difficultés des élèves réside en ces mises en relations. Par exemple, dans le cadre d'un travail de recherche à propos de l'enseignement de l'énergie, Bécu-Robinault (1997) a souligné la difficulté des élèves à utiliser les niveaux de savoir prévus par une analyse *a priori* fine des tâches proposées et qui ne sont pas présents dans la consigne. L'auteur (Becu-Robinault, 1997, p. 229) a identifié que :

- *"lorsque la question ne relève que du niveau du modèle physique, les élèves ne mettent en œuvre que ce niveau"*,
- *"Lorsque la question met en jeu d'autres niveaux de modélisation* (dont celui des objets et des événements)[4]*, cela n'est pas suffisant pour que les élèves mettent en œuvre les niveaux du monde des choses".*

Pour pallier à ce fonctionnement, elle propose que le but de la question doit relever des niveaux de savoir relatif au monde des choses ou que l'enseignant incite ses élèves à modifier leur niveau de description.

Tiberghien et Megalakaki (1995, p. 370) donnent deux raisons à ces difficultés :

- *"La mise en relation nécessite de traiter simultanément plusieurs types de représentations : au moins l'une dans les termes des objets et événements et l'autre dans les termes des grandeurs physiques et de leurs relations*".
- *"La théorie consiste en un système explicatif du monde, et il est donc très coûteux de le modifier ou de l'acquérir. Il est plus facile pour les élèves de modifier quelques aspects du modèle pour le rendre compatible avec leurs interprétations de chaque situation expérimentale. Toutefois, l'acquisition de la théorie est cruciale et donne sa signification à l'articulation entre modèle et champ expérimental".*

Pour favoriser l'articulation entre les éléments des mondes "théories/modèles" et "objets/événements", Vince (2000, p. 72) considère qu'il faut les dissocier :

"Si cette imbrication ne pose généralement pas de problème au physicien, elle peut être un obstacle à l'apprentissage de la physique par l'élève. Dans une optique d'enseignement et d'apprentissage, il faudra pouvoir désimbriquer ces éléments pour pouvoir proposer à l'élève des éléments d'ordre théorique qu'il mettra en relation avec les objets événements". Cette dissociation implique la sélection de situations expérimentales qui doivent être cohérentes avec le modèle en jeu afin de favoriser l'activité de modélisation.

I.4. Activité de l'élève au cours de la modélisation

Nous considérons que le processus d'apprentissage relatif au fonctionnement de l'élève lors d'une démarche de modélisation s'inscrit dans le courant de pensée constructiviste : *"l"activité intellectuelle*

[4] C'est nous qui rajoutons.

de l'élève est centrale dans le processus d'apprentissage" (Lemeignan et Weil-Barais, 1993, p. 20). D'après ces auteurs, cette démarche nécessite *"trois activités intellectuelles fondamentales"* : la sélection de l'information, l'assimilation des informations et l'accommodation des structures cognitives.

- Lors de la sélection des informations, l'élève va retenir celles dont il perçoit la *"valeur d'usage"*. Ces informations peuvent avoir un intérêt pour l'élève et ne pas correspondre en revanche à celle que l'enseignant attend. De ce fait, *"si l'élève n'a pas eu l'occasion* ***de prendre conscience*** *et d'expliciter les idées qu'il a, s'il n'a pas été invité* ***à prendre en compte***[5] *clairement la différence entre ce qu'il pense et ce qu'on lui expose, il pourra continuer à ignorer des informations qu'on lui transmet"* (Lemeignan et Weil-Barais, 1993, p. 20). Comme le précisent ces auteurs, la prise en compte de l'activité de l'élève implique lors de la conception d'une tâche de s'intéresser :
  - aux informations nouvelles minimales que l'élève doit prendre en compte,
  - aux situations qui donnent lieu à leur investissement.

De notre point de vue, prendre en compte les informations que les élèves sélectionnent (on non) durant la réalisation d'une tâche permet d'interpréter certaines des difficultés des élèves relatives à l'activité de modélisation. En effet, cette activité consistant en la mise en relation entre des informations relatives aux deux mondes présentés précédemment, il est alors possible d'apprécier au cours de la réalisation d'une tâche la nature des relations construites *via* les informations sélectionnées par les élèves et d'identifier alors la manière dont les élèves leurs donnent sens.

- Lors de l'assimilation de l'information, celle-ci est transformée pour pouvoir être intégrée aux structures cognitives existantes. Les auteurs proposent alors de faire prendre conscience à l'élève des limites de la fonctionnalité de son système explicatif et de lui faire alors emprunter d'autres fonctionnements et d'autres modes d'interprétation. Ce changement perturbe alors la structure cognitive de l'élève.

- L'accommodation des structures cognitives de l'élève nécessite des conditions nécessaires d'après Lemeignan et Weil-Barais (1993) qui sont :
  - la réception des informations de la part de l'élève,
  - l'acceptation de la part de l'élève de ce qu'il le dérange,
  - la confiance de l'élève en ses capacités intellectuelles,
  - la confiance en son professeur.

Cependant les auteurs précisent que les changements des structures cognitives des élèves sont progressifs et s'effectuent sur une très longue durée.

Nous considérons que dans le cas de l'accommodation, les élèves peuvent éprouver des difficultés à réaliser la modélisation attendue. Nous faisons l'hypothèse que dans ce cas, les relations élaborées par les élèves peuvent relever d'informations attendues (proposées aux élèves) mais ne pas être cohérentes du point de vue de la physique. Ces relations peuvent refléter l'évolution des stuctures cognitives des

[5] C'est nous qui soulignons.

élèves aux cours de la réalisation des différentes tâches tant que ces derniers ne se sont pas appropriés les informations proposées.

Suite à cette présentation succincte des *"trois activités intellectuelles fondamentales"* d'un apprenant, nous reprendrons seulement les activités de sélection et d'accommodation. En effet, il nous semble difficile d'estimer l'activité d'assimilation des élèves puisque cela nécessite au préalable de connaître les structures cognitives des élèves et la manière dont il transforme les informations.

Ainsi, nous proposons d'articuler les deux activités cognitives de l'élève, la sélection et l'accommodation avec l'activité de modélisation des élèves en tenant compte des hypothèses d'apprentissage citées précédemment :

- dans le cas où les élèves *sélectionneraient* les informations que nous avons qualifiées d'attendues dans l'analyse *a priori,* les niveaux de savoir et les relations élaborées concorderaient avec ceux attendus. Par conséquent, nous supposons que les informations proposées permettent aux élèves de construire du sens relatif au savoir en jeu. Dans le cas inverse, nous aurons la possibilité d'apprécier les difficultés des élèves à prendre conscience ou à prendre en compte ces informations. Il sera alors intéressant d'étudier ce qui, dans la tâche proposée, peut donner lieu à un tel fonctionnement.
- dans le cas où les élèves *accommoderaient* leur structure cognitive, nous pensons qu'ils élaboreront des relations entre les niveaux attendus. Cependant, la connaissance en jeu peut ne pas être celle attendue étant donné que les changements des structures cognitives sont progressifs et s'effectuent sur une très longue durée. Pour apprécier l'évolution des connaissances des élèves, il sera important d'analyser lors de différentes tâches au cours de plusieurs séquences d'enseignement les relations que les élèves élaboreront.

I.5. Implication de l'activité de modélisation lors de la conception de l'hypermédia

Cette dernière section expose les principales implications de la prise en compte de l'activité de modélisation dans la conception de l'hypermédia. Nous proposons d'une part d'introduire un niveau de savoir supplémentaire, le niveau des "objets événements simulés" et d'autre part, de mettre en œuvre une méthodologie permettant d'organiser et de structurer des contenus d'enseignement.

I.5.1. Le niveau des objets et des événements simulés

Le développement d'outils technologiques conduit à introduire un niveau supplémentaire, le niveau des objets et des événements simulés : il résulte de l'utilisation de l'outil informatique.
Nous avons considéré que pour reproduire des activités expérimentales utiles à l'apprentissage des concepts scientifiques, il nous fallait les simuler (Chapitre 4).
Ces simulations proposent, d'une part, une représentation "réaliste" du modèle afin que l'utilisateur s'en construise une idée. D'autre part, elles revêtissent des caractéristiques du monde réel en présentant des éléments et des objets familiers qui peuvent s'apparenter à ceux du champ expérimental. Ce niveau possède donc à la fois des attributs du modèle et des attributs du champ expérimental. Par exemple, la Figure 3 présente la simulation du mouvement d'aller-retour d'une membrane de haut-parleur

représentée par un trait dont il est possible de faire varier la fréquence et l'amplitude à partir de deux boutons "simulés". L'élaboration de cette simulation a consisté en l'implémentation du modèle analytique associé au mouvement vibratoire sinusoïdal (position calculée à chaque instant) selon l'expression $A\sin(2\pi ft)$ (ou A et f sont respectivement les valeurs de l'amplitude et de la fréquence que l'utilisateur pourra modifier) afin de reproduire le mouvement de la membrane.

A partir de cet exemple, 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 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.

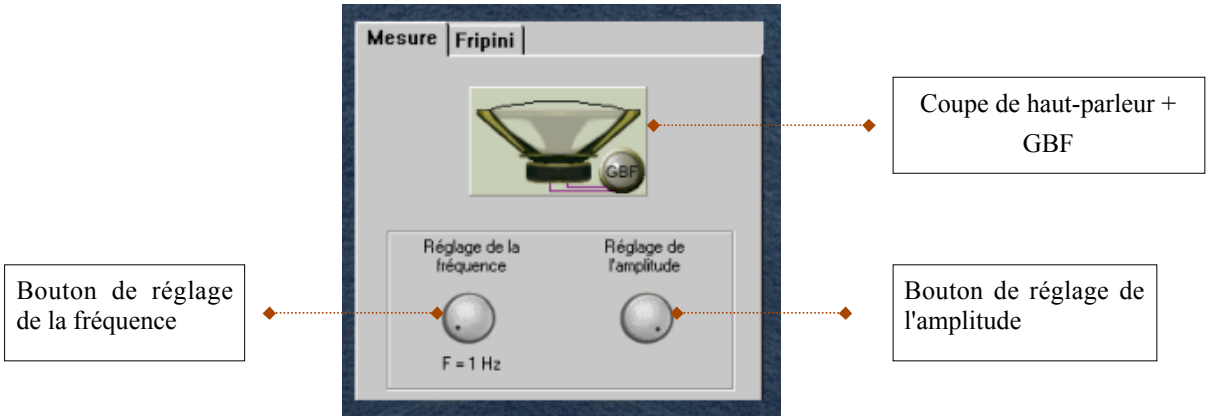


Figure 3 Exemple du "niveau" Objets et événements simulés

Ainsi, ces simulations donnent l'occasion de reproduire des activités expérimentales essentielles à l'apprentissage de la démarche de la modélisation (Larcher, 1996, p.163) puisqu'elles peuvent :

- favoriser un réinvestissement des connaissances dont dispose le sujet pour expliquer une situation expérimentale particulière,
- présenter des événements en contradiction avec les modèles personnels des élèves,
- manipuler des objets et observer des événements dans l'objectif de mieux comprendre le savoir enseigné.

I.5.2. Une organisation et une structuration des contenus

Lors de l'élaboration d'une séquence d'enseignement favorable à l'activité de modélisation, Vince (2000, p. 114) considère que trois types d'analyse doivent être réalisés :

- une analyse du savoir à enseigner en termes des niveaux de savoir qui permet de relever la cohérence entre les modèles proposés, les activités expérimentales et la validité des modèles,
- une analyse centrée sur l'ingénierie didactique mise en place pour rendre efficace la modélisation dans un ensemble cohérent et varié d'activités et de contenus,
- une analyse des conceptions et difficultés des élèves en rapport avec le savoir à enseigner qui permet l'identification de notions intermédiaires (Baker et Tiberghien, 1999).

De notre point de vue, même si un tel travail a été préalablement réalisé, la conception d'un hypermédia nécessite de créer une nouvelle mise en scène du contenu des séquences d'enseignement

traditionnelles qui tiendra compte à la fois du savoir en jeu dans la séquence, des hypothèses d'apprentissage des élèves et des contraintes ergonomiques (voir Chapitre 1 et Chapitre 4).
Il va s'agir d'analyser les différents contenus selon les niveaux de savoir dans le but :

- de vérifier la cohérence entre les niveaux de savoir du contenu proposé dans une tâche en fonction de ses objectifs. Cette vérification permet d'éviter le mélange de contenus différents qui peuvent ne pas favoriser la construction de sens,
- d'organiser une nouvelle mise en scène, contrainte par le système informatique, en tenant compte des niveaux de savoir identifiés,
- de favoriser la *"désimbrication"* (Vince, 2000) des éléments d'ordre théorique et des éléments relatifs aux objets événements afin de favoriser la construction de sens,
- de vérifier que le but de la question relève d'un niveau (ou plusieurs) de savoir que les élèves doivent mettre en œuvre (Bécu-Robinault, 1997).

Le Tableau 1 présente un exemple d'analyse de contenu et son implication lors de la construction de l'hypermédia.

Enoncé de la tâche	**Objectif de la tâche**	**Niveau de savoir**	**Implication dans la conception du logiciel**
Pour chaque expérience : Nommez la source du son et expliquez en quelques lignes et éventuellement avec un schéma le comportement de la source.	*Objectif* : décrire un ou plusieurs événements	Champ expérimental	Les différents écrans se référant à cette tâche présenteront cet unique niveau de savoir

Tableau 1 : Exemple illustrant le premier principe de la structuration

II. Les systèmes sémiotiques

Il s'agit, dans cette section, de décrire le rapport entre les représentations sémiotiques d'objets ou de concepts et l'activité cognitive d'un sujet (un élève en particulier). Nous considérons que l'intérêt des représentations sémiotiques ne se limite pas à l'esthétisme, à produire de l'émotion ou à diversifier les représentations d'un même objet. Elles impliquent de la part d'un sujet des activités cognitives essentielles à leur compréhension. A ce propos, Hermina et Tabachneck (1996) ont souligné la difficulté pour des novices, par rapport aux experts, d'articuler différentes représentations pour résoudre un problème. Comme le précise Duval (1995, p. 19), *"tout se passe comme si la compréhension que la majorité des élèves avaient d'un contenu restait limitée à la forme de la représentation utilisée"*. L'hypothèse d'apprentissage sous-jacente est que l'articulation des représentations hétérogènes favorise la construction du sens d'un concept.
Nous présentons d'abord les définitions des représentations sémiotiques et des systèmes sémiotiques, puis les hypothèses d'apprentissages associées, enfin nous décrivons l'implication des systèmes sémiotiques dans l'élaboration de l'hypermédia.

II.1. Intérêt des représentations sémiotiques et des systèmes sémiotiques

Selon Duval (1996, p. 358), parler de représentation c'est prendre en compte le mode de production et la signification de la représentation. Le mode de production peut être interne[6] ou externe pour un sujet.
Une représentation sémiotique est par nature externe par le fait qu'elle est visible et observable et qu'elle nécessite le développement et la maîtrise d'un système de représentation (Duval, 1996, p. 356) : *"les représentations sémiotiques sont des représentations dont la production ne peut se faire sans la mobilisation d'un système sémiotique : ainsi les représentations peuvent être des productions discursives (en langue naturelle, en langue formelle), ou non discursives (figures, graphiques, schémas…)"* (Duval, 1996, p. 356). La signification d'une représentation est déterminée d'une part, par le système sémiotique permettant de représenter quelque chose du monde réel (objet, situation) ou du monde des idées (images mentales, concepts, objets abstraits, etc.) et d'autre part *"par la référence à l'objet représenté qui ne doit pas être confondu avec le "contenu" de la représentation (...) dans la mesure où le "contenu" est ce que le système utilisé permet de présenter explicitement de l'objet représenté"* (Duval, 1996, p.358). Le concept de fréquence, par exemple, peut être représenté à partir du langage naturel, d'une animation, d'une formule (voir Tableau 2).
Enfin, Duval (1995) attribue trois fonctions aux systèmes sémiotiques qui donnent lieu à trois activités différentes d'un sujet : celle d'objectivation, c'est-à-dire prendre conscience de la signification d'une idée, d'une information, celle de traitement, ce qui consiste à exploiter une information au sein d'un même système sémiotique comme dans le calcul numérique, enfin, celle de communication : "pouvoir communiquer à un interlocuteur".

Ainsi, l'intérêt des représentations sémiotiques est double : elles permettent de représenter différemment un objet ou un concept (ou des facettes d'un concept) et de donner lieu à trois types d'activités pour un apprenant.
"la spécificité des représentations sémiotiques consiste dans ce qu'elles sont relatives à un système particulier de signes, (...), et qu'elles peuvent être converties en des représentations "équivalentes" dans un autre système sémiotique, mais pouvant prendre des significations différentes pour le sujet qui les utilise. La notion de représentation sémiotique présuppose donc la prise en compte de systèmes sémiotiques différents et celle d'une opération cognitive de conversion des représentations d'un système sémiotique à l'autre" (Duval, 1995, p.17).

II.2. Hypothèse d'apprentissage des représentations sémiotiques

D'après Duval (1995, p.21), les systèmes sémiotiques permettent d'accomplir trois activités cognitives inhérentes à toutes représentations[7]. En effet, Duval (1995, p. 61) précise que *"l'activité conceptuelle implique la coordination des registres de représentations"* et il poursuit : *"il faut qu'un sujet soit parvenu au stade de la coordination de représentations sémiotiquement hétérogènes, pour qu'il puisse discriminer le représentant et le représenté, ou la représentation et le contenu conceptuel que cette*

[6] Au sens de représentation mentale.

[7] Il précise que tout système donnant lieu à ces trois activités est un registre sémiotique. Nous préférons garder durant notre travail le terme de système sémiotique tout en considérant que les représentations élaborés donnent lieu aux activités cognitives présentées.

représentation exprime, instancie ou illustre". Duval (1995, p. 68) ajoute que parvenir à cette distinction du représenté et du représentant (*"degré de liberté du sujet"*) est *"essentiel pour qu'il ait compréhension conceptuelle ou possibilité d'un traitement formel des représentations sémiotiques d'un objet"*.

Chacune de ces activités cognitives est présentées pour trois représentations du concept de fréquence (Tableau 2) et complétée des difficultés qu'un apprenant peut rencontrer (Duval, 1995, Ainsworth et al., 1996). Ces trois activités sont les suivantes :

- *"constituer une trace (...) qui soit identifiable comme une représentation de quelque chose"*.

La trace matérielle du concept de fréquence apparaît effectivement sous forme d'un texte et d'une d'image. La diversité des systèmes de représentation sémiotique (les représentations graphiques, l'écriture symbolique, le langage naturel,...) peut nécessiter un apprentissage spécifique de chacun des systèmes.

- *"transformer les représentations par les seules règles propres du système(...) de façon à obtenir d'autres représentations pouvant constituer un apport de connaissance par rapport aux représentations initiales"*.

La possibilité de transformation d'une représentation, au sein d'un même système, apparaît, par exemple, avec l'écriture symbolique. La fréquence peut éventuellement être exprimée en fonction de la période ou de la pulsation (ω) si l'on sait que $f = 1/T = \omega/2\pi$. Il s'agit bien de transformations au sein d'un même système sémiotique. Ce traitement peut consister aussi à reformuler la définition de la fréquence de vibration pour l'expliquer.

- *"convertir les représentations produites dans un système en représentations d'un autre système, de telle façon que ces dernières permettent d'expliciter d'autres significations relatives à ce qui est représenté"*.

L'activité de conversion est mise en œuvre par exemple par un élève lors de la détermination de la fréquence à partir d'une animation. Il est censé, d'abord convertir le mouvement de la membrane du haut-parleur (représentation dynamique que nous détaillons par la suite) en un nombre d'allers-retours (représentation symbolique), puis de coordonner le nombre d'allers-retours comptés en une durée donnée avec la définition de la fréquence (langage naturel), pour déterminer la valeur de la fréquence. Cette activité de conversion est difficile pour les élèves car elle nécessite de se représenter un même concept d'une autre manière et de "comprendre" le lien entre différentes représentations d'un même représenté : chaque représentation apportant des informations bien spécifiques par rapport au concept en jeu.

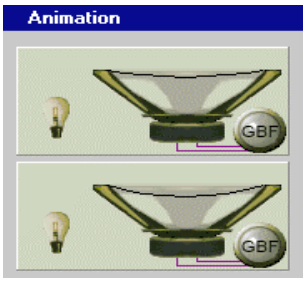
Systèmes sémiotiques	Représentations sémiotiques	Niveaux de savoir
Langage naturel	*Définition* La fréquence de vibration est le nombre d'allers retours effectués par la partie vibrante de la source en une seconde.	Relation entre les niveaux de la théorie modèle et du champ expérimental
Représentation dynamique	*Animation* 	Objets événements simulés
Représentation symbolique	*Formule* F = 1/ T (F fréquence, T période)	Théorie - modèle

Tableau 2 Trois exemples de représentations du concept de fréquence à partir de trois systèmes sémiotiques

II.3. Implication des systèmes sémiotiques dans la conception de l'hypermédia

L'objet de cette section est de montrer l'implication des systèmes sémiotiques lors de la conception de l'hypermédia. Lors de la conception de l'hypermédia, nous utilisons six systèmes sémiotiques. Nous les présentons successivement à partir d'un exemple :

- le langage naturel : un texte dans une langue donnée,
- 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.

Si les cinq premiers systèmes sont traditionnellement considérés comme des registres sémiotiques (Duval 1995, Bécu-Robinault, 1997, Quintana Robles, 1997), la représentation dynamique nécessite une description plus détaillée, c'est l'objet du paragraphe suivant. Nous présenterons ensuite une méthodologie permettant d'organiser et de structurer des contenus d'enseignement.

II.3.1. Le système sémiotique : la représentation dynamique

Le système de représentation dynamique rend possible la représentation d'un objet ou d'un concept sous une forme dynamique grâce à une vidéo, une animation et une simulation. Pour Salomon (Depover, 1998, p. 14) *"L'utilisation adéquate de représentations dynamiques pourrait, en modifiant le point de vue que l'apprenant peut avoir sur les choses, l'amener à plus ou moins long terme à modifier ses propres stratégies de prise de l'information pour mieux les adapter aux exigences cognitives de la tâche à réaliser"*. Cependant Duval (1995), s'interroge sur la possibilité qu'une simulation puisse être une représentation sémiotique. En effet, il considère que la simulation est un type particulier de représentation qu'il appelle "maquette" à partir de laquelle l'activité de traitement diffère de celle réalisée avec une représentation sémiotique : *"les opérations susceptibles de les transformer* (les représentations du type maquette) *sont des actions suivant des lois physiques et non des actions sur des signes régies par des règles"*. (Duval, 1995, p. 66)

Néanmoins, nous considérons que, la représentation dynamique peut être un système sémiotique car elle permet au moins deux des trois activités cognitives présentées précédemment : la constitution d'une trace et la conversion de cette représentation produite dans un autre système de représentation. Nous explicitons ces activités cognitives à partir de l'exemple de simulation présentée dans la Figure 4 dont le référent conceptuel est la vibration. Le représenté se limitent aux grandeurs caractéristiques de la vibration : la fréquence et l'amplitude. Le représentant relève des objets de l'expérience : un haut-parleur, les boutons d'un générateur basse fréquence, un trait représentant la membrane du haut-parleur.
Une action sur le bouton fréquence change l'un des paramètres du modèle ($A\sin(2\pi ft)$) générant ce mouvement et modifie la vitesse du mouvement d'allers-retours de la membrane du haut-parleur.

Figure 4 Exemple de simulation

D'après Duval, la représentation doit *"constituer une trace (...) qui soit identifiable comme une représentation de quelque chose"*. C'est effectivement le cas puisque la vibration et ses propriétés sont identifiables à partir du mouvement du trait.
Ensuite, le système sémiotique doit permettre de *"convertir les représentations produites dans un système en représentations d'un autre système, de telle façon que ces dernières permettent d'expliciter d'autres significations relatives à ce qui est représenté"*. L'activité de conversion est mise en œuvre par exemple par un élève lors de l'explication en langage naturel du mouvement du trait selon la valeur des grandeurs fréquence et amplitude.
Enfin, il doit être possible de "*transformer les représentations par les seules règles du système (...)"*. La transformation au niveau du système composé des deux boutons (fréquence et amplitude) et de la membrane consiste à changer la valeur des deux grandeurs caractéristiques de la vibration en agissant sur la représentation. Cette transformation conduit à avoir une nouvelle représentation (un nouveau mouvement) qui peut aider les élèves à donner sens aux concepts en jeu. Ce traitement diffère de celui que Duval (1995) présente puisqu'il est mis en œuvre par des actions "physiques suivant des lois physiques et non des actions sur le système régies par des règles".

Ainsi, nous considérons que la représentation dynamique peut être un système de représentation qui donne lieu aux trois activités inhérentes des systèmes sémiotiques qui sont l'objectivation, le traitement et la communication.

II.3.2. Une organisation et une structuration des contenus

A partir de six systèmes sémiotiques, nous structurons et organisons les contenus de la séquence d'enseignement. L'objectif est d'une part d'élaborer des tâches favorisant la coordination des représentations du savoir en jeu (voir I.3 Hypothèses d'apprentissage) et d'autre part, de proposer diverses représentations pour un même concept (voir Tableau 2) ce qui peut aider à acquérir le sens dudit concept.

Toutefois, lors de la structuration des tâches et pour que les élèves coordonnent les représentations proposées en rapport à un concept donné nous avons choisi de :

- placer les représentations dans des fenêtres différentes d'une même page-écran dans le but que les élèves réalisent d'abord un traitement de chacune des représentations puis une articulation de ces représentations,
- proposer des représentations différentes d'un même représenté pour favoriser la construction de sens du concept en jeu, en indiquant brièvement sa correspondance en langage naturel.

III. En résumé : Sémiotique et Modélisation

Ce qui précède permet de distinguer deux types d'outils théoriques : l'activité de modélisation et les systèmes sémiotiques. Ces deux outils ont été considérés pour organiser et structurer un contenu d'enseignement, puis pour analyser l'activité des élèves. La Figure 5 présente schématiquement la grille donnant lieu à l'analyse d'un contenu d'enseignement et de l'activité effective des élèves (Quintana-Robles, 1997). Nous rappelons que l'objectif de notre travail est d'étudier ensuite l'influence de l'organisation conceptuelle et sémiotique des contenus sur le fonctionnement de l'élève.

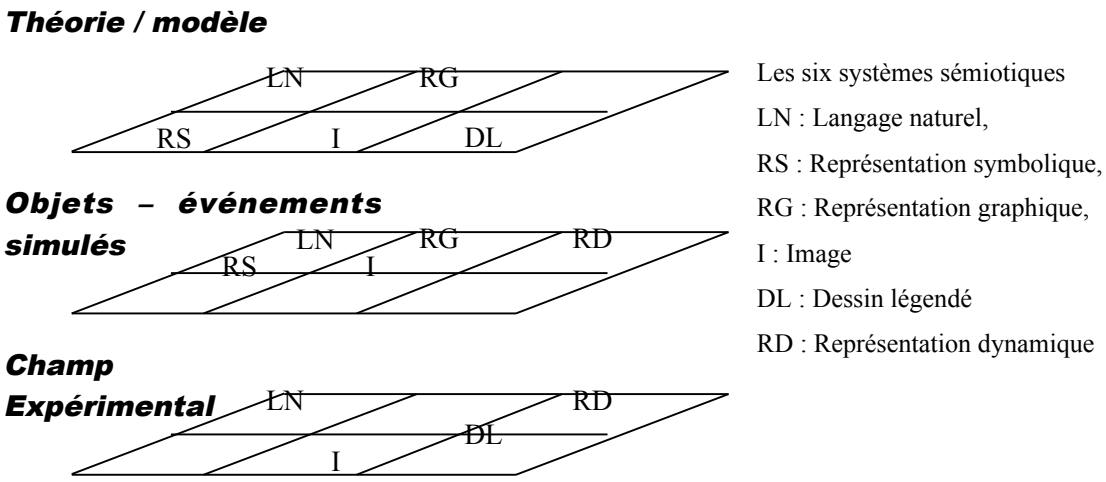


Figure 5 Grille permettant de catégoriser l'information contenue dans la page-écran selon trois niveaux de modélisation et cinq systèmes sémiotiques

La prise en compte de ces deux outils pour mettre en scène un contenu d'enseignement repose principalement sur les deux hypothèses d'apprentissage suivantes :

1. *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'un concept lors de la réalisation d'une tâche.*

2. Les relations entre les diverses représentations de chacune des informations favorisent la « compréhension » des concepts en jeu.

Ces hypothèses sur l'apprentissage permettent :

- d'élaborer des tâches qui favorisent la coordination des représentations par exemple lors de la réalisation d'une mesure, lors de l'explication d'un événement ;
- de proposer des informations mettant en jeu des niveaux de savoir différents et des représentations différentes afin de favoriser la compréhension du concept en jeu ;
- d'introduire les concepts à partir de deux systèmes de représentations afin de conduire les élèves à les lier et à leur donner une signification de deux façons au moins.

Nous prenons le parti de définir une information en tant qu'élément constitutif d'un contenu d'enseignement qui peut être catégorisé à la fois selon les niveaux de savoir et selon les systèmes sémiotiques. Nous prenons également le parti de définir une ressource comme un ensemble d'informations préalablement construites par le concepteur dans l'objectif d'aider les apprenants par exemple dans leur raisonnement, leurs décisions voire dans l'évaluation de leurs actions.

Nous considérons enfin que l'activité sémiotique, en tant qu'utilisation des représentations proposées, étaye l'activité de modélisation réalisée par les élèves. Ainsi, lors de l'analyse des productions des élèves, les aspects sémiotiques constituent un complément de l'analyse de l'activité de modélisation dans le cadre d'une tâche donnée.

Chapitre 3
Création d'un milieu interactif favorable à la résolution d'un problème

L'objet de ce chapitre est de décrire les éléments théoriques propices à la création d'un milieu didactique favorable à la réalisation d'un problème[8]. Nous nous posons la question des conditions à remplir pour qu'un problème proposé aux élèves soit résolu *via* des interactions diverses entre les élèves et le milieu organisé : la résolution d'un problème ne se limite pas à l'étude des processus cognitifs mis en œuvre par un sujet, mais doit aussi considérer l'évolution des connaissances du sujet interagissant avec le milieu créé. Les interactions du sujet avec le milieu sont significatives de son activité. La caractérisation des rôles de l'enseignant et de l'apprenant relatifs aux savoir à enseigner permet de spécifier certaines contraintes ou conditions dont il nous faudra tenir compte pour créer un milieu favorable à la construction de connaissances.
Dans cette perspective, nous présenterons d'abord ce que nous entendons par tâche, activité et résolution d'un problème, puis nous introduirons la théorie des situations de Brousseau afin de déterminer les conditions à prendre en compte pour élaborer un milieu didactique. L'implication de ces divers éléments théoriques dans la conception de l'hypermédia seront présentés dans le chapitre suivant.

I. Tâche, activité et résolution

I.1. Tâche, activité et action

D'après Leplat et Hoc (1983, p. 51-54) la tâche indique ce qui est à faire. Elle véhicule l'idée de prescription, sinon d'obligation *" La tâche comme un but[9] donné dans des conditions déterminées "* (Leontiev, 1976) (cité par Hoc et Leplat). La tâche prescrite, c'est la tâche conçue par celui qui en commande l'exécution. Elle préexiste à l'activité qu'elle vise à orienter et à déterminer de façon plus ou moins complète. L'activité est finalisée par le but que se fixe le sujet à partir du but défini par la tâche. Lorsqu'elle s'applique à des objets matériels, elle est en partie observable à partir des actions du sujet. Lorsqu'elle porte sur des représentations mentales on peut n'en percevoir que le résultat ultime

[8] Le problème est vu en tant que "situation problématique" où la réponse ne peut être produite automatiquement.
[9] Les auteurs définissent le but en tant que ce qui doit être réalisé, c'est l'état final.

(comme taper une réponse à partir d'un clavier, bouger un objet, etc.). Or comme le précise Veillard (2000, p. 39), *"il ne s'agit plus d'étudier les structures psychologiques sources des comportements, mais de regarder comment un acteur intervient sur le monde, notamment la manière dont il enchaîne compréhension et action, pensées et actes physiques dans une certaine organisation"*. Ainsi, Veillard (2000, p. 40) considère que l'activité "*réfère à l'ensemble des événements (gestes ; perceptions ; communications ; réflexions ; interprétations) imputables à un acteur. (...) elle s'accompagne d'interactions avec le monde environnant* (humains ou objets) *qu'il faut prendre en compte"*, les actions étant *"l'ensemble des événements imputable à un acteur"*.

Nous considérons qu'une tâche, lors d'une situation d'enseignement en physique, est un dispositif proposant explicitement ou implicitement un but à atteindre. Elle est constituée de différents "éléments" pour la réaliser (une consigne, des ressources informationnelles, des propositions de réponses à sélectionner, un cadre dans lequel il est possible d'écrire, etc.), et son enjeu est la construction de connaissances, les interactions des sujets avec ces "éléments" devant favoriser cette construction. Ces "éléments" sont donc constitutifs de l'environnement dans lequel les élèves évoluent et avec lesquels ils interagissent. La manière dont les élèves réalisent la tâche est représentative de leur activité. L'activité se rapporte à la fois aux actions motrices observables (ou "fonctionnelles") qui concernent les actions comme taper du texte, manipuler un GBF, lire et, aux actions "cognitives", c'est-à-dire comment les élèves donnent du sens au concept en jeu.

I.2. Résolution d'un problème

Le processus de la résolution d'un problème peut être caractérisé par deux étapes principales qui sont la représentation du problème et l'élaboration de la solution. Ces deux étapes ne sont pas nécessairement consécutives. L'étape de la représentation du problème est essentielle dans le processus de résolution car elle correspond à la phase de "compréhension" des données du problème. Durant cette phase, le sujet peut prendre en compte les informations matérielles et symboliques de la situation proposée, effectuer des inférences par déduction[10] et/ou par induction [11] avec les connaissances déclaratives et/ou procédurales qu'il possède déjà. *"Cela lui permet de sélectionner une méthode générale de résolution et de mettre en évidence les aspects importants du problème et les principes physiques à appliquer"*[12] (Hoc, 1987, p. 85). Cependant, comme le souligne Dumas-Carré (1987, p. 97) cette phase *"n'existe pratiquement pas chez les novices"* ce qui constitue une des principales sources d'erreurs et de difficultés des élèves : les élèves se lancent dans des procédures de calcul à partir de traits de surface issus de la consigne.

L'étape de l'élaboration de la solution concerne la recherche d'une solution au problème et son efficacité (lors de l'évaluation) ce qui présuppose la mise en œuvre de stratégies. Toutefois, les stratégies *" sont différentes selon l'état d'expertise du sujet"*. En effet, Proulx (1998, p. 66-67) souligne certains fonctionnements typiques de l'expert et du novice : *"l'expert peut passer un temps*

[10] Une déduction est une conséquence tirée d'un raisonnement. (Larousse, 1972).

[11] Une induction est un raisonnement qui va du particulier au général (Larousse, 1972).

[12] Hoc (1987) précise qu'il se réfère aux travaux de Larkin et Reif à propos de la résolution de problèmes de physique.

considérable à construire un modèle du problème avant de chercher les procédures de solution ; il aspire à comprendre les principes théoriques d'une situation qu'il pourra ensuite réappliquer sans perdre de temps ; il propose d'abord des solutions abstraites d'où découlent par la suite des actions concrètes à entreprendre". De son côté, le novice *"tend à établir le problème sur des traits de surface et leurs connaissances sont souvent inertes ; se lance rapidement dans l'élaboration de solutions sans avoir une représentation exacte et complète du problème ; il réfléchit peu à sa démarche, vérifie peu la justesse de sa démarche"*.

Le processus de la résolution de problème est décrit d'une manière cyclique (selon la validité de la solution) et itératif dans le sens où *"le déroulement d'une opération à un moment donné d'une étape peut susciter un retour sur l'opération précédente ou encore, une reprise de la même opération"* . Ce processus met en jeu principalement trois phases :

- Reconnaître un problème et bâtir sa représentation (construction par l'élève du but du problème).
- Elaborer une stratégie de résolution du problème et une solution au problème.
- Evaluer la solution et la stratégie

Ces trois phases s'intègrent dans un processus plus large (voir Figure 6) que Proulx (1999, p. 39) décrit de la manière suivante : *"une fois le problème identifié* (1)*, à l'aide de la collecte, de l'analyse et de la synthèse de l'information pertinente à la situation* (2)*, l'individu sera à la recherche de solutions* (3) *qui l'amèneront à élaborer un plan d'action* (4)*, à l'appliquer* (5)*, à évaluer son intervention* (6) *et à vérifier si le problème identifié au départ a été ou non résolu de façon satisfaisante. Dans ce dernier cas, cet individu devra reprendre le processus"*.

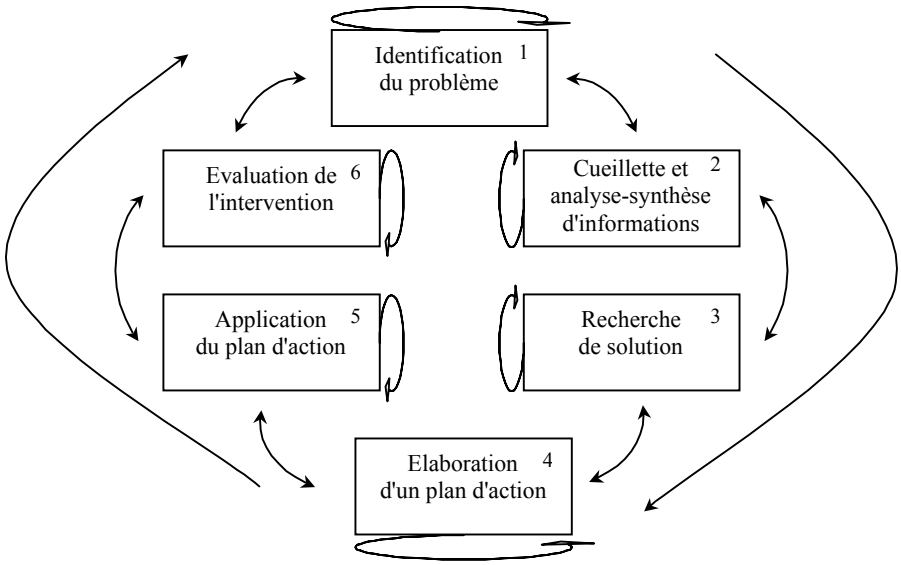


Figure 6 : Processus général de la résolution de problèmes (Legendre, 1993)

II. La théorie des situations

Il s'agit, dans cette section, de décrire les "contraintes" qui pèsent sur une situation d'enseignement dans laquelle évoluent un enseignant, un enseigné lors de la résolution d'un problème donné : la

théorie des situations permettant de cerner les rôles respectifs des différents acteurs relatifs au savoir en jeu.
Nous introduisons les différents éléments de la théorie des situations que nous considérons essentiels lors de la conception d'un hypermédia.

II.1. Situation didactique et adidactique

Les situations didactique et adidactique sont organisées pour permettre un apprentissage. La différence principale entre les deux situations se situe au niveau de la position et le rôle des acteurs par rapport au savoir à enseigner.

Une situation didactique implique une relation à trois entre un enseignant, un ou des élèves et un savoir à enseigner. L'enseignant est celui qui a le savoir, l'apprenant celui qui doit l'acquérir. Les deux particularités de cette situation résident en ce que (Margolinas, 1993, p.33) les intentions d'enseigner et d'apprendre sont affichées et la situation est régie par un contrat didactique, tissus d'obligation implicites vis-à-vis du savoir qui se noue entre le maître et les élèves.

En revanche, la situation adidactique modifie la relation entre l'enseignant l'élève et le savoir : *"l'élève devient indépendant du système enseignant"* (Margolinas, 1993, p.33), il est alors dans une relation privilégié avec le savoir disciplinaire. L'organisation de telles situations impliquent des conditions ou contraintes relatives au savoir à enseigner au niveau de l'enseignant, de l'élève et du problème posé (Brousseau, 1986, p. 49) :

- *"Le maître se refuse à intervenir comme proposeur des connaissances qu'il veut voir apparaître :* les phases d'interventions du professeur ainsi que son discours à l'élève sont modifiés. Les interventions de l'enseignant n'informent pas l'élève sur le savoir en jeu mais, consistent à lui donner les moyens de résoudre *son* problème en lui posant de nouvelles questions par exemple, en le motivant, etc.
- Le maître est censé proposer des problèmes "judicieux" amenant l'élève à remarquer que sa connaissance première n'est pas suffisante pour le résoudre : le problème doit perturber suffisamment l'élève pour que ce dernier "adapte sa connaissance".
- *"l'élève accepte le problème comme sien"* ce qui implique une responsabilité de l'élève vis-à-vis de ces choix et de ces décisions.
- *"L'élève sait bien que le problème a été choisi pour lui faire construire une connaissance nouvelle mais il doit savoir aussi que cette connaissance est entièrement justifiée par la logique interne de la situation et qu'il peut la construire sans faire appel à des raisons didactiques"* : les éléments de la situation par exemple la consigne, le matériel expérimental, doivent permettre à l'élève d'évaluer la réussite ou inversement l'échec de ses actions, et de recommencer ses actions en cas d'échec afin d'explorer l'inefficacité d'une stratégie. Ainsi, *"l'enseignant doit sans cesse aider l'élève à dépouiller dès que possible la situation de tous ses artifices didactiques pour lui* (l'élève) *laisser la connaissance personnelle et objective"* (Brousseau, 1986, p. 50) : L'enseignant est alors censé désengager la situation du contrat didactique.
- L'élève n'aura réellement acquis une connaissance qu'à partir du moment où il sera capable de la réinvestir par lui-même lors de nouvelles situations en dehors de tout système d'enseignement. Ce

dernier point se rapproche de la problématique de comment concevoir des activités scientifiques qui favorisent le transfert de connaissances.

Nous considérons que cette description des conditions ou contraintes liées à la mise en œuvre d'une situation adidactique est sous-tendue par trois éléments théoriques de la théorie des situations : la dévolution, l'institutionnalisation, le milieu.

II.2. Dévolution et Institutionnalisation

Margolinas (1993), citant Brousseau (1987, p. 39) précise à la fois le rôle joué par le maître et par l'élève : *"il ne suffit pas de "communiquer" un problème à un élève pour que ce problème devienne son problème et qu'il se sente seul responsable de le résoudre. Il ne suffit pas non plus que l'élève accepte cette responsabilité pour que le problème qu'il résout soit un problème universel dégagé de présupposés subjectifs. Nous appelons "dévolution" l'activité par laquelle le professeur cherche à atteindre ces deux résultats".*

Comme le précise Margolinas (1993, p. 38), la dévolution n'implique pas une non participation de l'enseignant dans la situation, mais plutôt un désengagement vis-à-vis du savoir à enseigner. L'enseignant est responsable de *"l'engagement persistant de l'élève dans une relation adidactique avec le problème"* : la dévolution est alors censée durer tout le long de la séance d'enseignement. Par exemple, Brousseau (1998, p. 63) à propos d'un jeu de lapin et de canard dont l'objectif du problème est de favoriser l'apprentissage de l'énumération, présente différents types de dévolution. De plus, la dévolution suppose aussi l'élaboration d'un moyen sûr pour que l'élève puisse de lui-même vérifier les actions qu'il va mener pour réaliser le problème. L'enseignant doit donc organiser la situation dans cet objectif sinon l'une des conséquences est que l'élève ait recours à l'enseignant seul détenteur du savoir à acquérir.

Comme nous le verrons par la suite, il doit donc exister un milieu qui permet à la fois à l'élève d'avoir des appréciations sur ses actions et à l'enseignant d'estimer leurs pertinences comme *"des indices de l'appropriation du savoir"* (Brousseau, 1998, p. 93).

Dans la classe, institutionnaliser consiste pour l'enseignant à *"constater ce que les élèves devaient faire (et refaire) ou non, avaient appris ou avaient à apprendre"* (Brousseau, 1998, p. 311) : c'est une autre fonction en plus de celle d'organiser l'enseignement. Cependant, comme le précise Brousseau (1998), *"l'objet de l'institutionnalisation"* se réfère à la fois à l'élève et au professeur : *"La prise en compte "officielle" par l'élève de l'objet de la connaissance et par le maître, de l'apprentissage de l'élève est un phénomène social très important et une phase essentielle du processus didactique : cette double reconnaissance est l'objet de l'institutionnalisation."* (1998, p. 311).

Par conséquent, institutionnaliser est l'un des rôles de l'enseignant puisque c'est lui qui désignera à l'élève la connaissance "qu'il devra savoir" et c'est lui qui donnera un statut "officiel" à certaines actions, formulations de l'élève en relation à cette connaissance. L'appréciation de l'apprentissage des élèves passe par celle du sens construit dans les différentes situations proposées et *"l'enseignant doit prendre acte de ce que les élèves ont fait, décrire ce qu'il s'est passé et ce qui a un rapport avec la connaissance visée, donner un statut aux événements de la classe, comme résultat des élèves et comme résultat de l'enseignant (...)"* (Brousseau, 1998, p 311). Ainsi, suite à la résolution d'un problème, la

validation de la réponse de l'élève va conduire l'enseignant à entrer en scène de plusieurs façons afin de donner un statut officiel à la réponse de l'élève :

- En aménageant un milieu permettant à l'élève de valider par lui-même sa réponse.
- En prenant en charge la validation de la réponse en l'évaluant.
- En amenant les élèves à prendre en compte d'une manière officielle la connaissance.

II.3. Le milieu

La dévolution du problème conduit à prendre en compte un élément supplémentaire le milieu qui n'a de sens que par rapport au savoir disciplinaire. Il est défini en tant que *"système antagoniste du système enseigné, ou plutôt, précédemment enseigné"* (Brousseau, 1986, p. 89).

Dans le cas d'une situation adidactique, il est organisé par l'enseignant et dénué d'intention didactique. Il est élaboré 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). Il doit fournir des rétroactions interprétables par l'élève et valider les productions des élèves. Ainsi, il est censé permettre aux élèves :

- d'avoir un moyen sûr pour évaluer leurs actions ou réponses,
- de pouvoir "auto-controler" leur réponse,
- de permettre la répétition des réponses erronées.

En outre, ce milieu peut être organisé dans l'objectif d'apporter des contradictions, des difficultés et des déséquilibres.

La situation d'enseignement consiste alors en une succession de situations didactiques et adidactiques du fait des interventions successives de l'enseignant durant la réalisation de la tâche par l'élève : la situation adidactique prend place à partir du moment où l'enseignant a dévolué le problème à l'élève et se termine lorsque l'enseignant institutionnalise la connaissance mobilisée par l'élève. De plus, comme la dévolution se poursuit durant la résolution du problème par l'élève, la situation d'enseignement peut donc être vue comme une succession de situation didactique et adidactique. *"Il est donc important que l'enseignant prépare l'élève à ce fonctionnement adidactique en l'intégrant* (ce fonctionnement) *dans les phases didactiques"* Brousseau (1998, p. 303).

II.4. Apprentissage par adaptation et contraintes sur la situation

Brousseau (1998, p. 58-59) introduit les situations adidactiques en considérant que ces situations construites par l'enseignant sont censées *"provoquer chez l'élève les adaptations souhaitées, par un choix judicieux, des "problèmes" qu'il lui propose"*. Les "adaptations" se réfèrent aux connaissances premières ou précédemment enseignées à l'apprenant. Toutefois, cette démarche n'est pas immédiate, elle nécessite la mise en place de situations d'apprentissage qui amènent l'élève à devenir responsable du problème à résoudre (voir dévolution) et à interagir d'une manière significative avec le milieu organisé à cet effet. Pour cela la situation doit (Brousseau, 98) :

- permettre la construction d'une première solution où l'élève investit sa connaissance (on apprend avec ce que l'on sait) et peut l'évaluer à partir des éléments de la situation,
- proposer une nouvelle situation ne dépendant pas des volontés de l'enseignant dans le cas où la réponse de l'élève serait "erronée", l'erreur étant constitutive du processus d'apprentissage,

- permettre la répétition des différentes stratégies des élèves *"ce qui le (l'élève) rend de plus en plus conscient de ce qui le pousse à agir"* (Margolinas, 1993, p.117),
- proposer une nouvelle situation dénuée d'intention didactique à partir de laquelle l'élève s'assurera de la reproductibilité de sa connaissance.

Ainsi, l'apprentissage résulte de la qualité de l'interaction du sujet avec l'environnement créé pour favoriser l'acquisition de nouvelles connaissances. Les interactions entre le milieu et ce que le sujet connaît lui permettent de donner un sens au savoir enseigné enjeu de la situation : *"cette suite d'interactions ne prend un sens que dans la mesure où elles se rapportent à un même projet* (chez l'élève) *à* propos d'un concept*, dans la genèse duquel elles constituent une étape et dont elles fondent la signification."* (Brousseau, 1998, p. 126).

III. Que devient la résolution d'un problème ?

Nous présentons notre point de vue sur la résolution d'un problème par un élève lorsque ce dernier interagit avec divers éléments de la situation.

Prendre en compte la théorie des situations de Brousseau suppose que nous ne limitons pas l'étude de la résolution d'un problème aux processus cognitifs mis en œuvre par un sujet (Proulx, 1999, p. 45). En effet, il s'agit de regarder comment les élèves résolvent le problème posé en interagissant avec les éléments de la situation : l'évolution des connaissances des élèves étant "dépendante" de la situation qui est organisée. De notre point de vue, les processus cognitifs mis en œuvre par les élèves lors de la résolution du problème sont "corrélés" aux éléments avec lesquels le sujet va interagir : l'activité des élèves se réfère bien comme nous l'avons dit au début de ce chapitre à l'ensemble des événements "cognitifs" et "fonctionnels" imputables à un acteur. Il semble donc important de prendre en compte dans l'étude de la résolution d'un problème par un apprenant :

- l'ensemble des éléments de la situation qu'il va utiliser,
- les messages que le milieu peut retourner,
- les différentes actions que l'élève peut réaliser : parler, lire, observer, actionner une simulation, écrire, etc.

La

Figure 7 suivante présente notre point de vue sur la résolution d'un problème en tenant compte de l'environnement dans lequel l'apprenant évolue : les éléments de la situation. A n'importe quel moment de la résolution l'apprenant peut interagir avec un des éléments de la situation.

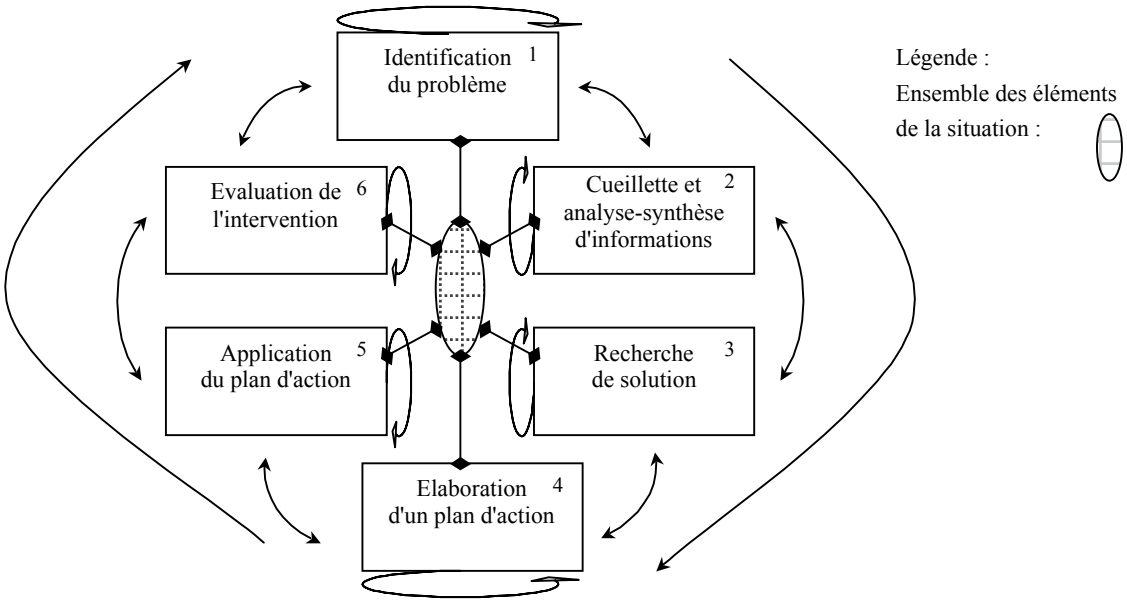


Figure 7 La résolution de problème et les éléments de la situation

Lors de l'analyse de l'activité des élèves, il s'agira d'étudier l'influence des éléments constitutifs de la tâche lors de sa réalisation. Cela permettra d'apprécier la portée d'un tel cadre théorique pour concevoir un hypermédia dédié à l'enseignement.

Nous présentons dans la partie suivante, l'implication dans la conception de l'hypermédia des différents éléments théoriques présentés dans ce chapitre en vue de la création d'un milieu interactif favorable à la résolution d'un problème.

Partie B : Conception de l'hypermédia Labdoc "Son et Vibrations"

Cette partie est composée de deux chapitres. L'objet du premier est de décrire la mise en œuvre du cadre théorique exposé dans la partie précédente dans le but d'élaborer les différentes séquences d'enseignement proposées dans l'hypermédia. Le second chapitre présente globalement l'architecture de l'hypermédia et les différents contenus.

Chapitre 4
L'importance des choix didactiques dans la conception de l'hypermédia

I. Les TP SOC : A l'origine des séquences de TP dans l'hypermédia

L'hypermédia "Labdoc Son et Vibrations" dédié à l'enseignement du son en seconde (BO, 1992), s'inscrit dans la continuité d'un travail de recherche-développement réalisé entre 1995 et 1998, par l'un des trois groupes SOC[13] qui s'intéresse à la partie du programme de seconde consacrée au son. Ce groupe SOC, composé de chercheurs, d'enseignants et d'inspecteurs pédagogiques régionaux a élaboré, entre autres, des séquences de travaux pratiques dédiées à l'enseignement du son[14] que Vince (2000) intitule dans sa thèse *" un enseignement expérimental favorisant la modélisation : Le travail du groupe " SOC " "*. Ces séquences prennent en compte à la fois les contraintes du programme scolaire et les recherches récentes sur le fonctionnement des élèves en relation avec les situations d'enseignement. Nous allons exposer ci-dessous les hypothèses d'apprentissage sous-jacentes à ces séquences de TP que nous retrouvons aussi dans l'hypermédia.

I.1. Les hypothèses d'apprentissage en lien avec la conception des séquences

Les séquences de TP construites par le groupe SOC s'appuient sur un ensemble d'hypothèses qui permettent *"d'envisager les moyens de favoriser l'apprentissage et qui sous-tendent l'enseignement proposé. Ces hypothèses s'inscrivent dans le courant de pensée communément appelé "constructiviste"."* (Vince 2000, p 107). La description qui va suivre n'est pas exhaustive et s'appuie à la fois sur les axes de recherches de l'équipe GRIC-COAST et sur la thèse de Vince (2000).

I.1.1. L'importance des activités expérimentales dans le processus de modélisation

Comme nous l'avons introduit dans la partie précédente, l'activité de modélisation réside en ce que les concepts de physique prennent leur sens dans la mise en relation entre des éléments d'ordre théorique

[13] L'abréviation SOC reprend les initiales des trois thématiques scientifiques sur lesquelles travaillent les groupes de recherches-développement : **S**on **O**ptique **C**himie.

[14] Site de l'Académie de Lyon : http://ww2.ac-lyon.fr.enseigne/physique/docs/soc/index01.html

et relatifs au champ expérimental. Ainsi, ce groupe s'est employé à élaborer des séquences où l'expérimental est exploité de multiples façons, ce qui est rarement réalisé dans l'enseignement secondaire (Tiberghien & al, 1998).

I.1.1.1. Des activités favorisant la désignation d'un phénomène

L'intérêt de ces activités est d'amener les élèves à relier une description en terme des objets et des événements à une description "phénoménologique". La première phase consiste à l'apprentissage de la description d'un événement. En effet, décrire un événement en physique ne consiste pas à paraphraser ou proposer des descriptions *"mystiques ou magiques"* (Vince, 2000, p151), mais à analyser et à retracer l'événement observé au travers des objets présents dans la situation expérimentale. La seconde phase correspond à la distinction des invariants entre les différents événements repérés et étudiés, c'est-à-dire le phénomène. Ainsi, un phénomène est issu d'une classe d'événements préalablement décrits et peut alors être interprété du point de vue des savoirs à enseigner. Ainsi, de telles activités ont pour objectif d'amener les élèves à sélectionner les événements et à "reconnaître" la nécessité d'un modèle[15] afin de pouvoir interpréter et prévoir le phénomène.

Revenons à l'enseignement du son dans le cadre des TP SOC. Enseigner le son suppose la prise en compte de deux aspects :

- la sensation sonore : désignation du son en termes de fort, faible, aigu, grave,
- les phénomènes physiques à l'origine du son et dans le milieu de propagation : le mouvement à la fois de l'objet, source du son, et du milieu.

L'apprentissage des mécanismes physiques impliqués dans les phénomènes sonores est introduit dans les TP SOC à partir d'activités expérimentales. Par exemple, dans l'objectif d'amener les élèves à prendre conscience des mécanismes physiques à l'origine d'un son (en tant que mouvement de la source de son), il leur est proposé, dans un premier temps, de décrire différents événements observés lors de la réalisation de diverses expériences, puis de répondre à la question *" Y a-t-il un comportement commun entre toutes ces sources de son ?"*. Cette question est censée favoriser une description du phénomène physique, la vibration, en lien avec la perception sonore dans le cadre d'une source de son quelconque[16]. Même si la réponse attendue est " le son est causé par un objet (ou une partie) qui vibre", il est souhaité que les élèves utilisent d'autres termes pour décrire la vibration.

I.1.1.2. Des activités centrées sur l'activité de modélisation

Comme nous l'avons annoncé (I.1.1), ce groupe a aussi mis en œuvre diverses activités de modélisation qui sont rarement réalisées dans l'enseignement. En effet, suite à une enquête Européenne "Projet Labwork in Science Education[17]" à propos des travaux pratiques, trois résultats principaux découlent de la mise en place d'une carte d'analyse des TP (Tiberghien & al, 1998). Cette carte *"permet aux enseignants de prendre conscience du contenu de leur TP, donc de les améliorer pour les mettre en accord avec leurs intentions (principaux enjeux, différents types d'objectifs*

[15] Le modèle représente d'un point de vue théorique la situation expérimentale.

[16] Nous considérons uniquement ici les sources de son en tant qu'objets (ou partie d'un objet) qui vibrent.

[17] Travail réalisé de février 1995 à Avril 1998 dans les lycées et début université en France, Angleterre, Danemark, Grèce, Italie, dont le sujet est "Améliorer l'enseignement des sciences en Europe : Enjeux et recherches sur des approches innovantes en travaux pratiques utilisant ou non l'ordinateur".

d'apprentissage, etc.). L'analyse que permet cette carte informe sur les activités proposées à l'élève, alors que le regard traditionnellement porté sur les TP se limite souvent à leur contenu scientifique". (Rapport, 1998 p. 3) :

Les objectifs d'apprentissage des enseignants dans le rapport de la théorie et de la pratique sont principalement : d'amener l'élève à identifier des objets ou des phénomènes et à se familiariser avec eux ; de leur apprendre une relation (du type loi d'Ohm) ; de leur apprendre à traiter des données et à utiliser un appareil de laboratoire ou à élaborer un dispositif expérimental. Cependant, les objectifs aider les élèves à apprendre comment planifier une recherche pour s'attaquer à un problème spécifique et comment communiquer les résultats sont rarement présents.

L'analyse des caractéristiques principales des tâches (proposées dans le protocole opératoire) du point de vue des actions des élèves (telles qu'observer, utiliser, présenter…) c'est-à-dire ce que l'on attend généralement qu'ils réalisent avec les objets et les observables s'expriment clairement dans les propositions : utiliser un équipement de laboratoire ou un dispositif, puis observer une quantité (le terme quantité est pris dans le sens le plus général de la quantité d'une grandeur donnée : puissance, fréquence…) et enfin utiliser un appareil d'observation ou un instrument de mesure. Toutefois, les élèves observent rarement un événement et décrivent rarement les objets qu'ils vont utiliser.

L'analyse des caractéristiques principales des tâches, au niveau de la réflexion des élèves, se limite essentiellement à reporter directement des observations, trouver une relation entre quantités physiques, déterminer une valeur qui n'est pas mesurée directement, enfin rendre compte d'observations en terme d'une loi donnée. Les élèves sont rarement amener à réaliser des relations entre les objets pour "inventer" de nouveaux concepts, à tester une prédiction, à prendre en compte des observations pour proposer une théorie ou, choisir entre deux ou plusieurs explications.

En utilisant cette même carte, les TPSOC se démarquent des TP dits "classiques" pour les deux aspects suivants :

- Aider les élèves à mettre en relation la théorie et les objets et les événements observables. Cet objectif "d'apprentissage" peut être atteint à partir d'activités comme aider les élèves à identifier des objets et des phénomènes et à se familiariser avec eux, apprendre à mettre en œuvre une relation à partir d'une mesure. De plus, les TPSOC mettent l'accent sur l'apprentissage des savoirs conceptuels en tant qu'objectifs des séances de TP (apprendre un concept, apprendre une théorie ou un modèle, apprendre comment utiliser des données pour appuyer une conclusion) : *"un des moyens les plus efficaces d'attirer l'attention des étudiants sur la dimension conceptuelle est de les entraîner très tôt aux activités de modélisation."* (Millard, 1998) cité dans le rapport Coast-DidaSco-LES.
- Proposer des tâches conduisant les élèves à mettre en relation les données (observation ou mesurage) et les savoirs théoriques. Les principales tâches proposées sont :
  - confirmer ou infirmer une prédiction effectuée préalablement à partir d'une expérience,
  - réaliser des liens qualitatifs entre caractères perceptifs et grandeurs physiques mesurables relevant du modèle physique,
  - utiliser un modèle pour interpréter une expérience afin de donner du sens à ce dernier.

Cette analyse montre la distance entre les TP "classiques" et les TPSOC dont les objectifs privilégient l'activité cognitive de l'élève avec les objets et les observables tout en entretenant l'interaction avec

les savoirs théoriques à partir de diverses activités (prédire, expliquer, décrire, conclure, mettre en relation des mesures).

I.1.1.3. Des TP - cours

Durant la séance de TP en demi-groupe, l'enseignant introduit les éléments théoriques. Il les reprend en classe entière afin de les "institutionnaliser". En effet, lors de la séance de TP, les éléments théoriques introduits par l'enseignant sont ensuite mis en œuvre par les élèves lors d'activités expérimentales : la séance de TP devient le lieu de l'utilisation explicite des éléments théoriques en jeu. Prenons le cas de la fréquence de vibration. A la suite de l'introduction du concept de fréquence de vibration, il est demandé à l'élève de réinvestir la définition à partir d'une mesure. Ainsi, ce groupe souhaite que la classe entière ne soit pas uniquement le moment privilégié où l'enseignant réalise son cours magistral et, "transmet" les éléments théoriques à la classe mais plutôt de *"casser cette logique traditionnelle"* (Vince 2000) en introduisant dès la séance de TP les concepts "essentiels" pour réaliser les différentes tâches proposées : ces séances sont donc censées favoriser l'articulation entre les éléments théoriques en jeu et les situations expérimentales.

I.1.2. Activités demandant d'utiliser différentes représentations sémiotiques

Le groupe SOC donne la possibilité aux élèves, par groupes de deux (dyades), de formuler leur réponse à partir de divers systèmes sémiotiques soit sous forme langagière (un texte), soit iconique (un dessin) soit les deux à la fois. L'hypothèse d'apprentissage sous-jacente consiste à considérer que l'élève donnera sens à sa connaissance au travers des différentes représentations qu'il proposera de la situation. En d'autres termes, la construction du sens du savoir passe par l'élaboration de représentations que les élèves sont censées mettre en relation.
"L'intermédiaire langagier intervient dans le processus individuel d'apprentissage : la verbalisation, la mise en forme (au sens de la formalisation), la schématisation ne sont pas que des marqueurs d'acquisition déjà enregistrés, mais peuvent être aussi la condition expresse de la possibilité de celle-ci (l'acquisition)*"* (Laborde & Vergnaud, 1994).

I.1.3. Elaboration de séquences centrées sur l'élève

I.1.3.1. Le problème et l'élève durant une séance de TP

Pour les auteurs des TPSOC, un TP est une situation au sein de laquelle l'élève doit prendre conscience que la question posée est la sienne et qu'il en est responsable. Selon ce point de vue, les interactions successives entre l'élève et les éléments de la situation (la question, le matériel expérimental, l'enseignant, les autres élèves) sont censées favoriser une modification de ses connaissances et/ou la construction de nouvelles : *"Le travail du professeur consiste donc à proposer à l'élève une situation d'apprentissage afin que l'élève produise ses connaissances comme une réponse personnelle à une question et les fasse fonctionner ou les modifie comme réponses aux exigences du milieu et non à un désir du maître"* (Brousseau, 1995). Par conséquent, la dévolution du problème, initiée dès le début de la séance de TP par l'enseignant, et les activités variées proposées (observer,

décrire, prédire, expliquer,...) peuvent contribuer à "ébranler" les conceptions[18] initiales et les difficultés[19] de l'élève afin qu'il construise de nouvelles connaissances.

I.1.3.2. L'erreur et son rôle dans la construction des connaissances

D'après Brousseau (1998), en se référant aux travaux de Bachelard et Piaget, l'erreur n'est pas le fruit du hasard ou l'effet de l'ignorance comme le présupposent les béhavioristes, *"mais l'effet d'une connaissance antérieure, qui avait son intérêt, son succès, mais qui maintenant, se révèle fausse, ou simplement inadaptée. […] l'erreur est constitutive du sens de la connaissance acquise."* (Brousseau, 1998, p 119). Il est alors important de laisser les élèves produire des erreurs car elles sont "constitutives" du processus d'apprentissage (Balacheff, 1994a) et leur franchissement se fera par l'intermédiaire de situations nouvelles dont l'objectif est de perturber suffisamment la connaissance des élèves.

Ainsi, l'un des objectifs de la didactique est d'identifier les conceptions des élèves et de créer des situations dans le but d'aider les élèves tout d'abord à prendre conscience des limites de leurs connaissances par déstabilisation puis à construire de nouvelles connaissances par adaptations successives de ces dernières avec le milieu. Brousseau considère alors, que "seul un vrai problème" favorise des interactions répétées, dialectiques des élèves avec l'objet de savoir, et qui peut les motiver. C'est dans cette optique que le groupe SOC a développé les différentes tâches proposées aux élèves.

Néanmoins, si l'erreur s'apparente globalement à une non adaptation de la connaissance de l'élève à la situation proposée, la réponse "inexacte" renvoie à l'idée de jugement de type Vrai/Faux par l'enseignant à propos de la réponse de l'élève (Margolinas, 1993). Cette évaluation ne prend pas en compte la manière dont l'élève a résolu le problème : la démarche de résolution. En d'autres termes, la compréhension par l'enseignant de l'erreur commise par l'élève ne peut se passer de l'analyse de l'écart entre la connaissance de l'élève à la connaissance scientifique attendue. De notre point de vue, cette analyse relève d'une analyse *a priori*. Comme le souligne Danièle Coquin-Viennot (1985, pp 145-146), d'après Margolinas, c'est à partir de l'erreur que le chercheur s'éclaire sur le fonctionnement de l'élève et de ses conceptions : *"Est-il possible de définir un "degré d'acquisition" du concept en fonction du nombre et de la nature des tâches réalisées ? En analysant le type d'erreurs commises, on pourrait évaluer non seulement le degré d'acquisition, mais aussi la "qualité" de l'acquisition. Ce degré et cette qualité correspondante correspondraient à une représentation que l'enfant se fait du concept : une conception. A différents stades d'acquisitions correspondraient différentes "représentations" de plus en plus achevées. Mais des conceptions différentes peuvent également coexister et être plus ou moins disponibles selon les situations."*

Ainsi, la prise de conscience de l'erreur commise par l'élève semble jouer un rôle essentiel dans son cheminement "conceptuel". Cependant, comme nous l'avons précisé ci-dessus, pour que cette erreur ne soit pas "insurmontable" par l'élève, il est nécessaire que le problème posé, favorise alors une dialectique ente l'élève et les éléments de la situation qui en salle de physique reposent principalement

---

[18] 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.

[19] Le terme difficulté est pris dans le sens où l'on considère qu'un concept est délicat à "comprendre" et à construire par l'élève.

sur le protocole de TP comportant la consigne, le matériel expérimental, l'enseignant et les autres élèves. Les interactions successives sont censées alors favoriser cette prise de conscience de la non validité de sa "connaissance" et lui fournir peut-être les moyens de l'adapter.

I.1.3.3. Les difficultés et les conceptions des élèves

Les différentes tâches proposées dans les séquences de TP sont conçues en tenant compte des difficultés et conceptions des élèves. Cela, dans le but d'élaborer des activités dont la particularité est d'aider les élèves à surmonter leurs difficultés et leurs conceptions. Par exemple, la conception de la première activité des TP SOC qui demande d'expliquer ce qu'il se passe à l'origine du son fait suite à un recueil de données à partir d'un questionnaire : "*pour la majorité des élèves de Seconde, le son n'est pas systématiquement associé à une vibration*" (Environnement conceptuel du TP1, p. 1). Cela permet aussi de prévoir certaines réponses des élèves (analyse *a priori*) et d'éviter de concevoir des problèmes qui ont peu de chance de produire une adaptation des connaissances des élèves. En d'autres termes, qui ne donnent pas lieu à la remise en cause des connaissances antérieures des élèves.

Dans le cadre de l'enseignement du son, Vince (2000) a réalisé une synthèse de travaux à propos des conceptions des jeunes enfants (Piaget, Mazens, Asoko) et des élèves de niveaux secondaires et universitaires (Maurines, Linder, Foley, Arnaud). Nous reprenons ici une partie de la synthèse réalisée par Vince (2000, p. 89) à propos des conceptions des élèves relatives à la nature du son et au mécanisme microscopique de la propagation du son (Tableau 3). En effet, les séances de TP proposées dans l'hypermédia tiennent compte essentiellement de ces types de conceptions.

	Déplacement (éventuel) du milieu	**Milieu comme support**
Vision Macroscopique (M)	*M1 : son = "entité" de type matériel en mouvement* - se déplace d'autant "mieux" (vite, loin) que l'émission est forte, - crée un courant d'air	*M2 : son = "entité" en mouvement, sous forme de perturbation mal définie* (vibration, densité, compression, variation de pression, perturbation...)
Vision microscopique (□)	*□1 : "entité" portée par les molécules* particules en mouvement radial ou en mouvement saccadé	*□2 : "entité" affectée aux molécules* particules devenant "sonore" par "conduction" ou effet dominos, chocs ou mécanismes type "chaînes d'atomes"

Tableau 3 Conceptions classiques au sujet de la nature du son et des mécanismes de propagation

I.1.3.4. La co-construction des connaissances

Les séances de TP se déroulent par demi-groupes et les élèves sont par dyades et peuvent travailler ensemble. L'hypothèse sous-jacente à ce mode de fonctionnement est que les interactions verbales entre les élèves sont un support à la construction des connaissances. D'autant plus que les situations construites sont censées favoriser l'émergence d'une coopération dans la résolution des problèmes. Par exemple la rédaction d'une réponse commune demande une concertation entre les élèves. Nous signalons que cette hypothèse correspond pour d'autres chercheurs à une problématique de recherche "*Rappelons que le problème qui me préoccupe ici est d'explorer les relations entre l'argumentation dans les dialogues produits par des élèves qui coopèrent dans la résolution de problèmes, et les changements cognitifs engendrés chez eux.*" (Baker, 1996, p. 161)

I.2. En résumé

Dans cette première partie, nous avons présenté les principales hypothèses d'apprentissage prises en compte par le groupe SOC[20] lors de la conception des séquences de TP que nous reprendrons à notre compte. Les séquences de TP créées par ce groupe constituent la "matière première" de la conception de l'hypermédia. L'utilisation de cet hypermédia est donc dédiée à l'apprentissage de la physique *via* l'activité expérimentale : l'activité des élèves est essentiellement centrée sur la réalisation d'expériences.

Dans la partie suivante, nous présentons la manière dont nous sommes passés des TP SOC, formats papier, à l'hypermédia "Labdoc Son et vibrations". En d'autres termes, le "transfert" d'une situation d'enseignement en classe dont les éléments constitutifs sont par exemple, les protocoles de TP, le matériel expérimental, l'enseignant, et les élèves, à une situation d'enseignement utilisant principalement *"un environnement d'apprentissage* dédié à l'apprentissage du son[21] *intégrant l'hypertexte"* (Bruillard et de La Passardière, 1998, p. 97) et parfois du matériel expérimental. Cette transformation tient compte d'une part, des hypothèses d'apprentissage des TP SOC et celles formulées dans le cadre théorique (Partie 1) et d'autre part, de l'objectif de cette conception qui est de favoriser, *via* des activités expérimentales (simulées par exemple), l'apprentissage des éléments théoriques explicatifs des phénomènes sonores. L'hypermédia doit donc proposer aux élèves des conditions favorables pour élaborer et mobiliser des connaissances "pertinentes" en référence aux savoirs à enseigner.

II. "Transformation" informatique des éléments constitutifs d'une situation d'enseignement en classe pour créer un nouveau milieu

L'objet de cette section est de décrire la manière dont nous avons élaboré l'hypermédia "Labdoc Son et Vibrations" et ses différentes spécificités. En effet, à partir d'une analyse systématique des divers éléments composant la situation d'enseignement expérimental en classe, nous souhaitons présenter les transformations successives de ces éléments afin qu'ils puissent retrouver leur place dans l'hypermédia. Nous rappelons qu'au travers de ces éléments, nos principales hypothèses d'apprentissage sont véhiculées.

La finalité d'une telle étude est de faire émerger un milieu "informatique" à partir duquel les élèves interagissent. Cette transformation s'apparente à ce que Balacheff (1994b, p. 364) appelle transposition informatique : *"Ce que l'on place habituellement sous le terme d'informatisation ne constitue pas une simple translittération, les environnements informatiques d'apprentissage résultent d'une construction qui est le lieu de transformation nouvelle des objets d'enseignement. Nous appelons transposition informatique le processus ainsi mis en œuvre."*

Ainsi, à partir des différentes descriptions des éléments de la situation d'enseignement en classe, nous décrivons leurs transformations et ce qui est alors présenté au niveau de l'interface : *"lieu de*

[20] Pour plus de détail à ce sujet voir le travail de Vince (2000).

[21] C'est nous qui rajoutons.

communication entre l'utilisateur humain et le dispositif informatique. Elle (l'interface[22]) *permet la visualisation de représentations des connaissances"* (Balacheff, 1994b, p. 365). Mais, prenons le temps de s'intéresser à la transposition informatique dont parle Balacheff.

II.1. La transposition informatique

Pour Balacheff (1994b), la création d'un environnement d'apprentissage conduit à une ou plusieurs nouvelles[23] transformations des *"objets d'enseignement"* (p. 364) qui sont *"dues à des contraintes matérielles et logicielles des supports informatiques de réalisation qui affectent le savoir"* (Artigue, 1995, p. 19). Balacheff (1994b) identifie les modifications de ces objets d'enseignement au niveau des trois "univers" composant le dispositif informatique : l'univers interne (qui correspond au composant électronique et d'une manière opérationnelle au langage de programmation), l'interface et l'univers externe du sujet humain interagissant avec le système. Dans le cadre de notre recherche, seules les transformations relevant de l'interface et de l'utilisateur nous concernent. Comme le précise Balacheff (1994b, p. 367) l'interface est *"le lieu de ce qui est souvent désigné comme la* réification *des connaissances : visualisation et manipulation directe d'entités abstraites donnant à voir des comportements évocateurs de leurs propriétés ; les phénomènes à l'interface, "offerts" à la perception donneraient ainsi une référence concrète aux concepts en jeu"* et d'autre part c'est dans l'univers externe que l'utilisateur interagissant avec l'interface va donner un sens au savoir. De ce point de vue, deux principaux problèmes émergent :

1. Au niveau de la visualisation des objets d'enseignement (ou caractéristiques fonctionnelles et sémiotiques de l'interface (Artigue, 1995, p. 17))

L'univers interne et l'interface combinent des effets générateurs et des phénomènes non intrinsèques aux entités représentées. De plus, la représentation à l'interface est dépendante du *"pavage fini de pixels qui contraint la qualité perceptive des dessins"* (Balacheff, 1994, p. 368), ce qui peut conduire à des conséquences sur l'apprentissage.

2. Au niveau de la manipulation directe

La manipulation directe introduit une dimension "perceptivo-gestuelle" qui est vue comme la communication entre un sujet et l'interface. Cependant, Balacheff (1994b, p. 369) considère que l'un des problèmes relatifs à l'interface est qu'elle n'est pas "*sous son* (le sujet[24]) *contrôle théorique, et elle peut dans ce cas devenir une référence relativement à laquelle la connaissance est construite".* L'auteur différencie les actions qu'un sujet peut mener au niveau de l'interface et la compréhension du sujet relatif à la représentation qu'il crée et/ou qu'il peut observer. En fait, l'auteur soulève les problèmes relatifs aux représentations présentées au niveau de l'interface qui peuvent conduire à l'apprentissage de connaissances non pertinentes du point de vue de l'objet d'enseignement si le sujet n'est pas conduit à prendre conscience de l'écart entre ce qui est représenté, l'objet réel, et la théorie en jeu.

[22] c'est nous qui rajoutons.

[23] Nouvelles car Balacheff reprend l'idée que le savoir à enseigner (ou objet d'enseignement) est le fruit d'une première transformation appelée transposition didactique (voir Chevallard, 1986).

[24] C'est nous qui rajoutons.

Au travers de la description de ces deux problèmes, Balacheff pose le problème de la validité des connaissances représentées à l'interface d'un ordinateur pour un apprenant par rapport au savoir de référence et celui de la nature des apprentissages qui peuvent en résulter. Dans la dernière partie de notre travail (voir II.3), nous illustrerons par un exemple la transformation du savoir lors de la mise en place des simulations.

II.2. Les éléments de la situation d'enseignement expérimentale

Une situation d'enseignement en classe de physique est composée principalement des éléments suivants :

- Des fiches de TP
- Un enseignant
- Une dyade et les autres élèves
- Du matériel expérimental lié à l'enseignement du son

Chacun de ses éléments dans la situation d'enseignement en classe joue un rôle particulier que nous détaillons ci-dessous.

II.2.1. La fiche de TP

II.2.1.1. En situation de classe

La fiche de TP peut être vue comme le scénario "formalisé" d'une séquence d'enseignement qui dure environ une heure et demie. Le texte, qui inclut parfois des dessins et des graphiques, est organisé selon les divers objectifs de la séquence (voir Figure 8) et propose successivement des phases "pratiques" (expérience à réaliser ou résolution d'un problème à partir d'une expérience) et "théoriques" (introduction de la théorie en jeu) (voir I.1.1.3 Les TP-Cours"). L'activité des élèves va donc être guidée par le scénario élaboré par l'enseignant. Or, comme le travail de recherche de Bécu-Robinault (1997) l'a montré, en comparant les niveaux de savoir impliqués dans les consignes de TP et ceux mobilisés par les élèves, *"les élèves utilisent de manière préférentielle des éléments du modèle physique pour répondre aux activités proposées"* (Bécu-Robinault, 1997, p. 229) et d'autre part, les niveaux de savoir mis en jeu par les élèves semblent dépendre :

- Du but de la question qui doit relever de l'un des niveaux que les élèves sont censés mettre en œuvre ou que l'enseignant doit inciter à prendre en compte.
- Des niveaux de savoir de la question.

Les sources du son et leur effet sur la perception auditive

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.

On peut toucher les branches du diapason quand on frappe légèrement puis quand on frappe fort.

Quelles sont les différences entre ces deux expériences :
- au niveau de ce que vous entendez?
- au niveau du comportement des branches?

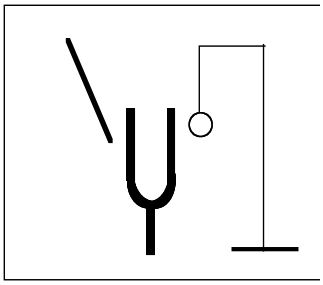


Figure 8 : Exemple d'une Fiche de TP SOC

II.2.1.2. Dans l'hypermédia

La fiche de TP distribuée aux élèves comporte entre une et trois pages. Leur mise à l'écran ne peut se faire spontanément. En effet, proposer en tant qu'hypermédia une simple reproduction des fiches de TP n'a pas de réel intérêt : cela reviendrait à utiliser l'ordinateur comme un support papier (un pupitre électronique) sans tenir compte par exemple de ses potentialités "multimédia".

Nous présentons ci-dessous l'organisation des informations en fonction des contraintes ergonomiques et des hypothèses d'apprentissage, sachant que nous connaissons au préalable le type d'utilisateurs, des élèves de 14-16 ans, les différentes tâches (celles des TP SOC), et l'activité possible de l'utilisateur. Comme le souligne Scapin (1986, p. 47), *"une activité des plus importantes dans la conception des écrans est l'analyse de la tâche et de la population des utilisateurs. Bien que souvent ce soit l'analyse de l'activité qui reçoive le moins d'attention, c'est celle qui permet de savoir précisément ce qui doit être sur l'écran, à quel moment et en conséquence le type d'affichage à utiliser, sa taille, sa compatibilité avec d'autres affichages".*

L'organisation des contenus en fonction des contraintes ergonomiques

Cette organisation implique au moins la prise en compte des cinq points suivants.

- Espace et densité à l'écran

Nous avons pris le parti de placer dans une page-écran un texte limité en nombre de phrases (environ 8 phrases par page[25]). En effet, selon certaines recherches citées par Caro et Bétrancourt (1998, p. 129), la quantité nécessaire d'espaces blancs sur un document papier serait de 25% à 40% et de 40% à 60% sur un écran. Les auteurs en référence à Van Nes (1986) précisent que *"sur un écran le temps nécessaire pour retrouver une information augmente quand la densité* (informationnelle[26]) *s'accroît"* (Caro et Bétrancourt, 1998, p. 129). De plus, la "performance" des utilisateurs est desservie lorsque la

[25] Seules les pages-écran intitulées "Synthèse", "En conclusion", "Objectif", " Prérequis" contiennent un grand nombre d'informations textuelles.

[26] C'est nous qui rajoutons.

charge informationnelle est trop élevée ou trop faible (Scapin, 1986, p19) : c'est le fameux chiffre 7, nombre magique de George Miller qui *"montrait que la capacité de l'individu à distinguer de manière indiscutable des stimuli, à distinguer les phénomènes les uns des autres, à estimer correctement les nombres, et à se rappeler un certain nombre d'items discrets, semble subir un changement critique aux environnements de sept items. En dessous de ce nombre, les individus peuvent facilement réaliser de telles tâches : au-dessus, ils ont de fortes chances d'échouer "* (Gardner, 1993, p. 109).

- Multifenêtrage et Onglets

Le multifenêtrage est utilisé seulement lors de l'appel du mini-dictionnaire. Dans ce cas, la fenêtre se place au centre de la page-écran initialement ouverte et empêche son accès. Cette contrainte se justifie du fait que l'appel du mini-dictionnaire est associé à un besoin d'informations pouvant être déclenché par exemple par la lecture de la question posée dans la tâche, une demande d'un des élèves. Nous considérons que la recherche effectuée dans cette nouvelle fenêtre correspond à la réalisation d'une tâche complémentaire à la précédente.

Cependant, certaines tâches auraient nécessité l'utilisation du multifenêtrage tel que l'on peut l'entendre avec une succession de fenêtre qui peuvent se chevaucher et présenter diverses informations ce qui permet de les comparer et les mettre en relation par exemple. Or, Caro et Bétrancourt précisent que *"si les fenêtres se recouvrent, on perd cet avantage"* (1998, p. 132). Pour éviter ce problème, nous avons utilisé le principe des onglets (Figure 9). Ils permettent de ne pas surcharger l'écran (éviter la surcharge cognitive), de ne pas désorienter l'activité de l'élève et, favorisent une "activité contextualisée". En effet, l'utilisateur reste dans la même page-écran et peut appréhender par un code de libellé (Mesure, Aide, etc.) l'information associée. Ainsi, au niveau de la construction des séquences de TP, les onglets permettent de :

- proposer des tâches successives avec un même objectif sans sortir de la page-écran (Figure 9),
- présenter des informations pour soutenir la résolution d'un problème : l'onglet Aide.

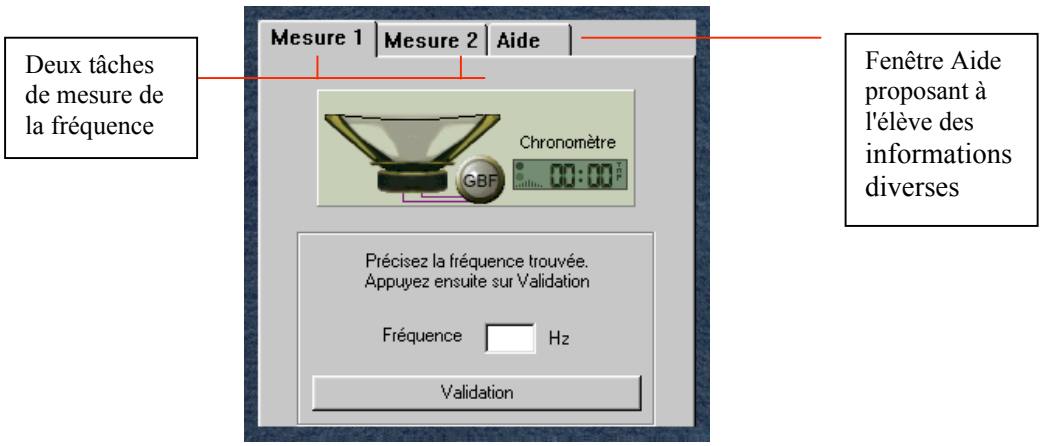


Figure 9 Exemple d'onglet lors de la tâche Première expérience de sensibilisation du TP4

- Un code de couleur

Un code de couleur est utilisé pour distinguer :

- les pages-écrans introduisant un concept : couleur rose,
- les escamots[27] (bleu), les liens hypertextes (vert),
- les réponses intitulées "réponses du professeur" sont en rouge,
- les différents lieux (un fond d'écran associé à chacun des lieux) dans lesquels l'élève peut naviguer.

Néanmoins, Scapin (1986, p. 60), souligne qu'il faut limiter des codes de couleurs afin d'éviter de surcharger les pages-écrans et leur lisibilité.

- L'utilisation de libellé (ou Labelling, Scapin 1986, p. 60)

Chaque page-écran possède deux sortes de libellé. Un titre descriptif de la tâche à réaliser (Observation, interprétation, etc.) et un titre générique indiquant le "thème" de la tâche comme par exemple "Expérience du diapason".

- Une navigation linéaire

La scénarisation initiale des TP contraint à créer une navigation linéaire impliquant une activité guidée de l'apprenant. Cependant, pour les utilisateurs qui souhaitent ne réaliser que certaines tâches, nous avons fourni des "outils" pour une navigation non-linéaire entre les séquences (index des TP), et à l'intérieur d'une séquence (organigramme permettant d'aller directement à une tâche donnée).

L'organisation des contenus en fonction des hypothèses d'apprentissage

Les hypothèses d'apprentissages permettent d'organiser les informations aux niveaux de la page-écran (point 1) et d'élaborer les consignes des différentes tâches (point 2).

- Une division de l'écran en zones dédiées selon les systèmes sémiotiques de l'information

Lorsque les informations d'une même page-écran appartiennent à deux systèmes sémiotiques différents (textuelle et graphique), nous avons pris le parti de scinder la page pour diverses raisons :

- permettre à l'élève de distinguer la signification de chacune des représentations,
- favoriser la mise en relation entre les représentations sémiotiques (Duval, 1995),
- améliorer la compréhension et la mémorisation des informations (Sweeller & al, 1990),
- éviter de mélanger dans une tâche donnée la consigne et le support dans la mesure où ils donnent lieu à des actions différentes qui sont la lecture et la manipulation.

- La construction de la consigne

L'élaboration d'une consigne prend en compte :

- l'explicitation dans la constitution de la consigne de "l'action cognitive" attendue car comme le justifie Dumas-Carre (1987, p. 113) ce sont des actions que font les experts et que ne font pas les novices d'une part et, l'absence de ces actions peut expliquer les erreurs bien connues des novices d'autre part,

[27] Un escamot ou pop-up est un ensemble d'informations intégrées dans une fenêtre temporaire apparaissant uniquement sous l'action de l'utilisateur.

- les niveaux de savoir de la consigne et les niveaux de savoir du but de la question (Becu-Robinault, 1997),
- un ensemble de données prises en classe (des productions des élèves, des films, des analyses d'activités) afin de prendre en compte certaines attentes des élèves, leurs difficultés à "comprendre" la question, etc.

II.2.2. Le rôle de l'enseignant / TP SOC

L'objectif d'un tel système n'est pas de remplacer l'enseignant ce qui est impossible vu l'ampleur de son rôle social par exemple. Au contraire, la prise en compte du fonctionnement de l'enseignant dans la classe permet d'élaborer, dans l'hypermédia, des séquences d'enseignement "interactives". Nous n'avons pas la prétention de recréer l'ensemble des actes significatifs d'un enseignant évoluant dans sa classe (ce qui n'est pas notre objectif) mais de nous restreindre à :

- recréer un processus de dévolution afin de favoriser la prise en charge par les élèves des différentes tâches qui lui sont proposées,
- reproduire une partie du processus d'institutionnalisation,
- intégrer certaines facettes du feed-back de l'enseignant (prendre acte de ce que les élèves ont fait),
- offrir une aide adaptée aux difficultés des élèves selon la tâche réalisée : les ressources,
- motiver les élèves : les animations, les vidéos, les simulations, l'entretien d'une certaine relation sociale vis à vis de l'élève ("Une petite pause", les différents visages de Fripini…).

II.2.2.1. Le processus de dévolution

En situation de classe

Au départ, l'enseignant doit recontextualiser et repersonnaliser le savoir à enseigner en vue de l'enseigner (le groupe SOC aide l'enseignant dans cette démarche). Il est amené à créer des situations d'enseignements propices à la construction de sens. Elles sont censées favoriser la production libre des connaissances et des réponses des élèves lors d'interactions avec les éléments de la situation. Ces situations impliquent que les élèves ne peuvent obtenir la réponse et mobiliser la connaissance attendue *"que par une adaptation personnelle au problème proposé"* (Brousseau 1998, p. 302). Les élèves, redécontextualisent et redépersonnalisent leur savoir afin de le mettre en relation avec celui de *"la communauté scientifique et culturelle de leur époque"* (Brousseau, 1986, p. 38).

Les situations d'enseignement produites sont donc organisées pour que les élèves parviennent à élaborer une réponse personnelle et à adapter leurs connaissances selon les exigences du milieu et non de l'enseignant. Pour cela, l'enseignant dévolue le problème aux élèves en essayant :

- de les rendre responsable du problème et de la relation entre la décision à prendre et le résultat possible (la causalité),
- de les amener à rechercher à résoudre le problème dont il ignore la réponse, et à construire le savoir en jeu,
- d'élaborer un problème cohérent avec le domaine de validité du modèle.

Dans l'hypermédia

Sur un support informatique, parler de dévolution nécessite d'élargir ce point de vue. Nous considérons qu'une séance de TP à partir de l'hypermédia consiste à réaliser un nombre donné de tâches (à peu près une par page-écran). De ce fait, la dévolution ne se situe pas sur un problème pendant une heure et

demie, mais sur l'ensemble des tâches proposées. Pour cela, il faut que les élèves aient à la fois la sensation lors de l'ouverture de chacune des pages-écrans, d'être en présence ou non d'une tâche à résoudre, et de considérer que la finalité de la résolution ne consiste pas à donner une réponse, mais de parvenir à donner celle qui est attendue ce qui implique leur responsabilité dans la démarche choisie. En d'autres termes, les élèves doivent envisager la manière de résoudre le problème sans le recours à l'enseignant. Ainsi, nous sommes amenés à nous interroger sur les éléments des situations susceptibles de favoriser l'implication des élèves dans la réalisation des tâches.

- Les feed-back qui peuvent "entretenir" la résolution d'un problème

Lors de la demande de validation de leur réponse, un message est retourné aux élèves. Il précise l'état de la réponse et dans le cas où celle-ci serait erronée, il leur conseille de se référer aux ressources disponibles comme l'onglet Aide, le cours, etc. Nous pouvons supposer que ce type de message peut maintenir les élèves impliqués dans la résolution du problème.

- Un système qui permet aux élèves d'évaluer par eux-même leurs réponses en terme d'échec et de réussite

L'intégration d'un tel système, qui permet la répétition des réponses erronées, donne la possibilité aux élèves de tester de manière autonome leurs différentes stratégies. Cela peut les inciter à être responsable dans les décisions à prendre et les amener à envisager une relation entre la décision prise et le résultat donné.

- Des simulations permettant de vérifier les stratégies de résolution

Les élèves peuvent agir sur les simulations proposées. Ils ont donc les moyens de vérifier leurs prédictions, leurs stratégies de résolution. Nous supposons qu'elles favorisent un rapport personnel des élèves avec le savoir en jeu.

- Des ressources faciles d'accès

Dans le cas où les élèves donnent une réponse erronée, différentes ressources informationnelles sont proposées. Elles peuvent permettent aux élèves de prendre conscience de l'écart entre leur connaissance et celle qui est présentée. Comme nous le verrons dans le chapitre suivant (Chapitre 5), différentes ressources ont été construites :

- ressources rassemblées dans cinq lieux que nous désignons sous la terminologie de salle de TP, salle d'expérience libre, salle de cours, salle d'exercices, bibliothèque,
- un mini-dictionnaire,
- un onglet Aide proposant des informations en lien avec la tâche à réaliser,
- des escamots proposant dans une fenêtre la définition des termes soulignés.

II.2.2.2. Le processus d'institutionnalisation

Comme nous l'avons présenté dans le cadre théorique (Chapitre 3), institutionnaliser est l'un des rôles de l'enseignant puisque c'est lui qui désignera aux élèves la connaissance "qu'ils devront savoir" et c'est lui qui donnera un statut "officiel" à certaines de leurs actions, formulations en relation avec cette connaissance. Ainsi, institutionnaliser la réponse des élèves dans le cadre de la conception de l'hypermédia va consister à élaborer une page-écran présentant les objectifs de la séance, construire une page de synthèse de la séquence de TP, créer un système évaluateur des réponses des élèves, un

bouton réponse du professeur et élaborer des messages significatifs à propos des actions des élèves : le feed-back. Ces différents points sont discutés ci-dessous.

II.2.2.2.1. Les pages-écrans "Objectifs" et "Synthèse"

Les pages-écrans "Objectifs" et "Synthèse" ont un statut d'institutionnalisation. Elles présentent le savoir que les élèves vont "devoir apprendre" en début de séquence de TP et qu'ils sont censés "connaître" en fin de séquence. Nous supposons qu'elles peuvent s'apparenter aux actions de l'enseignant lorsqu'il indique aux élèves les éléments théoriques qui ont un intérêt et un statut culturel (Brousseau 1998, p. 76).

- *Les objectifs de la séance* : ils indiquent l'ensemble des éléments théoriques que les élèves vont rencontrer dans la séance et qu'ils sont censés "apprendre".
- *La synthèse* : C'est la dernière page-écran de chaque séquence. Elle présente les éléments théoriques introduits durant la séance. Elle a pour rôle d'indiquer aux élèves l'ensemble des informations qui participent à l'élaboration d'un savoir nouveau, détaché du particularisme des situations. Elle correspond au cahier de l'élève[28] distribuée par l'enseignant en fin de séance. C'est un bilan établit pour l'élève qui n'est pas réalisé, contrairement en classe, lors d'un échange entre l'enseignant et les élèves.

II.2.2.2.2. L'évaluation

En situation de classe

"L'évaluation des connaissances" semble pouvoir répondre aux exigences de l'institution introduit par Brousseau. En effet, du point de vue des apprenants, l'évaluation leur permet d'apprécier ce qui doit être considéré comme important de connaître et de savoir-faire. Du point de vue de l'enseignant, l'évaluation lui permet de prendre conscience de la manière dont les élèves ont pris en charge les objets de l'enseignement et le sens qu'ils en ont construit. Toutefois, nous nous plaçons dans le cadre d'une évaluation formative qui *"scande les progrès de l'élève, et lui permet de prendre conscience de ses insuffisances en temps réel et de les surmonter"* (Joshua & Dupin, 1993, p. 257). Comme le précisent les auteurs, ce n'est pas uniquement l'évaluation qui va contribuer à ces *"bénéfices"* : *"ils découlent aussi du changement de rapport avec les savoirs, c'est-à-dire du changement parfois sensible du contrat didactique"*. (Joshua & Dupin, 1993, p. 257)

Dans l'hypermédia

Dans l'hypermédia, l'évaluation diffère selon le type de tâche à résoudre :

1. Des tâches où l'on demande aux élèves d'expliciter leur modèle spontané, leurs connaissances antérieures.

Au cours de ces tâches, les élèves rédigent leur réponse et la comparent à celle qui est proposée (voir II.2.2.2.3 La "Réponse du professeur"). Notre objectif est que les élèves explicitent leurs conceptions initiales en lien avec l'observation d'un événement. De plus, pour éviter un contrat "trop fort", nous avons pris le parti de ne pas analyser leur réponse (ce qui pose aussi d'importantes difficultés techniques) afin de leur donner la liberté de proposer leurs propres modèles explicatifs. De ce fait, les élèves peuvent se sentir détachés de la contrainte de formuler "la bonne réponse". L'évaluation personnelle que l'élève va réaliser en lisant la réponse proposée et institutionnalisée (la réponse du

[28] Ce cahier regroupe l'ensemble des éléments théoriques que les élèves sont censés mettre en œuvre durant la séance de TP.

professeur) est censée l'aider à prendre conscience le cas échéant du décalage entre sa connaissance et celle qui est demandée.

2. Des tâches qui font appel à un modèle déjà introduit auparavant ou objet de la tâche.

A chaque demande de validation, l'évaluation consiste à une comparaison entre la réponse donnée par l'élève et celle qui est attendue par le système informatique. Puis, un message est retourné précisant "l'état" de la réponse ("exacte" ou "inexacte") qui est l'une des manifestations du feed-back (voir II.2.2.2.4). Lorsque la réponse est inexacte, le système leur permet de recommencer jusqu'à ce qu'ils obtiennent la solution. Ils réalisent alors de nouvelles actions, de nouvelles décisions, tout en cherchant sur le même problème : *"C'est-à-dire que pour lui* (l'élève) *la situation peut se répéter, car c'est sa connaissance qui doit évoluer, à la faveur des validations apportées par le milieu, en particulier"* Margolinas (1993, p. 116). Ainsi, même si la réponse de l'ordinateur est en terme de vrai ou faux, il semble important de permettre à l'élève de recommencer à partir de la même situation ou une similaire afin qu'il puisse prendre conscience de son erreur.

II.2.2.2.3. La "Réponse du professeur"

En situation de classe

La phase d'institutionnalisation peut commencer au moment où la dévolution s'arrête (Margolinas 1993). Cette institutionnalisation consiste alors à rendre "officiel" la connaissance des élèves par rapport au savoir culturel. La réponse du professeur à la classe arrête la résolution du problème par l'élève et à proposer une réponse en lien avec l'objet de savoir institutionnel. Par exemple, lors de l'activité expérimentale du TP1 à partir de laquelle l'élève a pu décrire le comportement de la source dans les termes de la vibration ou de mouvement d'une manière plus ou moins vague, l'enseignant peut proposer alors la réponse suivante : "Chaque source de son possède une de ses parties qui vibre. Une vibration est un mouvement de va et vient plus ou moins rapide d'un objet déplacé de sa position de repos et qui y est ramené."

Dans l'hypermédia

La "réponse du professeur" n'est pas un message retourné spontanément par l'hypermédia lorsque les élèves ont réalisé la tâche : les élèves doivent s'impliquer dans l'appel de cette réponse. Par exemple, à la suite de la demande de validation (voir précédemment tâche du deuxième type), et dans le cas où cette dernière est "exacte" le système retourne un message qui indique à la fois la "réussite" à la tâche et la possibilité de consulter la réponse du professeur *"Vous avez bien construit la chaîne sonore. Cependant, il vous est conseillé de consulter la réponse du professeur pour en savoir plus"*.

Ainsi, les élèves peuvent comparer leur propre explication à celle qui est attendue : l'explication proposée est donc celle de référence comme peut l'être celle du professeur. La distinction entre la phase de demande de validation de la réponse de celle la lecture de la réponse du professeur a pour fonction d'observer par exemple la confiance de l'élève dans la connaissance qu'il a mise en œuvre, si ce dernier ne la sélectionne pas.

II.2.2.2.4. Le Feed-back de l'enseignant

En situation de classe

Dans une situation d'enseignement, le professeur (élément du milieu) peut *"sanctionner positivement ou négativement"* l'activité de l'élève durant la résolution d'une tâche l'amenant à adapter ou à modifier sa connaissance. *"L'élève de son coté, a un "feed-back" qui est l'appréciation portée par le professeur*

sur la validité au regard des règles, des propositions qu'il a faites" (Brousseau, 1998, p 31). Cette interaction n'a de sens que dans le but d'impliquer les élèves dans la réalisation de la tâche proposée : c'est-à-dire dans le projet commun que les élèves donnent du sens au savoir en jeu.

Dans l'hypermédia

En communication, le feed-back (ou rétroaction) désigne "la réaction du récepteur au message émis et son retour vers l'émetteur" (Picard, 1995, p. 28). C'est une conception circulaire de la communication introduisant la notion d'interaction : *"le concept de communication, écrit encore G. Bateson, devrait comprendre tous les processus par lesquels les gens s'influencent les uns les autres [...] Cette définition repose sur la prémisse que toutes les actions et tous les événements possèdent des aspects communicationnels dès qu'ils sont perçus par un être humain ; cela implique en outre qu'une telle perception modifie l'information d'un individu et par conséquent exerce une influence sur lui"* (Bateson et Ruesch, 1951 ; d'après Picard, 1995). Maintenant, plaçons-nous dans le cadre plus restreint de l'apprentissage du point de vue de l'élève. Selon Brousseau, le feed-back associé à une situation a pour rôle d'influencer les actions des élèves.

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. Il correspond aux diverses réponses visuelles (texte, image, animation,…), et sonores que le système est capable de fournir aux élèves selon ses activités " fonctionnelles " ou " cognitives ". En aucun cas il fait suite à un diagnostic des connaissances mises en jeu par les apprenants lors de la réalisation d'une tâche. Le feed-back que nous avons construit vise à annoncer par un message écrit le résultat de la comparaison entre la réponse proposée par les élèves lors de la demande de la validation et celle qui est attendue. La forme du message est par exemple "*Attention !!! La fréquence saisie est incorrecte. Il est conseillé de consulter l'aide proposée puis de faire à nouveau la mesure*".

Toutefois, le feed-back ne donne pas lieu à une "correction directe" et simple des erreurs des élèves ce qui conduirait finalement à une sorte de dressage, voire conditionnement (Dimitracopoulou, 1995) : les élèves sont dépendants des messages retournés et ne développent pas la capacité à corriger leurs erreurs.

Or, nous considérons que l'erreur n'est pas à éviter (I.1.3.2), elle est constitutive du processus d'apprentissage (Brousseau, 1998). Par conséquent, nous souhaitons que les élèves parviennent à adapter leur réponse par eux-mêmes en s'aidant des ressources disponibles. La conception de l'hypermédia a donné lieu à quatre types de feed-back :

- Après une réponse inexacte indiquée à partir d'un point coloré (rouge), le système ne spécifie pas l'erreur et propose à l'élève une situation analogue à résoudre (il peut y en avoir au maximum 5 dans notre cas).
- A la suite d'une réponse inexacte, le système indique le "lieu" de l'erreur (à partir d'un point coloré) et demande à l'élève de modifier sa réponse.
- Après une réponse inexacte, le système ne spécifie pas l'erreur, retourne un message qui conseille à l'élève de consulter les ressources disponibles (le cours, le mini-dictionnaire , l'Aide,…) et de proposer à nouveau une réponse.
- A la suite d'une réponse inexacte, le système renvoie un message qui tend à lui montrer pourquoi sa réponse n'est pas valide (très peu de cas dans l'hypermédia construit).

Les limites de notre système :
Le feed-back proposé lors de la validation n'explique pas en quoi ce que les élèves ont réalisé est "inexact". Les élèves sont censés réaliser le lien entre le message retourné *"la réponse est inexacte"* et l'erreur réalisée : ils doivent prendre conscience par eux-mêmes de l'erreur commise au cours de la résolution du problème. Nous supposons que cela peut favoriser la relation personnelle des élèves au savoir en jeu.

II.2.3. L'activité expérimentale

En situation de classe
Lors d'une séquence de travaux pratiques sur le son en classe, les élèves manipulent différents objets (un haut-parleur branché à un générateur basse fréquence, un microphone, un oscilloscope), réalisent les expériences proposées et observent divers événements. Au cours de la présentation des TP SOC (I Les TP SOC : A l'origine des séquences de TP dans l'hypermédia), nous avons montré que les objets et les événements observables interviennent dans des diverses activités, dites activités de modélisation (prédire, décrire, interpréter, etc.) dont l'objectif est de favoriser l'utilisation et/ou l'acquisition du modèle en jeu.

Dans l'hypermédia
L'hypermédia est un système d'information basé sur des documents de différentes natures (texte, dessin, sons, animation, vidéos, simulation, …) interconnectés par des liens permettant une lecture non linéaire à l'initiative de l'utilisateur. Ce sont ces divers systèmes de représentations (Chapitre 2) inhérents à l'hypermédia qui vont nous aider à recréer un ensemble d'activités expérimentales essentielles à l'activité de modélisation. Le système sémiotique privilégié est la représentation dynamique qui permet d'observer et de retracer dynamiquement les transformations physiques d'un objet au cours du temps. Sinon, comment peut-on observer un événement tel qu'un mouvement, un son, une lumière, etc. Ainsi, les activités expérimentales que nous rencontrerons seront organisées à partir de vidéos, d'animations, et de simulations. Nous décrivons ci-dessous, comment la vidéo et la simulation[29] peuvent servir de support à un tel projet didactique et véhiculer, dans une certaine mesure, le sens que la situation d'enseignement en classe peut produire chez les élèves.

II.2.3.1. Le film

A la suite d'une présentation succincte du rôle de la vidéo dans l'enseignement, nous décrivons, au sens de Jacquinot (1977), les conditions pour qu'un film ait une intention didactique ce qui nécessite de s'intéresser au contenu et à l'activité de l'utilisateur.

II.2.3.1.1. Le rôle de la vidéo dans l'enseignement

Dans une synthèse à propos *"du rôle de la vidéo dans l'acte pédagogique et en tant qu'outil d'enseignement-apprentissage"*, Quintana-Robles (1997, p. 64) précise que les principaux apports de la vidéo résident en *l'illustration* d'un événement dont le professeur est en train de parler, en *aide à la motivation* (rôle attentionnel de l'image, impact affectif de l'image) ou *à la mémorisation*. Ensuite, en référence aux recherches de Duchastel et al (1988), elle ajoute qu'un tel outil favorise la compréhension des élèves car il permet d'observer un phénomène tout en ayant simultanément

[29] Nous n'avons pas fait d'analyse de l'animation car elle correspond à une représentation animée de la réalité dont le montage peut s'apparenter à celui d'un film.

l'explication : *"l'image joue un rôle de complément didactique dont la fonction est de favoriser la compréhension et la rétention des informations verbale ou écrite"* (Duchastel & al, 1988). Enfin, la vidéo permet de reproduire le déroulement d'un événement, l'évolution d'un phénomène à condition de tenir compte de l'aspect réducteur de l'image (Jacquinot 1984). Toutefois, Quintana-Robles (1997) précise qu'un tel outil n'est véritablement une aide pédagogique qu'à condition d'une part qu'il se réfère à un apprentissage conceptuel particulier et que ceux qui observent la vidéo soient capables de contrôler le rythme de défilement des images et d'autre part, que l'image soit un support dans la construction des connaissances[30]. En effet, elle souligne certains aspects négatifs de la vidéo comme la passivité du spectateur liée à l'impossibilité d'interférer dans le cours du message transmis, puisque la vitesse de déroulement du film ne laisse pas le temps suffisant pour décoder chaque image et la liberté réduite de lecture qui est dû est au sens prédéfini ou directionnel du défilement des images.

II.2.3.1.2. L'intention didactique dans le film

Pour Jacquinot (1977), un film à *"intention didactique"* a une structure signifiante propre qui repose sur les points suivants[31] :

- Relation entre le message filmique et le monde qu'il représente

Jacquinot considère que le référent de l'image est le monde. Cependant, les éléments du monde que l'on retrouve dans un film ne fonctionnent pas comme dans le monde, ils sont *"soumis à un processus de signification et fonctionnent selon d'autres codes"* (Jacquinot, 1977, p. 60). Elle ajoute que le film est *"un simulacre de la perception"* : *"tous les éléments qui interviennent dans un film narratif ont pour caractéristique commune et fondamentale de fabriquer un monde qu'ils ont l'air de reproduire : c'est ce que l'on appelle "impression de réalité" qui est, en fait, une illusion de réalité"*. Par exemple, un film dédié à un enseignement scientifique intègre certains éléments comme la main de l'enseignant, la blouse du physicien, des interpellations (…), qui sont des codes que l'élève est à même d'identifier.

- Un discours centré sur le destinataire

Jacquinot précise que le message, dans le cas d'un film didactique, prend en compte le destinataire qui est ici l'élève. Cette implication peut se faire au travers du message global, du son (ton du commentaire, interrogation, silence,…), de l'image (zoom, mouvements de caméras,…) ce qui peut conduire chez le destinataire à des comportements variés. Il existe deux sortes d'énoncés dans le discours filmique : iconique et linguistique. L'énoncé iconique présente ce dont on parle, l'énoncé linguistique précise qui en parle et comment on en parle.

- Codification de l'agencement des images

La codification correspond à l'organisation des différentes images en un discours. Cette organisation n'est pas aléatoire, mais dépendant de l'objectif que l'on a défini. Ce codage est censé favoriser la relation entre le signifiant et le signifié. Par exemple, *"le ralenti ou l'arrêt sur l'image se substitue sans transition au mouvement réel pour aider à voir ce qui n'est pas visible en situation de perception normale"* (Jacquinot, 1977).

[30] " la connaissance n'est pas la fille de la perception ; sans doute l'image peut-elle aider par sa puissance de mobilisation mais elle n'est point, en elle-même, source d'apprentissage…" (Piaget J., Cités par Mottet, 1996).

[31] Cette description a pour objectif de montrer de quelle manière nous avons construit nos séquences vidéos.

- Articulation des rapports entre la bande image et la bande son

L'une des finalités de cette articulation est d'assurer *"le contrôle parfait de l'image"*. C'est au travers du rapport son/image que la signification du message prend son importance. Par exemple, lorsque le discours est premier, l'image a une fonction d'illustration. Dans le cas inverse, le discours correspond à un commentaire de l'image.

II.2.3.1.3. Grille permettant l'élaboration des vidéos

A partir de la thèse de Robles (1997) et en reprenant le point de vue de Jacquinot (1977), nous avons élaboré une grille d'analyse permettant de créer les films "didactiques" proposés dans l'hypermédia. Elle se compose des quatre points suivants :

- Préciser l'objectif du discours filmique en relation au savoir à enseigner,
- Expliciter le contenu dans l'énoncé iconique,
- Expliciter le contenu dans l'énoncé linguistique,
- Analyser les phrases du discours selon les niveaux de savoir (Chapitre 2) et selon le critère de "structure" de la phrase que Robles (1997, p. 69) détaille de la façon suivante :
  - A : phrase autonome proprement dite. Elle n'a aucun rapport avec l'image
  - ASR : phrase de légende autonome sans relation avec l'image mais qui permet de se faire une idée du thème abordé.
  - SP : sens partagé : convergence entre le message iconique et la parole, phrase contextualisée et intime à l'image.

Nous appliquons cette grille sur l'une des vidéos proposée dans l'hypermédia.

II.2.3.1.4. Exemple de conception de vidéos dans l'hypermédia

Nous appliquons ci-dessous la grille à partir de la vidéo de l'expérience du haut-parleur proposée dans le TP1.

- Objectifs du discours filmique en relation avec le savoir : montrer que la source de son vibre lors de l'émission d'un son perceptible ou non.
- Le contenu dans l'énoncé iconique doit permettre : l'observation du mouvement de la membrane du haut-parleur dans le domaine des infrasons et du mouvement des morceaux de polystyrène dans le cas où l'on perçoit un son (on ne voit plus bouger la membrane).
- Le contenu dans l'énoncé linguistique : il précise les quatre étapes de l'expérience.
- Structure des phrases du discours : lors des trois premières étapes de l'expérience, les phrases du discours précèdent l'image. L'image illustre donc le texte. La dernière image et le texte se juxtaposent.

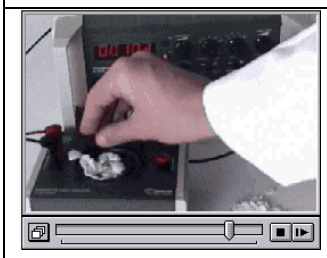
Image correspondante	Phase	Type de phrase	Niveau de savoir
	Alimentons le haut-parleur et observons sa membrane.	SP	Champ expérimental
	Changeons la fréquence de la tension d'alimentation de ce haut-parleur, on perçoit un son.	SP	Relation entre la théorie-modèle et le champ expérimental
	Posons des morceaux de polystyrène sur la membrane et observons.	SP	Champ expérimental
	Ils sursautent.	SP	Champ expérimental

Tableau 4 Structure des phrases du discours par rapport au discours

Nous allons maintenant étudier la simulation comme outil pouvant reproduire certaines activités mettant en jeu le matériel expérimental.

II.2.3.2. La simulation

II.2.3.2.1. Définition

La simulation se différencie de la représentation animée (succession de dessins) car, comme le précise Lliboutry (1987, p. 102) elle *" n'est pas un simple moyen de représentation (on parle alors d'animation), mais une méthode d'étude remplaçant l'étude du phénomène réel. Le phénomène réel ne peut être simulé qu'une fois modélisé, c'est-à-dire schématisé, simplifié et mis en équation"*. Par conséquent, l'une des contraintes de la simulation est que le phénomène à reproduire soit corrélé à une théorie cohérente et valide (Gremy, 1985). De plus pour Gremy, la simulation permet l'expérimentation sur un modèle. C'est une procédure de recherche scientifique qui consiste à réaliser une reproduction artificielle du phénomène, à observer le comportement de cette reproduction lorsque l'on fait varier expérimentalement les actions que l'on peut exercer sur celle-ci, à induire ce qui se passerait dans la réalité sous l'influence d'actions analogues.

II.2.3.2.2. Simulation et apprentissage

Joolingen (1993) regroupe différentes manières d'utiliser la simulation comme outil dans l'éducation :

- la simulation peut fournir un environnement pour apprendre indépendamment du temps et du lieu,
- la simulation peut être utilisée pour s'entraîner sur des systèmes qui sont "dangereux" (réacteur),
- la simulation peut être utilisée en tant qu'outil de formation et d'entraînement pour faire face à des situations dangereuses (simulateur de vol),
- la simulation peut permettre la réalisation d'expériences coûteuses.

De plus, l'auteur spécifie les avantages d'utiliser la simulation :

- elle peut être adaptée au rythme de compréhension de l'apprenant,
- elle peut être utilisée pour créer des situations idéales qui ne peuvent pas se réaliser dans la vie quotidienne,
- elle peut présenter des propriétés qui sont difficiles à observer dans la vie quotidienne (voir Simulason, Vince, 2000)

D'autres chercheurs tels que Beaufils (1987) s'intéressent à la simulation en tant qu'aide à l'activité de modélisation. Beaufils (1987, p. 514) considère que *"la simulation n'a de sens que par rapport à une réalité que l'on tente d'appréhender. Elle doit être un lien privilégié entre le théorique et l'expérimental, non un fossé de séparation"*. De plus, Blanchet (1987, p. 63) souligne que la simulation met en jeu un aspect pratique (manipulation) et un aspect théorique souvent synthétisé. Le danger est que, au travers de la simulation, l'enfant ne soit pas capable d'une part de distinguer l'aspect théorique issu de la manipulation et d'autre part, de relier les actions effectuées à partir d'une simulation à celles relatives à un environnement réel.

II.2.3.2.3. Exemple à partir de l'hypermédia

La simulation (Figure 10) que nous présentons permet l'étude des phénomènes physiques impliqués dans les phénomènes sonores. En effet, l'action sur les boutons amplitude et fréquence donne la possibilité de jouer sur le modèle et de percevoir auditivement et visuellement différents événements.

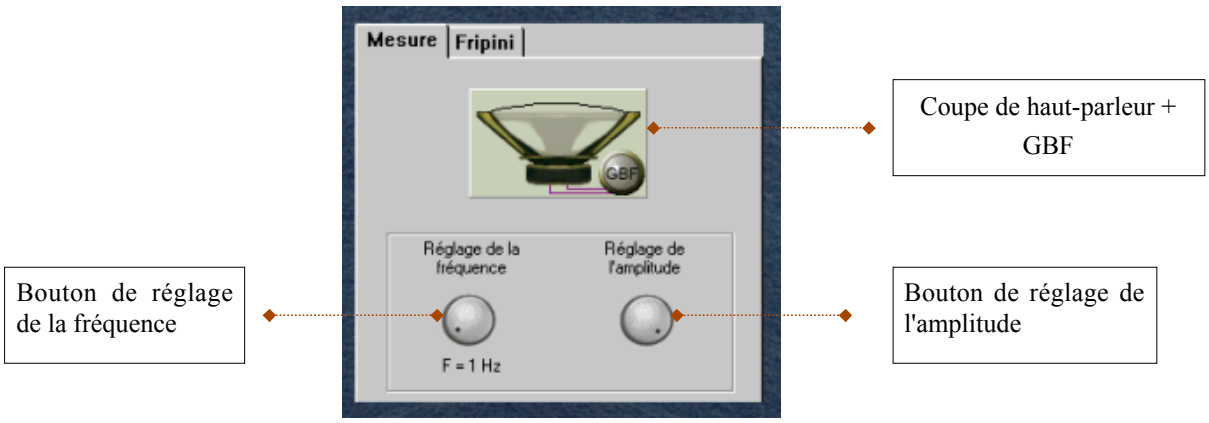


Figure 10 Exemple de simulation dans l'hypermédia

II.3. Exemple de transformation de la tâche "Mesure de la fréquence"

Dans cette dernière partie, nous donnons un exemple de ce processus de "transformation" à partir de la tâche "mesure de la fréquence". Nous détaillons la démarche qui nous a permis de passer de la tâche format papier à celle proposée sur l'écran de l'ordinateur.

II.3.1. Le texte initial proposé dans le TP SOC (format papier)

Le texte initial fourni par le TP SOC se décompose en deux parties. Tout d'abord, l'introduction du modèle, la fréquence de vibration, sous forme de définition *: "La fréquence de vibration est le nombre d'aller-retour (1 aller et 1 retour comptent pour un) effectués en une seconde. Comme pour une tension périodique, elle s'exprime en Hertz (Hz).Cette fréquence indique la rapidité avec laquelle la membrane vibre".* Il propose ensuite la tâche "mesure" à réaliser à partir du haut-parleur branché à un générateur basse fréquence et d'un chronomètre (matériel posé sur la paillasse) : *"Mesure d'une fréquence de vibration de la membrane du Haut-parleur (à l'œil nu)".*

L'analyse de la consigne du point de vue des niveaux de savoir (*"mesure d'une fréquence…"*), nous indique qu'elle met en relation les niveaux théorie-modèle (*"fréquence de vibration"*) et champ expérimental (*"membrane du haut-parleur"*).

Ensuite, cet énoncé implique trois activités spontanées de l'apprenant : la lecture du modèle, la lecture de la consigne et la manipulation du matériel expérimental (un GBF réglé à une fréquence suffisamment faible pour percevoir le mouvement de la membrane et un chronomètre pour réaliser la mesure. La proximité entre la consigne et le modèle (la définition de la fréquence) semble correspondre à une tâche d'application ou de réinvestissement du modèle.

II.3.2. Les étapes de la construction de la tâche proposée dans l'hypermédia

Nous décrivons les diverses contraintes auxquelles nous avons dû faire face lors de la construction de la tâche "mesure de la fréquence" dans l'hypermédia.

II.3.2.1. Le passage de la fiche de TP à la page-écran

II.3.2.1.1. L'organisation des contenus

En tenant compte de la contrainte espace et densité informationnelle à l'écran (II.2.1), nous avons été amené à construire deux pages-écrans relatives à l'introduction du modèle de la fréquence de vibration et à la tâche mesure de la fréquence.

La première page-écran donne la définition de la grandeur fréquence à partir de deux systèmes sémiotiques le langage naturel et la représentation dynamique ce qui implique un découpage en demi-pages-écrans pour favoriser l'activité sémiotique des élèves : nous supposons que les élèves mettront en relation les différentes représentations relatives au concept de fréquence. Nous rajoutons la définition de l'amplitude afin d'éviter la répétition d'une nouvelle page-écran définition à la suite de la mesure de la fréquence comme cela est réalisé dans les TP SOC (voir annexe A).

La deuxième page-écran est destinée à la tâche mesure de la fréquence qui se découpe en deux demi-pages-écrans : celle de gauche comporte la consigne, celle de droite contient trois onglets incluant deux simulations supports de la réalisation de la tâche de mesure et une Aide proposant diverses informations.

II.3.2.1.2. La construction de la consigne

La demi-page de gauche contient l'énoncé du problème en langage naturel : *"A l'aide du chronomètre, compter le nombre d'allers-retours effectués par la membrane du haut-parleur pendant un temps t (10 secondes par exemple). Puis, donner la valeur de la fréquence de vibration"*.

Cette consigne se découpe en deux étapes détaillant l'activité que peut suivre les élèves :

- La première étape de la question incite à dénombrer les allers-retours effectués par la membrane en une durée t à partir de la simulation, elle se réfère au niveau des objets événements simulés.
- La seconde étape demande de déterminer la valeur de la fréquence, c'est l'objectif de la tâche, elle se rapporte au niveau de la théorie-modèle, niveau que nous attendons que les élèves mettent en œuvre.

Ces deux étapes amènent des élèves à deux sortes d'activités : l'action (la mesure du nombre d'aller-retour) et la modélisation, finalité de l'activité de mesure.

II.3.2.1.3. La simulation : le lien avec l'expérimental

Pour réaliser la mesure, il nous a fallu replacer les élèves dans le cadre d'une activité expérimentale à partir de laquelle ils pourront effectuer des actions semblables avec les objets réels : la simulation est l'outil qui semble adapté pour reproduire sensiblement l'activité expérimentale (Chapitre 2). Nous proposons deux simulations. La première impose la fréquence à mesurer, la seconde permet aux élèves de faire varier la fréquence. Elle donne l'occasion aux élèves de percevoir un son pour une fréquence donnée et de se rendre compte alors qu'il est impossible d'observer le mouvement de la membrane du haut-parleur. Ces deux simulations sont situées dans les deux premiers onglets de la demi-page écran de droite.

Dans les deux simulations, nous avons pris le parti de présenter au premier plan seulement les objets essentiels à la réalisation de l'expérience : un haut-parleur alimenté par un générateur basse fréquence (GBF), un chronomètre et un bouton pour faire varier la fréquence. Ces simulations favorisent la mise en évidence de l'événement à étudier (la vibration de la membrane du haut-parleur) et de l'objet à partir duquel cet événement est observé (le haut-parleur). Cependant, elles limitent les actions des élèves à celles qui sont proposées dans la consigne : lancement du chronomètre et modification de la fréquence dans le cas de la seconde simulation.

Ainsi, la demi-page de droite comprend la simulation du mouvement de la membrane du haut-parleur à partir de laquelle les élèves réalisent leurs mesures. Le contenu de cette demi-page se réfère au niveau des objets-événements simulés dont la représentation est dynamique (RD) en association avec le langage naturel (l'énoncé) et au niveau théorie-modèle utilisant à la fois la représentation symbolique (RS) (valeur de la fréquence) et le langage naturel (il est demandé de préciser la valeur de la fréquence).

Toutefois, les simulations élaborées peuvent conduire à des problèmes de compréhension dû à la représentation dynamique (voir II.1, (Balacheff, 1994b)). En effet, nous observons parfois, selon la fréquence choisie, un mouvement désordonné et non périodique du mouvement de la membrane. Ce mouvement semble être lié à la difficulté d'afficher en temps réel l'ensemble des positions de la membrane du haut-parleur pour des fréquences qui dépassent 3 Hz : c'est-à-dire elle fait trois allers-retours en une seconde.

De plus, lorsque la fréquence dépasse 4 Hz, nous avons pris le parti de créer un flou du mouvement de la membrane alors que ce n'est pas visible avec de vrais objets. Notre intention est d'aider les élèves à prendre conscience que la source de son vibre pour que l'on entende un son ou non. Cependant, ce choix peut conduire les élèves à mettre en doute la représentation proposée vu qu'elle diffère de la réalité.

II.3.2.1.4. Les niveaux de savoir impliqués dans la page-écran

Pour résumer, cette première description, nous détaillons la page-écran liée à la tâche mesure de la fréquence (Figure 11). Nous constatons l'homogénéité entre les niveaux de savoir de la consigne d'origine et ceux dans la tâche proposée dans l'hypermédia. Toutefois, l'utilisation de la simulation conduit à ce que les savoirs relatifs au champ expérimental se réfèrent désormais aux objets événements simulés.

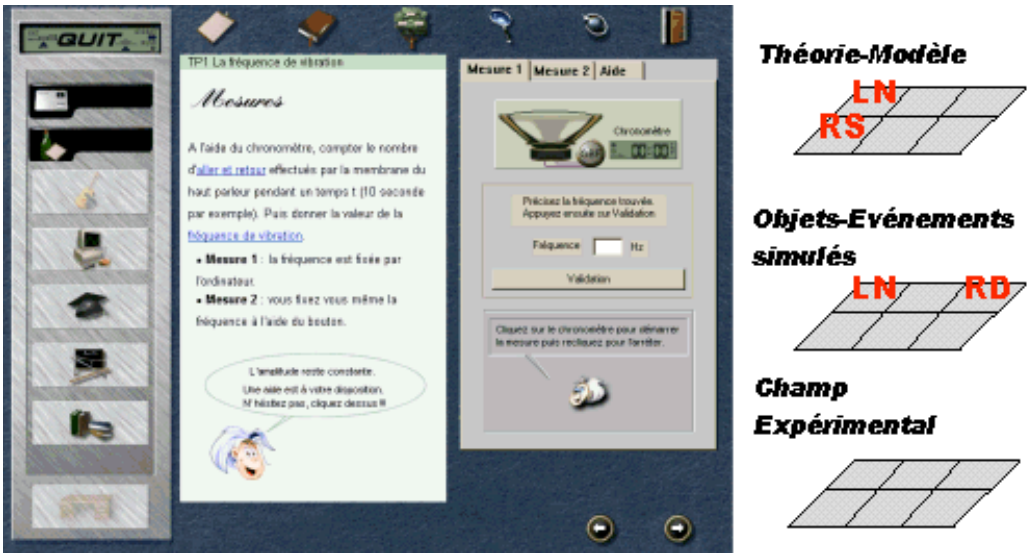


Figure 11 Page-écran : Mesure de la fréquence. Catégorisation du texte à l'écran selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques

II.3.2.2. Le rôle implicite de l'enseignant lors de la construction de la tâche

II.3.2.2.1. Le processus de dévolution

Le processus de dévolution présent dans cette tâche est matérialisé par :

- un système qui permet aux élèves de valider par eux-mêmes leurs réponses en terme d'échec et de réussite,
- le feed-back qui permet d'"entretenir" la résolution du problème suite à la demande de validation de la réponse,
- la simulation qui donne l'occasion aux élèves de réaliser plusieurs fois de suite la mesure,
- l'onglet Aide (Tableau 5) qui permet aux élèves de prendre conscience de l'écart entre leurs connaissances et celles attendues qu'ils mobilisent.

II.3.2.2.2. Le processus d'institutionnalisation

A la suite de la demande de validation de la réponse qui consiste en une comparaison de la réponse donnée à celle attendue, deux sortes de messages sont retournés :

- La réponse est celle qui est attendue : *"Très bien !!! Vous avez réussi"*

- La réponse est inexacte : *"Attention !!! La fréquence saisie est incorrecte. Il est conseillé de consulter l'aide proposée puis de faire à nouveau la mesure".*

Dans le cas de la réponse erronée, nous remarquons que nous n'indiquons pas l'origine de l'erreur et nous nous limitons à lui proposer de consulter l'Aide et de refaire la mesure.

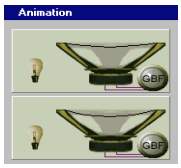
Demi-page-écran Aide	Information visible à l'écran	Informations analysées à partir de la grille	
		Système de représentation	Niveaux de savoir
	Connaissance : Fréquence		
 Fenêtre aide de l'activité mesure de la fréquence	*Définition* Nombre d'allers-retours effectué par la partie vibrante de la source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

Tableau 5 La fenêtre Aide associée à l'activité mesure de la fréquence

III. En conclusion

Le passage de la fiche de TP à l'hypermédia nécessite de prendre en compte l'ensemble des éléments de la situation d'enseignement dans l'objectif de fournir aux apprenants différents moyens pour résoudre d'une manière autonome les différentes tâches.

La transformation des éléments de la situation d'enseignement en classe en ceux présents dans les tâches proposées dans l'hypermédia, ce que Balacheff (1994b) appelle transposition informatique donne lieu à un nouveau milieu intitulé "informatique" qui devra perturber les connaissances initiales des élèves.

Chapitre 5
L'hypermédia "Labdoc Son et Vibrations"

Dans le chapitre précédent, nous avons abordé la conception d'un hypermédia principalement sous le regard de la didactique afin de répondre à une question qui semble essentielle dans le cadre de l'étude : de quelles manières les éléments de la situation, les systèmes sémiotiques, la structuration par niveaux de savoir d'un contenu peuvent-ils contribuer à l'élaboration de situations sur un support informatisé ? Dans le présent chapitre, nous décrivons globalement l'hypermédia élaboré du point de vue de la navigation, des contenus proposés et certaines spécificités didactiques introduites dans le chapitre précédent.

I. Présentation globale

Cet hypermédia dédié à l'enseignement du son est centré sur l'activité expérimentale et est composé de cinq lieux : la salle de Travaux Pratiques (TP), la salle d'expériences libres, la salle de cours, la salle d'exercices, la bibliothèque. Cette organisation peut être vue comme une métaphore d'un système scolaire puisque comme le soulignent Depover, Giardina et Marton (1998, p. 113), la métaphore *"réfère à un modèle naturel, c'est-à-dire à une structure avec des liens qui sont déjà assimilés et compris dans le quotidien collectif (par exemple, l'organisation d'un bureau, le fonctionnement d'un bibliothèque, d'un club de vacance ou d'une ville)"*.

La salle de TP est le lieu central de l'hypermédia où l'utilisateur réalise cinq séquences de TP. Nous considérons que les quatre autres lieux soutiendront l'activité de l'utilisateur durant la réalisation d'une des séquences. La Figure 12 présente l'interface d'accueil et permet de situer l'accès aux cinq lieux que nous décrivons par la suite.

Figure 12 La page d'accueil, les accès aux différents lieux et les deux fonctionnalités supplémentaires

I.1. Présentation des cinq lieux et leurs contenus respectifs

I.1.1. Salle de travaux pratiques

La salle de travaux pratiques offre à l'élève la possibilité de réaliser cinq séquences de TP correspondant dans le système scolaire à trois séances d'une durée d'une heure et demie. Nous rappelons que le contenu de ces séances est issu des TP "SOC" (Chapitre 4). Les diverses tâches[32] proposées ont pour principal objectif d'amener les élèves, selon une certaine progression, à développer leur perception des sons et à élaborer la relation entre cette perception et les phénomènes vibratoires décrits à partir de grandeurs mesurables, la fréquence et l'amplitude. Les objectifs des séances sont présentés dans le Tableau 6.

Les séances de TP	Intitulé des 5 séquences de TP	Objectifs
Première séance	Introduction de la chaîne sonore	Introduire le modèle de la chaîne et application à partir de quatre exercices.
	TP1 : Les sources de son et leurs effets sur la perception sonore	Etudier le phénomène à l'origine du son : la vibration. Construire la relation entre la perception et la vibration.
	TP2 : Le milieu de propagation	Déterminer une des conditions pour qu'un son se propage.
Deuxième séance	TP3 : La propagation du son dans l'air	Introduire le modèle microscopique pour interpréter la propagation du son.
Troisième séance	TP4 : Deux grandeurs caractéristiques du son (hauteur et volume)	Déterminer le lien entre les grandeurs caractéristiques du son que nous percevons et les grandeurs physiques qui caractérisent le comportement de la source.

Tableau 6 Les différentes séances et séquences de TP proposées dans l'hypermédia

I.1.2. Salle d'expériences libres

Cette salle met à la disposition des élèves trois types d'"outils" : des protocoles d'expériences, "diverses fiches de montage", et un logiciel d'acquisition. Les "protocoles d'expériences" sont classés selon les savoirs proposés dans le cours (les émetteurs, le milieu de propagation, etc.) et permettent de réaliser, entre autres, les différentes expériences filmées ou animées de l'hypermédia. Ces protocoles sont présentés

[32] Nous rappelons qu'une tâche est définie comme une situation proposant explicitement ou implicitement un but à atteindre, et un ou plusieurs moyens pour la réaliser et dont l'enjeu est la construction de connaissances.

à partir de trois points : les objectifs de l'expérience, le matériel à utiliser, le dispositif expérimental à mettre en œuvre. Ce dernier point est fréquemment illustré d'une photo du montage expérimental ou d'une vidéo d'une expérience ainsi que d'une analyse succincte de la situation expérimentale observable. Les "diverses fiches de montages" ont une organisation similaire à celle des protocoles et présentent des expériences réalisables à partir d'objets de la vie quotidienne (carton, pots de yaourt, ficelle...). Le logiciel d'acquisition, Sonorama, permet de visualiser un signal électrique acquis à partir d'un microphone *via* une carte son ou d'une console ESAO® (Expérience Assistée par Ordinateur) lors de l'émission d'un son par exemple, puis de faire l'analyse (Analyse de Fourier) et la synthèse d'un son.

I.1.3. Salle de cours

Le cours est composé de huit chapitres. L'enchaînement de ces derniers coïncide avec ceux rencontrés dans les ouvrages scolaires (Hachette, 1997 ; Nathan, 1993) afin d'éviter la rupture avec le référent institutionnel, c'est-à-dire l'enseignement donné par l'enseignant. A titre d'exemple, le Tableau 7 présente une comparaison du plan du cours construit dans l'hypermédia avec celui du livre de physique de seconde édité par Hachette (1997).

Intitulé et ordre des chapitres du cours dans l'hypermédia	Intitulé et ordre des chapitres du cours dans le livre Hachette
1. Les éléments de la chaîne sonore	1. Emission sonore et phénomènes périodiques
2. Les différentes caractéristiques de la sensation sonore	2. Le haut-parleur
3. La stroboscopie	3. Propagation du son
4. Le haut-parleur	4. La réception sonore
5. Le microphone	5. Les ultrasons
6. La longueur d'onde	6. Eléments d'acoustique musicale
7. L'acoustique géométrique	
8. L'acoustique musicale	

Tableau 7 Comparaison des différents chapitres du cours dans l'hypermédia et dans le livre de Hachette

Même si le nombre et l'ordre des chapitres diffèrent, nous retrouvons la correspondance entre les deux déroulements.

I.1.4. Salle d'exercices

Certains chapitres du cours sont accompagnés d'exercices. Ils sont de différents types : exercices d'application, exercices demandant la mise en œuvre de concepts (exercice de réinvestissement), et la construction de relations entre des situations expérimentales et le modèle associé, etc. La plupart des exercices ont été élaborés en se référant aux exercices que l'on peut rencontrer dans les ouvrages scolaires. Leur conception tient compte aussi des hypothèses d'apprentissage introduites dans le chapitre 2 et le chapitre 4.

I.1.5. Bibliothèque

Une bibliothèque est *un "édifice où sont classés des livres pouvant être consultés"* (Robert, 199**X**). C'est une banque de données organisées. Dans l'hypermédia, la bibliothèque regroupe un ensemble d'articles selon différents thèmes tels que les "physiciens du son, la physique et le son, l'acoustique musicale et les instruments de musique". Ces articles sont organisés plus ou moins finement et peuvent être recherchés à partir :

1. d'un dictionnaire regroupant par ordre alphabétique les différents articles,

2. d'un classement par thème (les physiciens, les instruments de musiques, etc.),
3. de deux répertoires intitulé "Répertoire des Images" et " Répertoire des vidéos".

I.2. L'architecture globale de l'hypermédia

L'architecture de l'hypermédia est décrite selon les choix de navigation d'un utilisateur pour accéder à un lieu et pour naviguer à l'intérieur du lieu.

I.2.1. L'accès à un lieu

La Figure 13 présente les possibilités de navigation d'un utilisateur dès son entré dans la page-écran "Bureau", accueil de l'hypermédia. La navigation proposée est "plane" : les six nœuds (ou six lieux) sont au même niveau, l'utilisateur peut donc passer de l'un à l'autre (ou d'un lieu à un autre) par "un simple clic". L'intérêt de cette structure est de permettre à l'utilisateur de prendre le temps de choisir l'un des enseignements proposés (cours, exercices, ...) à partir du descriptif succinct fournit par un personnage nommé, Fripini[33]. Par exemple, pour la salle de TP, le message est le suivant *"ici vous allez réaliser des travaux pratiques sur le son, vous trouverez un ensemble de vidéos, d'animations, d'images, de liens avec le dictionnaire, ..."*. Dès que l'élève passe cette première page-écran, il entre dans le lieu ce qui le conduit à une nouvelle navigation que nous appelons *navigation interne à un lieu*.

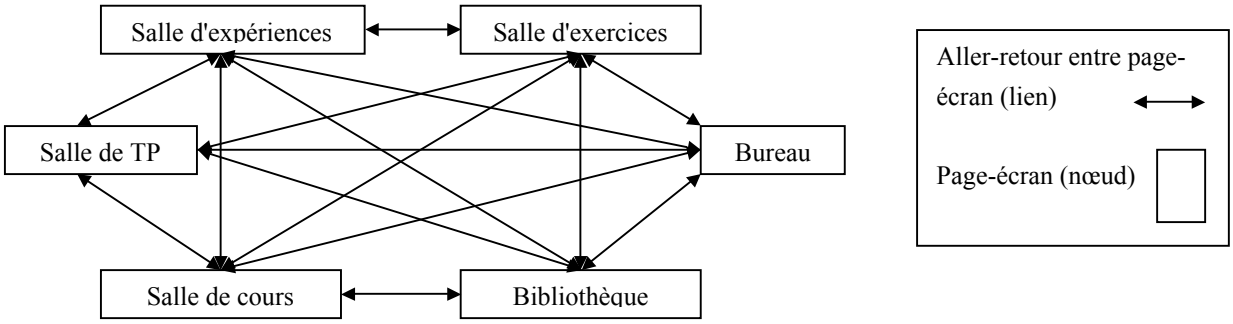


Figure 13 Structure et navigation avant d'entrée dans le lieu

I.2.2. Navigation interne aux lieux

Nous distinguons trois types de navigation que nous caractérisons selon les possibilités d'accès aux informations situées dans des pages-écrans différentes. On a choisi pour chacun des lieux une navigation adaptée au contenu et à l'activité éventuelle de l'utilisateur.

1. Une navigation essentiellement linéaire dans la salle de cours et dans la salle de TP.
La navigation linéaire consiste à tourner les pages-écrans les unes à la suite des autres. Des outils de navigation comme "historique", "index", "présentation", "retour", "table des matières" peuvent la rendre moins "linéaire". Nous considérons que cette navigation est particulièrement adaptée à la présentation de contenu séquentiel tel qu'un cours et les séquences de TP. Ci-dessous nous représentons schématiquement la navigation de l'utilisateur lorsqu'il se situe dans une séquence de TP ou dans un chapitre du cours.

[33] Nous verrons par la suite que Fripini est le conseiller de l'utilisateur.

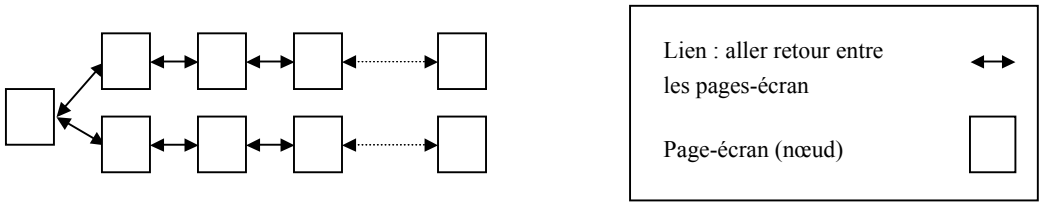


Figure 14 Navigation privilégiée dans la salle de cours et dans la salle de TP

2. Une navigation "partiellement linéaire" dans la salle d'exercices et dans la salle d'expériences libres.
La navigation dans la salle d'exercices peut être :

- linéaire (cas a). De l'index des exercices on va dans l'énoncé de l'exercice, puis dans la solution et on retourne à l'index.
- alternative (cas b). De l'énoncé on va à la solution ou à une page du cours.

La navigation dans la salle d'expériences libres propose qu'une seule alternative (cas c et d). Elle limite la navigation à une seule page.
Cette navigation "partiellement linéaire" rend possible un accès rapide aux documents ce qui est souhaitable dans le cas de séance de révision à partir d'exercices ou de consultation de fiches.

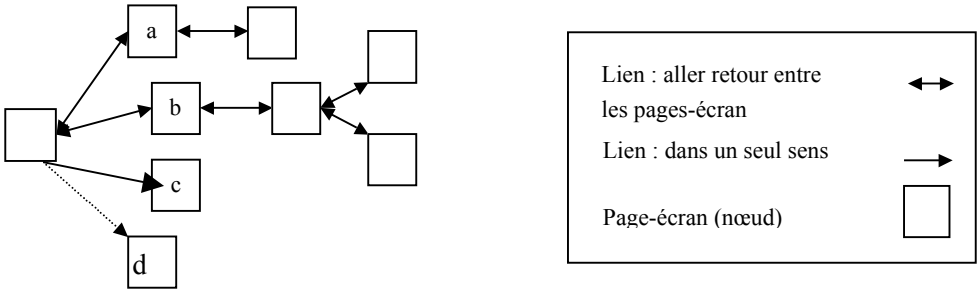


Figure 15 Navigation possible dans la salle la salle d'exercices et dans d'expériences libres

3. Une navigation non linéaire dans la bibliothèque.
Des liens multiples entre les nœuds sont proposés. Par exemple, il est possible d'accéder à un même document à partir du dictionnaire, d'un répertoire de thème, ou bien d'un article du dictionnaire. Cette organisation donne lieu à une navigation aléatoire de l'utilisateur : nous pensons que ce type de navigation est plus "onéreux" d'un point de vue cognitif (chapitre 1).

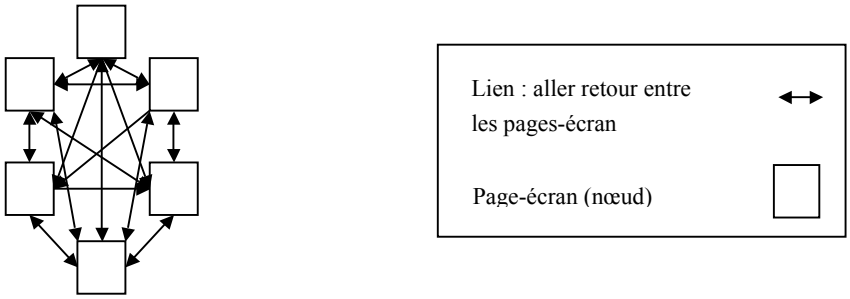


Figure 16 Navigation largement diversifiée dans la bibliothèque reposant sur des liens multiples

I.3. Les deux fonctionnalités supplémentaires

Il s'agit pour la première d'un module de sauvegarde et de traçage automatique de l'activité des utilisateurs. La seconde fournit une description détaillée du logiciel.

I.3.1. Un module de sauvegarde et de traçage de l'activité de l'utilisateur

L'utilisateur peut sauvegarder sa position dans l'hypermédia ainsi que les réponses rédigées dans certaines tâches de la salle de TP. Cette fonctionnalité se déclenche dès que l'utilisateur entre son nom dans la page-écran de présentation du logiciel et prend effet à condition qu'il quitte le logiciel en sélectionnant l'icône "*mémoriser la position*". Ainsi, elle donne la possibilité à l'utilisateur de réaliser par exemple en une ou plusieurs fois une séquence de TP qui comporte parfois une dizaine de tâches.
De plus, nous donnons la possibilité d'enregistrer au cours du temps un ensemble d'actions effectuées par l'utilisateur au niveau de l'interface : c'est ce que nous appelons la *trace*. Elle est enregistrée dans un fichier portant le nom de l'utilisateur. Nous signalons que cet enregistrement est beaucoup plus détaillé pour les actions se déroulant dans la salle de travaux pratiques que dans les trois autres lieux. Les actions enregistrées sont par exemple la navigation entre les lieux, les réponses données, l'état des réponses ("bonne réponse" ou "mauvaise réponse"), etc. L'avantage d'un tel outil est de permettre à un enseignant d'observer par exemple les difficultés d'un élève lors d'une tâche donnée, d'apprécier la progression dans ses réponses écrites, etc. Cette fonctionnalité est active à condition que l'utilisateur sélectionne l'icône "Suivi" placé dans le répertoire du cédérom.

I.3.2. Un guide / Aide de l'utilisateur

Ce guide à plusieurs qualités : il décrit les cinq lieux (leurs objectifs, la fonctionnalité des icônes), donne des conseils et des astuces pour la navigation, la recherche d'un mot par exemple, précise les conditions d'utilisation de l'hypermédia selon l'utilisateur (l'enseignant ou l'élève), enfin indique les différentes options (copier, imprimer, sauvegarde, etc.). Ce guide est présent dans chaque lieu et est symbolisé par une bouteille (*"la bouteille à la mer"*).

II. Présentation détaillée des lieux

Cette section est dédiée à la description de la navigation, des ressources disponibles, et des spécificités des quatre lieux[34] en référence au cadre théorique introduit dans la partie 1 et des choix didactiques présentés dans le chapitre précédent. Il s'agit de spécifier l'organisation conceptuelle et sémiotique des contenus, les principaux éléments de la situation soutenant la réalisation des tâches (par exemple les ressources propres à chaque lieu, les feed-back). Nous terminons cette présentation en précisant les points communs et les différences entre ces lieux.

II.1. Salle de Travaux pratiques

Cette salle est composée de cinq séquences de TP qui correspondent à trois séances de TP d'une heure et demie (représentant 79 tâches à réaliser). Ces séquences combinent des tâches variées (chapitre 4) :

[34] Nous ne présentons pas la salle d'exercices car elle n'a pas, à notre avis, de caractéristiques propres. De plus elle n'est pas du tout pris en compte lors des études suivantes.

l'observation d'un événement à partir d'une vidéo, la prédiction d'un événement, la mesure d'une grandeur physique, l'interprétation d'une expérience en utilisant un modèle préalablement introduit, réalisation d'expériences à partir d'une simulation, etc. Nous rappelons que la visée de ces tâches est d'amener les élèves à mettre en relation les données (observation ou mesurage) et les savoirs théoriques. Nous signalons que l'analyse *a priori* (chapitre 7) présente successivement chacune des tâches proposées dans la salle de TP ainsi que l'activité attendue des élèves.

II.1.1. La navigation et les ressources disponibles

La salle de TP présente deux types de navigation selon que nous nous plaçons au niveau du document (ensemble des pages-écrans constituant la séquence de TP) ou au niveau de la page-écran (correspondant à une tâche à réaliser) :

- Une navigation linéaire sur l'ensemble du document qui permet à l'utilisateur de passer d'une tâche à une autre.
- Une navigation non linéaire au niveau d'une page-écran qui correspond soit à :
  - Une navigation externe : l'utilisateur peut à partir d'une page-écran d'une des séquences de TP aller dans une page-écran d'un autre lieu (salle de cours, salle d'expériences libres, …) et en revenir.
  - Une navigation interne : trois "outils" permettent de naviguer à l'intérieur d'une page-écran.

II.1.1.1. Une navigation linéaire

Les séquences de TP conçues sont une suite continue et ordonnée de tâches. Cette organisation est liée à au moins trois facteurs. D'abord, le format initial de la fiche de TP incite à produire une structure linéaire. Ensuite, l'apprentissage des différents concepts ne peut se faire dans le "désordre" : cela nécessite une mise en scène ordonnancée. En effet, comment décrire un son dans les termes de la théorie (fréquence et amplitude) si au départ les élèves n'ont pas pris conscience qu'un son est causé par la vibration d'un objet (la source de son) ? Ainsi, cette navigation linéaire constitue un chemin balisé dont l'objectif est de favoriser la construction des concepts en jeu par les élèves. Enfin, une navigation non linéaire pourrait amener les élèves à se perdre parmi l'ensemble des liens disponibles et les informations proposées, voire à perdre de vue le but de la tâche à réaliser (Dede, 1988 ; Bruillard, 1997).

Des outils de navigation tel que l'organigramme, l'index des TP, l'historique ont pour fonction de permettre à l'utilisateur de se faire une idée de la cohérence globale des informations proposées (apprécier l'ensemble des thèmes abordés dans chacun des TP à partir d'un index) et locale (identifier et situer dans le "temps" les différentes tâches réalisées à partir de l'historique et à réaliser à partir d'un organigramme). De plus, ces outils sont censés favoriser les allers-retours entre les différentes tâches d'un même TP et entre les séquences de TP. En effet, nous faisons l'hypothèse qu'il est important pour les élèves de pouvoir revenir sur des informations déjà parcourues au cours de la réalisation d'une tâche passée.

II.1.1.2. Une navigation non-linéaire

II.1.1.2.1. Une navigation "externe" non-linéaire : les ressources externes

Comme le montre la Figure 17, cette navigation est une "ouverture" vers les autres lieux. L'utilisateur a la possibilité de quitter la tâche en cours afin de butiner des informations dans les quatre autres lieux. Ces lieux constituent alors des *ressources* pour aider l'utilisateur à réaliser la tâche. Ce sont des *"ressources externes"* car externes au lieu. Cependant, cette navigation est limitée à un seul niveau de profondeur : il

n'y a pas d'autre issue que de retourner au lieu initial. Les utilisateurs retournent obligatoirement à l'endroit d'où ils sont partis ce qui peut réduire leur désorientation.

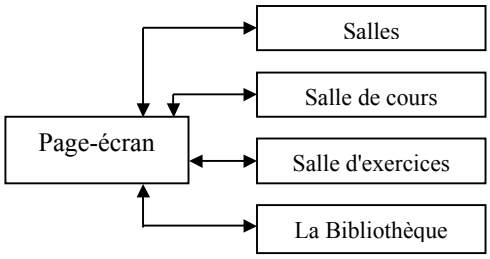


Figure 17 Navigation externe à partir d'une page-écran

II.1.1.2.2. Une navigation "interne" non-linéaire : les ressources internes

Nous proposons à l'utilisateur de naviguer au sein d'une même page-écran. En fait, il nous a semblé intéressant que les apprenants puissent recueillir des informations voire réaliser une nouvelle tâche en lien avec les consignes de la tâche tout en restant dans la même page-écran, c'est-à-dire dans le contexte de la tâche (Rouet, 1998). Nous supposons que cela limite la désorientation de l'apprenant (Foss, 1988), et permet d'éviter la surcharge cognitive "*liée à l'effort et à la concentration nécessaire pour maintenir différents travaux ou chemins*" (Bruillard, 1994, p. 22). Comme le l'illustre Astolfi (1997, p. 85) à partir de l'exemple du Petit Poucet, cette surcharge cognitive peut conduire à la production d'erreurs comme. L'auteur souligne que cette surcharge peut conduire à une perte de sens de la tâche à réaliser, des oublis "*de certains éléments théoriques (...)*". En fait, cette navigation s'effectue à partir de trois types d'outils (Figure 18) qui sont les *onglets*, les *escamots* et ce que nous choisissons d'appeler le *multifenêtrage*. Ces outils proposent soit des ressources comme l'onglet Aide, les escamots, le mini-dictionnaire, dites *ressources internes*, car on ne quitte pas le lieu, soit de nouvelles tâches, soit un "mode d'emploi" pour réaliser la tâche :

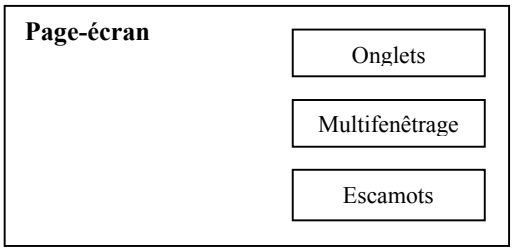


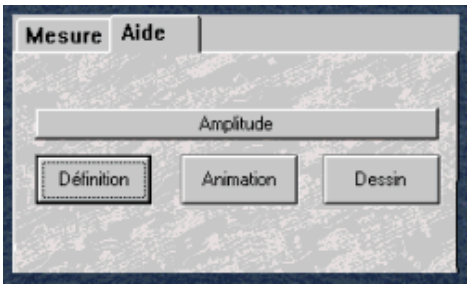
Figure 18 Navigation "interne" à partir d'une page-écran

1. Les onglets et leurs utilisations

Les onglets donnent la possibilité de consulter plusieurs mini-fenêtres sans quitter la page-écran d'origine. Nous exploitons ces onglets dans trois buts différents que nous présentons par la suite : pour proposer des informations utiles à la réalisation de la tâche ("l'onglet Aide"), pour proposer des tâches dépendantes l'une de l'autre, pour guider l'élève dans l'utilisation d'une simulation ("Onglet Fripini").

L'onglet Aide

L'onglet Aide propose des informations qui correspondent à celles que les élèves sont censés mobiliser durant la réalisation de la tâche. Il fournit, dans la mesure du possible, différentes représentations de chacune des informations (voir exemples Tableau 8 l'onglet Aide à propos de l'amplitude).

L'onglet Aide


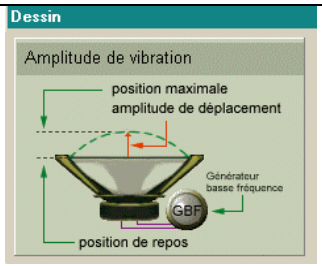
Systèmes sémiotiques	Trois représentations de l'amplitude
Langage naturel	**Définition** : L'amplitude est un déplacement plus ou moins grand de la partie vibrante de la source de son.
Représentation dynamique	
Représentation iconique	

Tableau 8 Représentations possibles du concept d'amplitude de vibration

L'onglet associé à une nouvelle tâche.

Certaines tâches sont interdépendantes et il est souhaitable que l'utilisateur les réalise ensemble. L'utilisation d'un onglet permet de placer les tâches dans les différentes mini-fenêtres et de garder l'utilisateur dans le même contexte. Par exemple dans le TP4 (Tableau 9), l'objectif des trois tâches proposées dans les trois onglets est de favoriser la mise en relation entre la perception sonore et les caractéristiques de la vibration lorsque l'amplitude varie. L'utilisateur est amener tour à tour à réaliser une expérience (onglet 1) qui lui permet de percevoir auditivement et visuellement ce qui se passe quand l'amplitude augmente, puis, à déterminer parmi cinq animations celle qui correspond à une augmentation de l'amplitude (onglet 2) enfin, à mettre en relation la perception sonore avec les caractéristiques de la vibration à partir d'un questionnaire (onglet 3). Par conséquent, l'utilisateur peut à tout moment revenir à l'expérience avant de proposer une réponse aux tâches proposées dans les onglets 2 et 3.

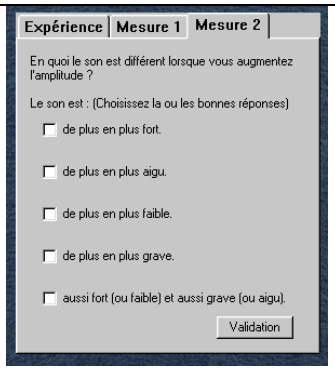
Onglet 1 : Expérience Réalisation de l'expérience	**Onglet 2 : Mesure 1** Caractéristiques de la vibration	**Onglet 3 : Mesure 2** Relation entre la perception sonore et les caractéristiques de la vibration
		

Tableau 9 : Exemple d'onglets proposant trois tâches associées à un même objectif d'enseignement

L'onglet Fripini

Fripini est considéré comme le conseiller des utilisateurs (Figure 19) : il explique le fonctionnement d'une simulation, rappelle parfois des résultats trouvés précédemment, incite l'utilisateur à sélectionner des informations dans l'onglet Aide et surtout explique les consigne des tâches.

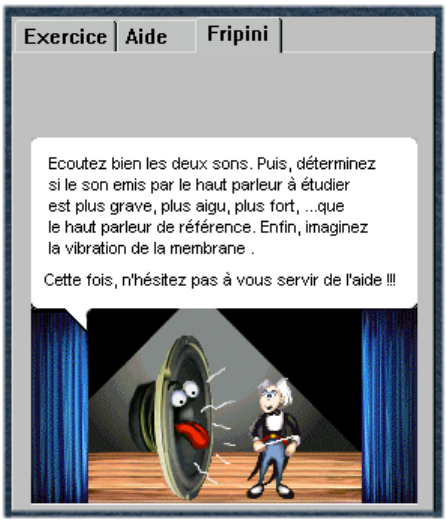


Figure 19 : Fripini, le conseiller des utilisateurs

2. L'escamot (ou pop-up Windows)

L'escamot est un ensemble d'informations intégrées dans une fenêtre qui n'apparaît que sous l'action de l'utilisateur et qui permet à l'utilisateur de trouver rapidement l'information (Caro et Bétrancourt, 1998). Dans l'hypermédia construit, les informations fournies sont soit les définitions des termes soulignés, soit des photos illustrant le mot souligné (Tableau 10). Les informations sont donc aussi décrites en fonction des niveaux de savoir et des systèmes sémiotiques. Nous avons limité les escamots à certaines tâches et à certains mots afin :

- d'éviter de noyer l'utilisateur dans une masse d'informations qui pourrait être répétitive et dont la finalité pourrait être une mémorisation des définitions sans la construction de leur sens,
- de favoriser le volontariat des élèves à rechercher des informations ailleurs : dans les ressources internes et les ressources externes.

Le terme souligné	Information retournée lors de l'activation de l'escamot	Niveau de savoir	Systèmes sémiotiques
Volume sonore	Le volume sonore est une caractéristique du son en tant que sensation sonore. Il est relié à la sensation auditive plus ou moins forte ou faible.	Relation entre la théorie-modèle et le champ expérimental	Langage naturel
Haut-parleur		Champ expérimental	Image

Tableau 10 Deux exemples d'escamot

3. Le multifenêtrage lors de l'appel du mini-dictionnaire

Le mini-dictionnaire propose un ensemble de définitions de termes, principalement en langage naturel, relatifs à l'enseignement du son en seconde. Lors de son ouverture, une fenêtre se positionne au centre de l'écran recouvrant ainsi une partie de la page-écran en cours (Figure 20). De plus, il est impossible de passer d'une fenêtre à l'autre tant que l'utilisateur n'a pas fini sa recherche. L'intérêt est d'éviter la réalisation simultanée de deux tâches ce qui pourrait conduire l'utilisateur à centrer son activité sur aucune des deux (Caro et Bétrancourt, 1998, p. 132). En d'autre terme, nous considérons que le fait d'aller chercher une information dans le mini-dictionnaire devient l'activité principale tant que cette fenêtre n'est pas fermée.

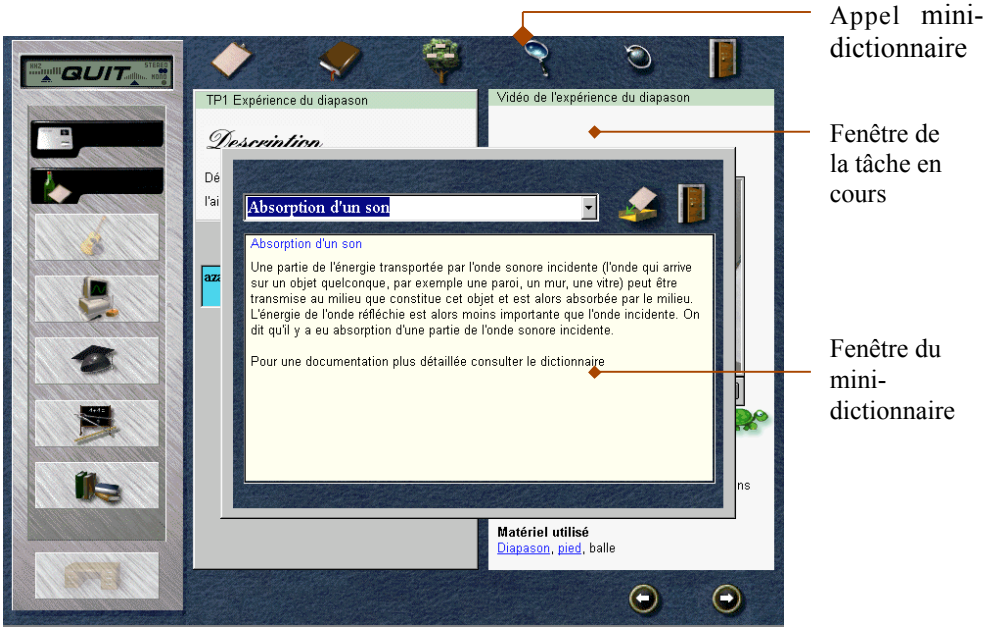


Figure 20 La fenêtre du mini-dictionnaire

II.1.1.3. En résumé

Dans la salle de TP, nous proposons deux types de navigation : une navigation externe (les quatre lieux) qui oblige l'utilisateur à revenir au lieu initial et une navigation interne (onglet, escamot, dictionnaire) qui garde l'utilisateur dans le lieu. Nous supposons que ces deux types de navigation peuvent permettre une recherche d'information "contextualisée" et contribuer à centrer l'activité de l'élève sur une tâche. De plus, nous supposons que l'ensemble de ces ressources peut constituer une aide non négligeable lors de la réalisation d'une tâche.

II.1.2. Les principales spécificités didactiques

Les différents contenus sont organisés à partir d'une analyse selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques (chapitre 2). La diversité des tâches donne la possibilité à l'utilisateur de mener différentes actions : lire un texte, écrire, sélectionner une réponse parmi plusieurs, actionner une simulation, observer une vidéo, écouter un son.

Nous proposons aussi des feed-back (chapitre 4) à la suite de la demande de validation de la réponse qui sont censés motiver les utilisateurs à poursuivre la réalisation des tâches. Il indique "l'état" ou la prise en compte de la réponse à la suite de la demande de validation de la réponse et précise rarement l'erreur commise. En effet, nous nous considérons cela doit être à la charge de l'utilisateur. Par contre, nous lui

donnons le moyen de vérifier ses actions en terme d'échec ou de réussite (chapitre 3). Enfin, il est mis à la disposition des utilisateurs des ressources "Internes et externes" qui peuvent soutenir l'utilisateur lors de la réalisation d'une tâche.

II.2. Salle de cours

La présentation de cet enseignement, dédié au son pour des élèves en classe de seconde, est linéaire, comme celle d'un livre, et met en jeu des systèmes sémiotiques variés telles que les images, les représentations dynamiques, les schémas. Nous exposons, d'abord, la navigation, puis les principales spécificités didactiques et ergonomiques des tâches proposées.

Figure 21 : Le sommaire du premier chapitre de la salle de cours

II.2.1. La navigation et les ressources disponibles

Comme dans un livre, les pages-écrans d'un même chapitre se succèdent afin d'engager les élèves dans une histoire à propos de la physique du son. Au premier chapitre succède le suivant, mais l'utilisateur a la possibilité soit de consulter une partie du chapitre à partir du sommaire, soit un nouveau chapitre à l'aide de la table des matières. De plus, lorsque l'utilisateur est dans cette salle, les documents des autres lieux peuvent l'accompagner dans la compréhension des différents savoirs. Par exemple, lors de la lecture du premier chapitre du cours intitulé "Les éléments de la chaîne sonore", si l'utilisateur le souhaite, il peut aller dans la salle de TP pour réaliser la première séquence de TP intitulée "Introduction de la chaîne sonore". Ainsi, comme dans la salle de TP, nous retrouvons :

- une navigation linéaire liée au format initial d'un cours,
- une navigation non linéaire externe lors de l'appel aux autres lieux,
- une navigation interne lors de la sélection des escamots ou de l'appel du mini-dictionnaire.

II.2.2. Les principales spécificités didactiques

Comme dans la salle de TP, les contenus sont structurés selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques. Les actions de l'utilisateur sont limitées à lire et à observer une vidéo ou une animation et à écouter un son. On dispose comme pour la salle de travaux pratiques des ressources externes (les quatre autres lieux) et des ressources qui sont réduites aux escamots et au mini-dictionnaire. Les onglets ne sont pas utilisés.

II.3. Salle d'expériences libres

La spécificité de cette salle est d'offrir un ensemble de protocoles d'expériences pouvant être réalisées en classe à partir du répertoire des expériences et/ou chez soi à partir du répertoire de divers montages. Les expériences proposées dans le répertoire divers montages nécessitent de matériaux liés à la vie quotidienne comme des pots de yaourt, un récipient en plastique et une feuille de plastique pour réaliser un tambour… Ainsi, les contenus proposés dans ce lieu se réfèrent principalement au niveau du champ expérimental.

Figure 22 : Les protocoles de la salle d'expériences

II.3.1. La navigation et les ressources disponibles

Dans la salle d'expérience libre, la navigation est de deux types :

- Une navigation partiellement linéaire. En effet, à partir d'une première page-écran contenant un index d'expériences classées selon les "thèmes" du cours (par exemple, étude des émetteurs, Etude du milieu de propagation, etc.) on passe d'une expérience à une autre par sélections successives.
- Une navigation "non-linéaire" au niveau d'une page-écran qui correspond soit à :
  - Une navigation "externe" en partant d'une page-écran pour aller dans une page-écran d'un autre lieu (la bibliothèque, la salle de TP, la salle de cours).

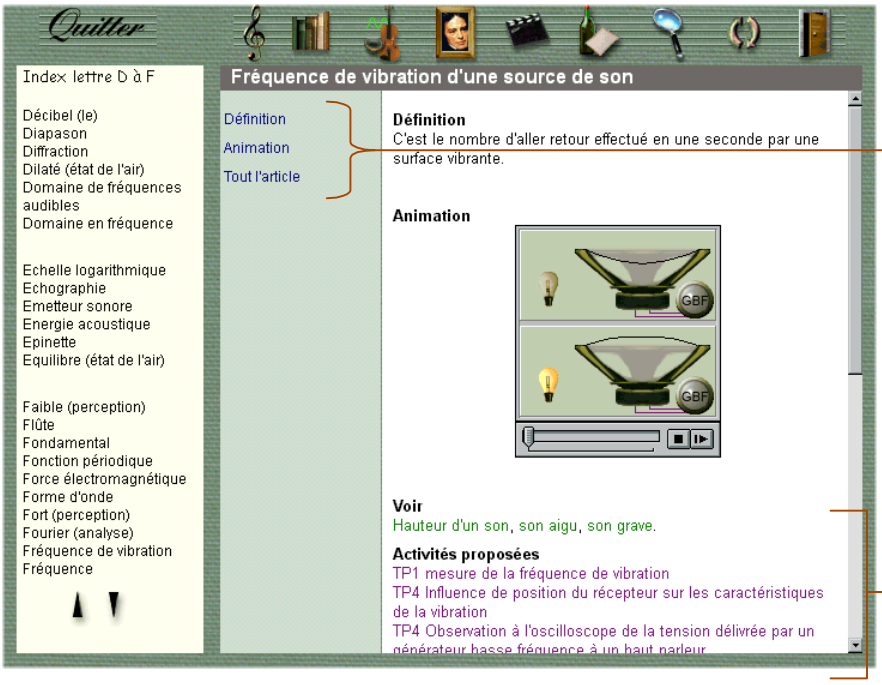
- Une navigation"interne" à la page-écran à partir des deux ressources internes : l'escamots et le mini-dictionnaire. Les escamots permettent d'illustrer chacun des termes relatifs au matériel expérimental et donner la définition de certains concepts.

II.3.2. Les principales spécificités didactiques

Comme précédemment le contenu est structuré selon les niveaux de savoir et les représentations sémiotiques. Les actions des utilisateurs sont limitées à la lecture et à l'observation de vidéos et à écouter un son. Les ressources externes et internes sont censées favoriser la compréhension des concepts en jeu durant l'expérience proposée. Toutefois, comme dans la salle de cours, il n'y a pas d'onglet Aide.

II.4. La bibliothèque

La bibliothèque est un ensemble d'articles auxquels l'utilisateur peut accéder à partir différentes portes d'entrées qui sont un dictionnaire (classification alphabétique des articles), un classement thématique (les physiciens du son, le son et la physique, les instruments de musique et l'acoustique musicale) et deux répertoires, des images et des vidéos. Le dictionnaire offre à l'utilisateur d'une part pour chaque terme, dans la mesure du possible, diverses représentations. D'autre part, il propose des liens vers d'autres termes, et vers d'autres lieux respectivement sous les rubriques "Voir" et "Activités proposées".



Découpage de l'article en fonction des représentations sémiotiques proposées

Liens donnant lieu à une navigation dans la bibliothèque et dans la salle de TP

Figure 23 : Définition de la fréquence de vibration proposée dans le dictionnaire de la bibliothèque

II.4.1. La navigation et les ressources disponibles

L'architecture de la bibliothèque conduit à une navigation non linéaire qui peut être externe et interne :

- Une navigation externe non linéaire à partir d'une page-écran :

Selon l'article sélectionné du dictionnaire, nous joignons un ensemble de liens supplémentaires permettant de se référer :

- à des tâches de la salle de TP,

- à des parties du cours qui peuvent être nécessaire à la compréhension du terme sélectionné car une définition du dictionnaire peut être vue comme un résumé d'un concept introduit dans le cours,
- à des protocoles de la salle d'expériences libres
- à des articles appartenant à une même thématique.

• Une navigation interne non-linéaire à partir d'une page-écran
  - Nous avons pris le parti de proposer à partir d'escamot la définition des mots qui peuvent paraître difficile au lieu de "transférer" automatiquement l'utilisateur au niveau de ce mot. De ce fait, l'utilisateur reste dans le contexte de sa lecture ou recherche initiale sans être désorienté.
  - Le second moyen est le mini-dictionnaire. Il peut être redondant avec le dictionnaire de la bibliothèque, mais il permet la saisie et par la même occasion de savoir s'il est défini dans l'ensemble des documents fournis par la bibliothèque.
  - Nous avons construit dans la page-écran centrale (celle de l'article) un bandeau permettant à l'utilisateur de choisir des sections de l'article telles que la définition, le schéma, un exemple, une animation. Ce découpage est réalisé en fonction des systèmes sémiotiques composant l'article.

II.4.2. Les principales spécificités didactiques

Les articles sont découpés en sous-rubriques en fonction des représentations qu'ils proposent à l'utilisateur (définition, dessin, …). Les actions des utilisateurs sont limitées à lire et à observer une animation. Les ressources externes sont élaborées par le concepteur : l'utilisateur ne peut plus comme dans les autres lieux décider du lieu où il souhaite aller. Nous supposons que les liens créés entre les différentes informations permet à l'utilisateur de poursuivre une recherche avec une continuité de sens.

III. Résumé

Cette description de l'hypermédia "Labdoc Son et Vibrations" lequel est dédié à l'enseignement du son et est centré sur l'activité expérimentale, conduit à relever un certain nombre de points communs :

- Les contenus de chacun des lieux sont organisés selon une analyse par niveaux de savoir et systèmes sémiotiques. Ils sont donc structurés selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques.
- Les quatre lieux possèdent deux sortes de navigation relatives aux ressources internes et externes : une navigation interne au lieu et une navigation externe au lieu.
- Les contenus de chaque lieu mènent au moins aux actions de lire un texte et d'observer une vidéo et/ou une animation.
- Les "outils" de navigation favorisent les allers-retours entre les pages-écrans.

Les particularités de la salle de TP :

- Un onglet Aide proposant des informations organisées selon une analyse par niveaux de savoir et systèmes sémiotiques.
- Des actions supplémentaires sont proposées : taper du texte, actionner une simulation, cocher une case, etc.
- Des questions sont données et la demande de validation de la réponse retourne un feed-back.
- Des tâches successives sont proposées à partir d'onglets.

Partie C : Méthodologies d'analyse et analyse des données recueillies

Chapitre 6
Méthodologies de recueil et d'analyse des données

Dans ce chapitre, il s'agit de présenter les méthodologies de recueil et d'analyse de données qui doivent permettre de réaliser notre objectif de recherche : mettre en évidence l'influence de l'organisation des contenus de savoir et des tâches qui sont proposées dans l'hypermédia sur l'activité des élèves.
Pour cela, nous avons choisi de comparer l'activité effective des élèves à celle prévue (chapitre 7 Analyse *a priori*) dans la perspective de distinguer des "écarts" éventuels (Crozier, 1977) à partir desquels nous montrerons l'influence de l'organisation des contenus de savoir et des tâches. Cette méthodologie d'analyse découle de nos choix théoriques présentés dans la première partie de notre travail. Elle permet, dans la mesure du possible, d'analyser les connaissances verbalisées des élèves selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques et d'étudier l'évolution des connaissances des élèves en prenant en compte leurs interactions successives avec le milieu organisé.
Dans un premier temps, nous exposons l'expérimentation mise en place dans trois lycées lyonnais avec des élèves de Seconde, les données recueillies et les caractéristiques de l'expérimentation. Ensuite, nous décrivons les méthodologies d'analyse des données recueillies à partir de la trace des actions des utilisateurs au niveau de l'interface au cours du temps, et des enregistrements audios et vidéos.

I. Expérimentation et recueil de données

Comme nous l'avons présenté dans la partie précédente (Partie B Chapitre 5), l'hypermédia, "Labdoc Son et Vibration", est dédié à l'enseignement du son en classe de Seconde. Les élèves ont la possibilité de réaliser d'une manière autonome cinq séquences de TP. Notre objectif est d'éprouver l'hypermédia dans le contexte pour lequel il a été créé : en situation de classe durant et/ou à la place de l'enseignement dirigé par le professeur avec, des élèves de classe de Seconde.
Nous décrivons successivement le contexte de l'expérimentation, les conditions de recueil des données et les caractéristiques de l'expérimentation.

I.1. Le contexte de l'expérimentation

L'expérimentation s'est déroulée dans trois classes de Seconde de lycées différents situés dans l'agglomération lyonnaise (Lycée Branly, Lycée Camus, Lycée St Exupéry). Les élèves, au total 20 dyades âgées de 14 à 16 ans, ont été recrutés par leur professeur respectif selon leur motivation.
Il s'agit de proposer aux élèves de réaliser trois séances de travaux pratiques à partir de l'hypermédia à la place de celles dirigées par l'enseignant. Chaque séance dure environ 1 heure et demi et est espacée de quinze jours avec la suivante, conséquence de l'alternance entre les séances de TP de physique et de chimie. Ainsi, chaque expérimentation s'étale au moins sur cinq semaines.
A chaque séance de TP, deux dyades sont placées dans une salle de classe à l'écart de celle où leur professeur enseigne : elles sont ainsi isolées des autres élèves et de leur professeur évitant tout échange et influence. Pendant ce temps, les autres élèves réalisent la même séance avec l'enseignant et la fiche de TP.
Le chercheur, présent dans la classe où se déroule l'expérimentation, observe les élèves et les soutient techniquement. Toutefois, à la demande de certains élèves, il sera amené, par exemple, à les aider à identifier leurs erreurs ou à interpréter une réponse donnée par le logiciel.

I.2. Le recueil de données

I.2.1. La trace informatique

La conception de ce logiciel de traçage est issue d'une analyse *a priori* des différentes actions que les élèves peuvent réaliser au niveau de l'interface (Chapitre 7).
Ce logiciel permet d'enregistrer automatiquement, en fonction du temps, un ensemble d'actions des utilisateurs telles que la navigation dans les ressources externes et internes (Chapitre 5), les réponses de l'utilisateur (sous forme de textes, valeurs numériques, sélection d'une réponse), l'état de la réponse (réponse "exacte" ou "inexacte"), la manipulation d'objets composant une simulation (bouton de réglage de la fréquence et de l'amplitude), etc.
Un tel outil rend possible le traçage au cours du temps de la manière dont l'utilisateur agit sur les différents éléments proposés sur l'interface. Dans la section suivante (II.1), cette trace est décrite plus en détail.

I.2.2. Les enregistrements

Nous avons filmé les élèves et enregistré leur dialogue. Les enregistrements audio sont retranscrits. Les bandes vidéos permettent de compléter la transcription et de suivre en parallèle la trace obtenue et les actions en temps réel des élèves durant les trois séances de TP.

I.3. Caractéristiques de l'expérimentation

I.3.1. Deux situations organisées

Pour chacune des expérimentations, nous avons organisé deux situations. Dans la première, l'hypermédia est l'unique support à l'apprentissage du son. Dans la seconde situation, l'hypermédia est associé à du matériel expérimental. Les élèves peuvent réaliser, par exemple, les diverses expériences

de l'hypermédia présentées à partir de vidéos, de simulations, d'animations. Le Tableau 11 présente, selon le lycée et la situation, le nombre de dyades qui réalisent l'expérimentation.

	Lycée Branly	Lycée Camus	Lycée St Exupéry
Nombre de dyades utilisant l'hypermédia	4	4	4
Nombre de dyades utilisant l'hypermédia et le matériel expérimental	4	0	4

Tableau 11 : Présentation des conditions de l'expérimentation

I.3.2. Une population de vingt dyades

Le recueil d'une telle quantité de données (20 dyades) donne lieu à une première analyse, dite *"globale"*, à partir de l'ensemble des traces. L'objectif est d'identifier des fonctionnements caractéristiques des 20 dyades et de sélectionner quatre dyades parmi les vingt en vue de réaliser une analyse dite *"locale"* à partir des transcriptions des verbalisations des élèves.
La multiplicité des données rend possible des analyses ne relevant pas d'une population unique (même lycée et enseignant) et permet de retirer les enregistrements non "conforme" (problème technique, élèves malade).

I.3.3. Le TP0 : première séquence de TP à réaliser

La première séance commence par une courte présentation du logiciel par le chercheur. Elle se poursuit sur la réalisation du TP0 "Introduction de la chaîne sonore" et de ses quatre exercices d'application. Or, les élèves ont déjà préparé ces exercices sur une feuille distribuée préalablement par l'enseignant. Ils vont donc corriger directement leurs solutions à partir de l'hypermédia et vont pouvoir par la même occasion :

- s'adapter à cette nouvelle démarche d'enseignement et d'apprentissage qui conduit à une réalisation autonome des séquences de TP, à la perte de "repères cognitifs" tels que l'enseignant, les traces écrites sur leur cahier,
- prendre conscience que les tâches fournies par l'hypermédia sont similaires à celles proposées par le professeur, ce qui peut aider à atténuer certaines craintes en vue du contrôle,
- accepter la validité des réponses proposées par le logiciel.

I.3.4. La distribution d'une fiche "Aide"

A chaque séance de TP, nous distribuons une fiche intitulée "Les Aides" (annexe D) qui décrit les différentes ressources (internes et externes) disponibles dans l'hypermédia et la manière de les sélectionner. Nous supposons que cette fiche peut constituer un support pour aider les élèves à :

- se familiariser avec l'hypermédia,
- identifier seuls les diverses ressources, la signification des icônes, la navigation, etc.
- s'impliquer d'une manière autonome dans la réalisation des tâches,

II. Méthodologies d'analyse des données recueillies

Les données recueillies sont de trois types : la trace informatique et des enregistrements audio et vidéo. Cet ensemble de ces données permet d'articuler deux niveaux d'analyses : *global* et *local*.

- Le niveau global repose sur une analyse quantitative des données issues de la trace qui permet d'avoir un aperçu de l'activité des 20 dyades lors de la réalisation des différentes tâches des cinq séquences de TP. Les données, telles que la durée de réalisation d'une tâche, le nombre de réponses inexactes, le nombre d'appels à l'onglet Aide, permettent de caractériser l'activité des élèves selon les contenus proposées (les difficultés des élèves) et la structure des contenus (les actions à mener pour réaliser la tâche, la place de l'introduction du modèle dans la séquence, la nature des informations sélectionnées dans l'onglet Aide, etc.)
- Le niveau local concerne l'analyse des transcriptions des élèves. Cette étude rend compte de l'évolution des connaissances mobilisées par les élèves résolvant un problème donné en interagissant avec les différents éléments de la situation. Une telle analyse a l'avantage de décrire assez précisément la démarche des élèves en mettant en lumière l'écart entre l'activité effective des élèves et celle qui est attendue en termes de niveaux de savoir (Chapitre 7).

II.1. Méthodologie de l'analyse globale

Il s'agit de constituer, à partir de la trace, des données qui contribuent à l'analyse de l'activité des élèves selon l'architecture de l'hypermédia et les difficultés que ces derniers peuvent rencontrer.

II.1.1. Principe

La trace recueillie est un fichier texte qui contient, dans l'ordre chronologique, la durée des actions réalisées par la dyade. Nous en donnons un exemple dans le Tableau 12.

Trace				Descriptif de la trace
Durée				
0:00:00	TP.M14 (Salle de TP)			**Entrée dans la salle de TP**
0:00:00		Mesure de la fréquence (Intitulé de la tâche)		Tâche Mesure de la fréquence
0:00:01			DLG103-Mesure 1 (onglet)	Ouverture de l'onglet Mesure 1
0:01:16			DLG103-Aide (onglet)	Sélection de l'onglet "Aide" après 1 minute 16 secondes
0:00:09			Btn Formule (Fréquence)	9 secondes plus tard sélection de la formule de la fréquence
0:00:15			DLG103-Mesure 2 (onglet)	15 secondes plus tard sélection de l'onglet "Mesure 2"
0:00:02			DLG103-Mesure 1 (onglet)	2 secondes plus tard sélection de l'onglet "Mesure 2"
0:00:00			Durée du dialogue : 00:01:43	Fin de l'activité dans la tâche dont la durée est de 1 minute 43 secondes
0:00:00	Coursb.m14			**Entrer dans un nouveau lieu : le cours**
0:00:05		Index (CH1) (chapitre 1)		entrée dans l'index du chapitre1
0:00:03		Introduction (CH1)		Ouverture de la page-écran "Introduction"

Tableau 12 : Trace fournie par l'hypermédia

Cettre trace est ensuite insérée dans un tableau excel et découpée en trois catégories (Tableau 13) :

1. Catégorie dite "temporelle" : elle pemet d'observer au cours du temps la chronologie des diverses actions des élèves et d'avoir la durée entre chacune des actions.
2. Catégorie dite "spatiale" : elle indique la tâche en cours, le lieu où elle est effectuée, la tâche réalisée (page-écran), et l'onglet utilisé. Les pages-écrans de la bibliothèque, de la salle d'expériences libres et de la salle d'exercices ne figurent pas dans la trace, conséquence de difficultés informatiques.
3. Catégorie dite "Diverses actions" : elle indique la plupart des actions effectuées lors de la réalisation de la tâche : les réponses tapées au clavier, cochées avec la souris, la sélection du bouton demande de validation, l'état de la réponse ("Bonne réponse" ou "réponse fausse") les

actions sur les boutons de réglage de la fréquence par exemple, les informations sélectionnées dans l'onglet Aide, etc. Certaines actions ne figurent pas dans la trace telles que l'appel aux deux onglets Aide du TP3, les termes sélectionnés dans le mini-dictionnaire et la sélection des escamots.

Nous donnons un exemple de trace reconstruite dans le Tableau 13. La lecture du tableau se fait de la manière suivante pour la quatrième ligne : à une minute 26 secondes, l'utilisateur réalise la tâche intitulée "Mesure de la fréquence" qui est dans la salle de travaux pratiques, est en train de sélectionner l'information "Formule" (de la fréquence) dans l'onglet Aide.

Catégorie "Temporelle"		Catégorie "Spatiale"				Catégorie "diverses Actions"
Temps	**Durée entre actions**	**Intitulé de la tâche**	**Lieu**	**Page-écran**	**Onglet**	**Diverses actions**
0:00	0:00	Mesure de la fréquence	Salle de TP	Mesure de la fréquence		
0:01	0:01	Mesure de la fréquence		Mesure de la fréquence	Mesure 1	
1:17	1:16	Mesure de la fréquence		Mesure de la fréquence	Aide	
1:26	0:09	Mesure de la fréquence		Mesure de la fréquence	Aide	Bouton Formule (Fréquence)
1:41	0:15	Mesure de la fréquence		Mesure de la fréquence	Mesure 2	
1:43	0:02	Mesure de la fréquence		Mesure de la fréquence	Mesure 1	
1:48	0:05	Mesure de la fréquence	Salle de cours	Index (CH1)		
1:51	0:03	Mesure de la fréquence		Introduction (CH1)		
2:06	0:15	Mesure de la fréquence	Salle de TP	Mesure de la fréquence	Mesure 1	Edit Frequence : 0.5
2:12	0:06	Mesure de la fréquence		Mesure de la fréquence	Mesure 1	Bouton Validation
2:16	0:04	Mesure de la fréquence		Mesure de la fréquence	Mesure 1	Bonne réponse
2:23	0:07	Mesure de l'amplitude		Mesure de l'amplitude	Mesure	

Tableau 13 : Exemple d'extrait de trace modifiée (0:01 signifie 1 seconde)

Nous avons ensuite constitué une base de données exploitable à l'aide du logiciel Access. L'exploitation de cette base à partir de requêtes permet de comparer l'activité des 20 dyades des points de vues des durées de réalisation des tâches, du nombre d'appels à l'onglet Aide, du nombre de réponses inexactes, etc. Le Tableau 14 présente des données obtenues à partir de trois requêtes différentes.

	N° dyade												
	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Durée de réalisation de la tâche	10:23	5:50	24:53	10:27	7:16	9:17	22:46	29:36	9:55	19:46	7:10	4:28	3:34
Nombre d'appels à l'onglet Aide	1	0	3	2	1	1	3	3	0	3	1	0	0
Nombre de réponses inexactes	5	5	27	5	4	11	28	17	4	14	1	3	1

Tableau 14 Durée (en minutes et secondes) de réalisation de la tâche 8 du TP1 , nombre d'appels à l'onglet Aide et nombre de réponses inexactes

En lien avec nos questions de recherche, nous élaborons les quatre données suivantes, supports de l'analyse globale (Chapitre 8) :

- la durée de réalisation de la tâche et de la séquence de TP,
- le nombre de réponses inexactes,
- les ressources utilisées,
- le nombre d'informations sélectionnées dans l'onglet Aide et le nombre d'appel à l'onglet Aide.

II.1.2. Présentation des quatre données supports de l'analyse globale

Ces quatre données constituent des observables de l'activité des élèves.

La durée de réalisation des taches.
Nous regarderons, si cette donnée est homogène pour l'ensemble des dyades, par tâches et par séquence. Nous identifierons les dyades dont les durées de réalisation comparées à la durée moyenne se situent à plus ou moins un écart-type : cela montrera que certaines tâches semblent poser des difficultés aux élèves. La prise en compte des données "nombre de réponses inexactes" et nombre d'appels à l'onglet Aide" contribuera à vérifier cette hypothèse. La mise en relation entre les durées de réalisation et les actions à effectuer (lire, observer, taper du texte) peut aussi fournir des éléments d'éclaircissement de certaines valeurs particulièrement faibles.
Enfin, la comparaison des durées de réalisation dans le cas de tâches :

- similaires dans une même séquence (et des séquences différentes),
- dont le savoir en jeu est le même mais dont les représentants diffèrent,
- qui précèdent ou succèdent l'introduction du modèle en jeu dans la séquence.

peut apporter un certain éclairage relatif au "temps d'apprentissage" des élèves.

Le nombre de réponses inexactes.
En comparant, la valeur de ce nombre sur les 33 tâches qui précisent l'état de la réponse des élèves, nous distinguerons de cette manière celles qui semblent poser des difficultés aux élèves. La prise en compte de la structure des contenus permettra d'interpréter certaines valeurs particulièrement élevées. Il sera aussi possible de faire des hypothèses à propos de l'évolution des connaissances des élèves en comparant cette donnée lors de la réalisation de tâches dont le savoir en jeu est similaire mais dont les représentants diffèrent par exemple. Enfin, il sera intéressant de regarder si cette donnée est liée au nombre d'appels à une ressource et au nombre d'informations sélectionnées dans l'onglet Aide.

Les ressources utilisées.
Il s'agira de déterminer le nombre d'appels aux ressources externes, au lieu dans lequel les élèves réalisent la tâche (cours, bibliothèque) et, aux ressources internes (mini-dictionnaire, onglet Aide). Nous serons à même d'apprécier le type de ressources que les élèves privilégieront.

Le nombre d'informations sélectionnées dans l'onglet Aide et la nature des informations sélectionnées.
Il sera intéressant d'observer, d'une part, le lien entre d'une part la tâche à réaliser, c'est-à-dire les connaissances à mobiliser, et les informations majoritairment sélectionnées par les élèves et, d'autre part, la manière dont les élèves sélectionnent les informations (une ou plusieures, de façon répétitive, le moment lors de la réalisation de la tâche). Ces données seront particulièrement pertinentes pour étudier la possible relation entre l'appel d'une ressource et le nombre de réponses inexactes lors d'une tâche donnée.

II.2. Méthodologie pour l'analyse locale

L'objectif de cette méthodologie est de décrire le fonctionnement des élèves à partir de leurs verbalisations en prenant en compte le cadre théorique introduit dans la première partie de la thèse.

II.2.1. Principe

Nous avons transcrit les verbalisations de 4 dyades réalisant trois séances de TP. La transcription[35] des différents enregistrements audios est présentée sous la forme d'un tableau composé de 3 colonnes. La première indique le numéro du tour de parole (N° TdP), la seconde désigne le locuteur (loc) et, la troisième l'intervention du locuteur.

Symboles	Locuteur
A et B	les deux élèves
Autres	autres élèves présents dans la salle
I	Intervenant extérieur (le chercheur)
X	texte oral perçu lors de l'ouverture d'une page-écran, du lancement d'une vidéo

Tableau 15 : Désignation des symboles de la transcription et des locuteurs

La transcription est découpée selon l'ordre chronologique des tâches présentées dans l'analyse *a priori* (chapitre 6). Comme nous l'avons signalé, nous considérons qu'une tâche est un ensemble d'éléments utilisables par les élèves lors de l'ouverture d'une page-écran.

La méthodologie d'analyse mise en œuvre s'apparente "*au cheminement du chercheur*" décrit par Crozier et Friedberg (1977) et reprise en didactique (Artigues, 1988).
Notre objectif est de donner un sens à l'activité des élèves à partir de leurs verbalisations et de leurs actions. Pour cela, nous faisons une première analyse, dite analyse *a priori*, qui consiste à prévoir l'activité des élèves réalisant chacune des séquences de TP. Comme le souligne Crozier et Friedberg (1977, p. 395), le chercheur *"doit ici quitter sa position d'observateur détaché et extérieur au champ pour opérer un "détour" par l'intériorité des acteurs"*. Lors de cette première analyse (chapitre 7), nous avons décrit chaque tâche en présentant la consigne (l'objectif), les éléments de la situation et les réponses possibles des élèves suivant l'analyse du savoir en jeu (Partie A Cadre théorique).
Ensuite, nous codons les verbalisations des élèves afin de reconstruire *"la logique des diverses situations"* (Crozier et Friedberg, 1977, p. 396). Chaque grille de codage élaborée se réfère à l'un des éléments théoriques suivants : l'activité de modélisation, l'activité sémiotique et la théorie des situations (Partie A Cadre théorique). Ces grilles sont présentées dans la suite de ce chapitre.
Enfin, nous comparons l'activité observée des élèves à celle que nous avons prévue ce qui donne lieu à un *"raisonnement sur les écarts"* (Chapitre 9). Les écarts correspondent aux *"conduites et processus qui ne semblent pas obéir aux normes "rationnelles" que le chercheur s'est lui-même données à travers ces hypothèses"*. Ils indiquent au chercheur *"les endroits ou les zones où ses hypothèses sont en contradiction avec les comportements réels des acteurs, (...)"* et lui *"fournissent les points à partir desquels son raisonnement peut s'articuler et se développer (...), les points dont la compréhension lui permettra de découvrir des caractéristiques de l'ensemble qu'il ne connaît pas encore"* (Crozier et Friedberg, 1977, p. 396-397).

[35] Nous précisons que nous n'avons pas retranscrit le début de chaque séance qui correspond souvent à la prise en main du logiciel.

Cette méthodologie d'analyse doit permettre de réaliser les objectifs de recherche envisagés :

- identifier les connaissances mobilisées par les élèves et la manière dont ils les font fonctionner en tenant compte des caractéristiques des tâches,
- mettre en lumière que les systèmes sémiotiques présents dans une page-écran et/ou dans les onglets Aide peuvent soutenir l'activité de modélisation des élèves.
- montrer que le milieu informatique élaboré favorise la résolution d'un problème par les élèves en les amenant à mobiliser les connaissances attendues. La réussite du problème est donc liée à la mobilisation de ces connaissances.

Compte tenu de ces objectifs, cette méthodologie met en œuvre trois types d'analyse que nous présentons ci-dessous.

II.2.2. Méthode d'analyse des connaissances verbalisées des élèves

Cette analyse se décompose en trois étapes. Nous réalisons, d'abord, une analyse a priori. Ensuite, nous codons selon les niveaux de savoir les "connaissances verbalisées" des élèves (Buty, 2000), sur l'ensemble des 79 tâches, ce qui donne lieu à un dénombrement par tâche. Enfin, nous comparons l'activité effective des élèves à celle qui est attendue (chapitre 9).

II.2.2.1. Grille d'analyse des connaissances verbalisées des élèves

Nous avons vu (Chapitre 2) que les niveaux de savoir conduisent à décrire le savoir en jeu dans le processus de modélisation. L'hypothèse sous-jacente à ce processus réside en ce que les concepts de physique prennent leur sens dans la mise en relation entre les niveaux du modèle et du champ expérimental. La Figure 24 présente les niveaux de savoir à partir desquels nous catégorisons les connaissances verbalisées des élèves.

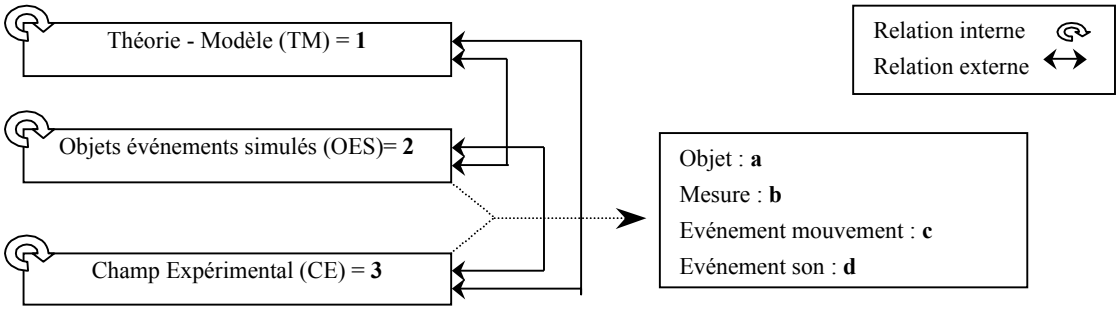


Figure 24 Présentation schématique du codage à partir des niveaux de savoir

Comme nous pouvons le constater (Figure 24), la mise en relation peut être interne à un niveau ou entre niveaux, dans ce cas nous l'appelons relation interne. Le Tableau 16 présente des exemples de codage des verbalisations des élèves selon les niveaux de savoir.

Niveaux de savoir	codage	Explicitation du codage	Exemple du corpus	Référence
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 (...)"*	Dyade 8 TP4 Tâche 4
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)	Dyade 12 TP1 Tâche 3
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 "*	Dyade 12 TP1 Tâche 3
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)	Dyade 16 TP1 Tâche 4
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"*	Dyade 16 TP3 Tâche 6
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* "	Dyade 16 Tâche 1

Tableau 16 Exemples de codage des verbalisations des élèves

Particularités du codage :

- Les verbalisations associées à une vidéo se réfèrent au champ expérimental et non aux objets et événements simulés. En effet, la perception des ces objets familiers est proche de celle dans la réalité.

- Les sons émis par les simulations ne sont pas codés dans le champ expérimental, mais en tant qu'objets et événements simulés. En effet, il est essentiel de différencier les moments où les élèves parlent du son simulé émis par l'ordinateur (cas 1, Tableau 17) et le son "évoqué" qui se réfère au savoir en jeu (cas 2, Tableau 17). Sans cette différenciation, il est difficile de distinguer les moments où les élèves parlent du son et répondent à la tâche. Toutefois, nous avons codé de la même manière le son évoqué et le son émis par du matériel expérimental. Il faut noter que les élèves utilisent rarement le matériel expérimental et que des formulations du cas 2 (Tableau 17) sont peu fréquentes.

	Verbalisations	Codage
Cas 1 : objets événements simulés	N° TdP 59 B *"Et comme il est plus grave (le son) et bien elle est plus petite la fréquence je crois"*	Re(1 (F petite)-2d (+grave))
Cas 2 : champ expérimental	N° TdP 17 B *"La fréquence bein quand la fréquence est grande on a dit le son est petit / enfin le"*	Re(1 (F grande)-3d (son petit))

Tableau 17 : Différence de codage selon la nature de la connaissance à propos du son

Pour terminer nous proposons un exemple d'analyse de verbalisations selon les niveaux de savoir à partir de la tâche 7 du TP2 par la dyade 8. Les différentes connaissances mises en œuvre par les élèves dans cet exemple sont attendues.

Niveaux de savoir de la tâche 7 TP2	N° de tour de parole (N° TdP)	Verbalisation	Codage des verbalisations selon les niveaux de savoir et les relations
Théorie-modèle et Champ expérimental	N° TdP 8 A	N° TdP 8 A *"Interprétation de l'expérience / alors lorsque le vide est réalisé construire la chaîne sonore / donc émetteur / récepteur"* / (Lecture de l'énoncé)	
	N° TdP 9 B	*"Pas aucun / je mets milieu"*	Théorie-modèle
	N° TdP 10 A	*"Milieu"*	Théorie-modèle
	N° TdP 11 B	*"Milieu"*	Théorie-modèle
	N° TdP 12 A	*"Récepteur / là on a émetteur"*	Théorie-modèle
	N° TdP 13 B	*"Emetteur c'est le réveil"*	Relation théorie-modèle et champ expérimental
	N° TdP 14 A	*"Le réveil / dans cette situation la chaîne sonore est constituée par"*(lecture de la consigne)	Relation théorie-modèle et champ expérimental
	N° TdP 15 B	*"Aucun milieu"*	Relation théorie-modèle et champ expérimental
	N° TdP 16 A	*"Mais pourquoi / ah oui / ah oui c'est coupé"* (rappel de la situation précédente de l'indien)	Champ expérimental
	N° TdP 17 B	*"Aucun récepteur"*	Relation théorie-modèle et champ expérimental
	N° TdP 18 A	*"Validation / c'est juste / regarde la réponse du professeur"*	

Tableau 18 : Analyse selon les niveaux de savoir des verbalisations de la dyade 8 lors de la tâche 7 du TP2

II.2.2.2. Comparaison entre l'activité attendue et celle qui est effective

Pour comparer l'activité attendue des élèves à celle effective nous avons construit pour une tâche donnée un tableau qui les met en parallèle. L'activité attendue est décrite à partir des niveaux de savoir à utiliser et à mettre en relation (voir grille d'analyse Figure 24). Pour l'activité effective, suite à un codage des verbalisations des élèves à partir de cette même grille, nous déterminons le nombre de verbalisation relatif à chacun des niveaux de savoir. Le Tableau 19 donne un exemple à partir du codage des connaissances verbalisées des élèves lors de la tâche 2 du TP0 intitulée "La chanteuse".

Activité attendue						Activité de la dyade selon les niveaux de savoir					
N°tâche	N°TP	Intitulé de la tâche	Niveaux de savoir de la page-écran	Niveaux de savoir à utiliser	Niveaux de savoir à mettre en relation	Théorie-modèle	Objets événements simulés	Relation théorie-modèle et objets événements simulés	Relation théorie-modèle et champ expérimental	Relation objets-événements simulés et champ expérimental	Champ expérimental
2	TP0	La chanteuse	Théorie modèle Champ expérimental	Théorie modèle Champ expérimental	Relation théorie-modèle et champ expérimental	5	0	0	7	0	1

Tableau 19 : Tableau permettant de comparer l'activité effective de la dyade à celle qui est attendue

Cette méthodologie contribuera à décomposer l'étude de l'analyse des dyades de deux façons :

- Une comparaison entre les niveaux mis en œuvre et les relations réalisées et ceux qui sont attendus. Il s'agit de comparer les deux parties du tableau. Nous pourrons ainsi découvrir les écarts suivants (Crozier et Friedberg, 1977) :
  - des niveaux mis en œuvre et des relations réalisées qui ne sont pas prévus par l'analyse a priori. Cela montrera que les élèves utilisent, durant la réalisation des tâches, diverses ressources nécessaires pour s'approprier le savoir en jeu.
  - Des tâches à partir desquelles la grille d'analyse n'a pas permis pas de catégoriser les verbalisations des élèves.

- Une comparaison de la réalisation de la tâche par les élèves avec celle attendue. Nous analysons ici les connaissances mises en œuvre par les élèves et nous identifions celles qui ne sont pas appropriés du point de vue du savoir en jeu, nommées *"connaissances non attendues"*. Une telle différenciation rendra possible le suivi du cheminement des élèves pour parvenir à mettre en œuvre la connaissance attendue. Nous donnons ci-dessous un exemple de verbalisations, à partir de la dyade 16 lors de la tâche 24 du TP4, permettant d'apprécier la différenciation entre connaissance "attendue" et "non attendue". L'élève B (TdP 8) propose la connaissance non attendue en mettant en relation la perception grave avec l'amplitude.

  TdP 7 A *"Trop grave / c'est trop grave"*

  TdP 8 B *"Oui / donc on va monter l'ampl* [amplitude, lien entre la perception sonore grave et l'amplitude] */"* (connaissance non attendue)

  TdP 9 A et B *"Non"*

  TdP 10 A "*Fréquence"* (connaissance attendue)

  TdP 11 B "*Non c'est la fréquence /"*

II.2.3. Méthode d'analyse décrivant l'activité sémiotique

Nous souhaitons coder au travers de la verbalisation la manière dont les élèves vont faire "appel" à différents systèmes sémiotiques pour résoudre la tâche proposée. En effet nous supposons à la suite de Duval (1995) que l'activité conceptuelle est liée à la possibilité de pouvoir articuler différentes représentations d'un même concept en jeu : "l'activité conceptuelle ne peut plus alors être isolée de l'activité sémiotique parce que la compréhension conceptuelle apparaît liée à la découverte d'une invariance entre des représentations sémiotiquement hétérogènes" (Duval, 1998, p. 61). Ainsi, notre méthodologie d'analyse s'organise en trois temps :

- Une analyse a priori des tâches,
- Un codage selon les systèmes sémiotiques mis en jeu dans les verbalisations des élèves.
- Une étude en parallèle des codages selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques.

II.2.3.1. Grille d'analyse appliquée aux verbalisations des élèves

A partir de notre cadre théorique nous avons distingué six systèmes sémiotiques. Chacun des systèmes sémiotiques peut être utilisé pour exprimer des éléments de chacun des niveaux de modélisation. Les différents systèmes sémiotiques sont mis en œuvre *via* le langage naturel.

Systèmes sémiotiques	Exemples de codage à partir du dialogue	Référence
Langage naturel (LN)	N° TdP 46 B *"Bon quand quand la fréquence est petite le son est grave quand l'amplitude est petite le son est faible ok*" (reformulation de la définition donnée en langage naturel)	Dyade 12 TP1 Tâche 7
Représentation symbolique (RS)	N° TdP 71 A *"Ah ouais donc c'était en fait c'était 1/19 c'est compliqué comme calcul ça (rire) / vas y c'est bon"* (elles tentent d'appliquer la formule de la fréquence)	Dyade 16 TP1 Tâche 3
Représentation graphique (RG)	N° TdP 25 A *"Non c'est pareil la distance entre ça et ça c'est toujours c'est pareil"* (la distance entre les oscillogrammes)	Dyade 20 TP4 Tâche 12
Image (I)	N° TdP 61 A *"Attends il va se faire écraser l'indien tu vas voir"* (il parle de l'image)	Dyade 12 TP0 Tâche 4
Représentation dynamique (RD)	N° TdP 5 B *"Vas y vas-y à fond à fond pour voir ce que cela fait"* (en parlant du bouton sur la simulation)	Dyade 12 TP1 Tâche 6
Dessin légendé (DL)	N° TdP 4 B *"L'amplitude de déplacement oui / c'est la différence entre le machin là et le maximal et"* (décrivent et désignent l'amplitude à partir d'un dessin légendé)	Dyade 12 TP1 Tâche 4

Tableau 20 : Codage à partir des systèmes sémiotiques

II.2.3.2. Etude simultanée de l'activité sémiotique[36] et de modélisation des élèves

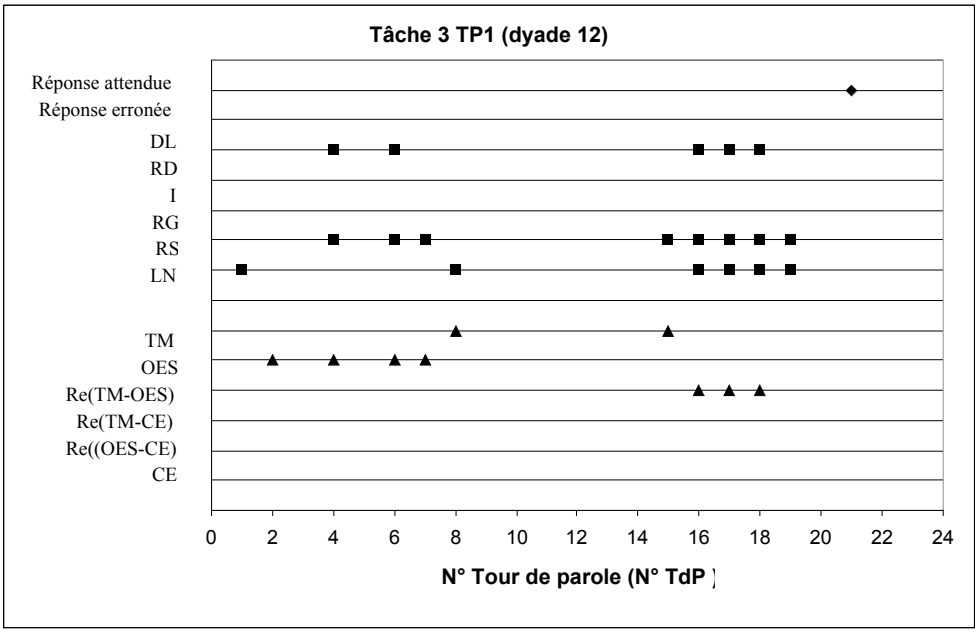
Nous avons construit un graphique qui permet de visualiser en parallèle et chronologiquement (selon les tours de parole) le codage selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques. Nous pouvons alors étudier la manière dont les élèves donnent sens au savoir en jeu. Nous donnons ci-dessous un extrait de corpus des verbalisations de la dyade 12 réalisant la tâche 3 du TP1 "Mesure de la fréquence", codé selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques (Tableau 21). Nous joignons ensuite la représentation graphique de ce codage (Graphique 2). Lors de cette tâche, il est demandé aux élèves de compter le nombre d'allers-retours effectués par la membrane du haut-parleur en un temps t à partir de la simulation (représentation dynamique), puis de déterminer la valeur de la fréquence.

N°	Locuteur	Interventions	Systèmes sémiotiques	Signification	Nivaux de savoir
8	B	Quatre cinq six sept huit neuf dix onze douze treize quatorze quinze seize dix sept dix huit / dix huit	RD, RS	Comptage du nombre d'aller-retour à partir de la simulation	OES
9	A	Dix huit / préciser	RS	Valeur du nombre d'aller-retour	OES
10	B	Préciser la fréquence trouvée / tu retournes / il disait comment on faisait la fréquence	LN	Lecture de l'énoncé	TM
17	A	Mais attends tu le calcules comment le la fréquence	RS		TM
18	B	C'est lui en une seconde (ils sont dans la page-écran définition de la fréquence et de l'amplitude. B répond à A en prenant en compte la définition de la fréquence et l'animation proposée).	RD, RS, LN	Reformulation de la définition de la fréquence à partir des animations	Re(TM-OES)
19	A	On a qu'a compté en une seconde combien ça fait	RD, RS, LN	Reformulation en tenant compte de la mesure réalisée	Re(TM-OES)
20	B	Bien oui facile bien si en dix secondes il fait dix huit en une seconde il fait 1,8 non (ils reviennent à mesure)	RD, RS, LN	Application en utilisant la définition, la simulation et en calculant le rapport	Re(TM-OES)

Tableau 21 : Exemple de codage lors de la tâche 3 du TP1 "mesure de la fréquence" (dyade 12)

Légende voir Graphique 2

[36] L'activité sémiotique correspondant à l'utilisation des systèmes sémiotiques.



Graphique 1 : Graphique présentant l'activité sémiotique et conceptuelle de la dyade 12 lors de la tâche 3 du TP1

Légende

Abréviation	Signification	Abréviation	Signification
TM	Théorie-modèle	LN	Langage naturel
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 théorie-modèle et champ expérimental	RD	Représentation dynamique
CE	Champ expérimental	DL	Dessin légendé

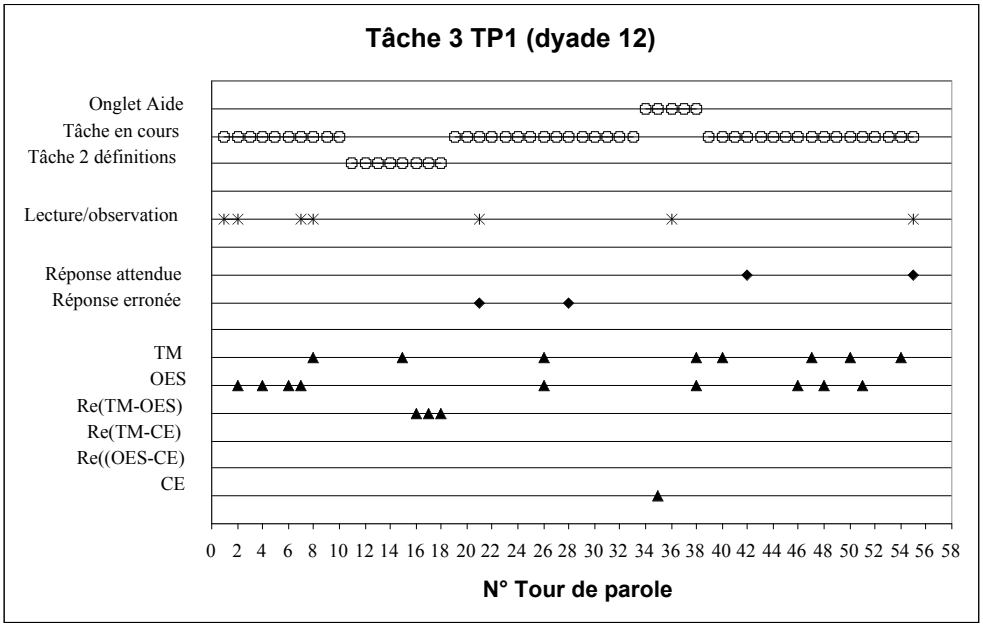
II.2.4. Méthode d'analyse de l'influence des éléments de la situation lors de la résolution d'un problème

L'objectif de cette méthodologie est de décrire l'évolution des connaissances des élèves aux cours de leurs interactions avec le milieu "informatique".

Pour cela nous avons catégorisé certaines actions des élèves qui permettent de cerner l'activité des élèves lors de la réalisation d'une tâche donnée. Cela revient à identifier le cheminement des élèves. Nous précisons que ce codage n'est pas très fin mais tient compte de la plus part des éléments de la page-écran. Ainsi, la méthode d'analyse consiste à visualiser simultanément et chronologiquement (voir Graphique 2) les données suivantes :

- Le codage des connaissances verbalisées selon les niveaux de savoir. Nous suivrons de cette manière l'évolution des connaissances des élèves associées aux différentes actions menées.
- L'état de la réponse des élèves qui est retournée dès que les élèves demandent la validation de leur réponse. Nous pourrons observer à partir de quel moment les élèves semblent prendre conscience de leur erreur et comment cela peut influer sur leurs actions.
- La lecture de textes et l'observation d'une vidéo ou d'une animation. Nous relèverons les moments où les élèves retournent par exemple à la consigne en vue d'identifier le problème, à la vidéo d'une expérience pour élaborer de nouvelles stratégies de résolution.

- La navigation séquentielle (de page-écran à page-écran). Nous aurons l'occasion de pointer les besoins des élèves tels que : retourner lire une définition, actionner à nouveau une simulation.
- L'utilisation de ressources (onglet Aide par exemple). Nous observerons ce qui peut déclencher cet appel et comment ces ressources visualisées sont réinvesties par les élèves.



Graphique 2 : Graphique permettant de suivre l'évolution des connaissances des élèves interagissant avec le milieu "informatique"

Chapitre 7
Analyse *a priori* des 4 séquences de TP

L'objet de ce chapitre est de décrire l'activité possible des élèves (en dyade) lors de la réalisation des différentes tâches contenues dans les cinq séquences de TP (les analyses a priori du TP2 au TP4 se situe dans l'annexe C). Il s'agit ici de répondre *a priori* à notre problématique : "Quelle est l'influence de l'organisation des contenus de savoir sur le fonctionnement des élèves ?". Une telle analyse donne lieu ensuite à étudier l'écart entre l'activité effective des élèves en situation d'enseignement à celle que nous avions prévu (Chapitre 9 et 10).
L'analyse *a priori* se déroule en deux étapes. La première consiste en une présentation succincte des différentes tâches selon leurs objectifs. La seconde étape est une description de chacune des tâches des points de vue de :

- l'organisation des savoirs et des éléments de la situation : cela consiste à détailler la page-écran selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques, les ressources disponibles, le système de validation et les autres d'autres éléments (catégorie "divers").
- l'activité possible des élèves en dyade : cela réside en l'étude des stratégies, des réponses possibles et des actions des élèves en relation avec le contenu présenté lors de la réalisation de la tâche. Nous considérons *a priori* que les élèves parlent en réalisant les tâches. Nous utiliserons parfois des observations d'élèves de classe de Seconde réalisant les TP SOC dans les lycées de St Genis et de Givors.

Remarque
Sur l'ensemble des tâches, la ressource interne (le mini-dictionnaire) et les ressources externes (la bibliothèque, la salle de cours, la salle d'expériences libres, la salle d'exercices) sont constamment présentes. De ce fait, nous détaillerons essentiellement les ressources internes suivantes : l'onglet Aide, et les escamots.

I. Analyse *a priori* du TP0 : Exercice d'introduction

Cette première séquence a pour objectifs :

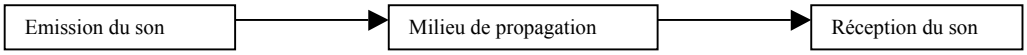
- d'introduire le modèle de la chaîne sonore,
- de faire fonctionner ce modèle à partir de quatre situations issues de la vie quotidienne,
- d'"initier et familiariser" les élèves avec le logiciel : découverte des différentes icônes et de la navigation, nouvelles manières de réaliser une séance de TP.

Cette séquence comporte cinq pages-écrans. La première, qui introduit le modèle de la chaîne sonore, est suivie de quatre pages contenant chacune un exercice. Dans ce qui suit, nous décrivons les pages-écrans du modèle de la chaîne sonore et celles des quatre exercices.

I.1. Tâche 1 : Introduction

I.1.1. Enoncé

"Le son se propage d'une source de son vers un récepteur à travers un milieu de propagation, c'est ce



que l'on appelle la chaîne sonore.

Les éléments de la chaîne sonore

Chaque fois que l'on entend un son, on peut préciser les éléments de la chaîne sonore."

Cette page-écran introduit le modèle de la chaîne sonore afin de donner un outil théorique aux élèves pour repérer les différents "lieux" où va "vivre" le son dès son émission. A partir de ce modèle, les élèves auront à décrire et parfois à interpréter les différentes situations expérimentales et/ou de la vie quotidienne lors des séquences de TP suivantes.

I.1.2. Eléments de la situation

I.1.2.1. L'organisation de la page-écran

Le Tableau 22 présente les différents niveaux de savoir et systèmes sémiotiques contenus dans la page-écran.

Page-écran	
Niveau de savoir	Systèmes sémiotiques
Théorie-modèle	Représentation symbolique
	Langage naturel

Tableau 22 : L'organisation de la page-écran "Introduction"

Nous supposons que la présentation de la chaîne sonore à partir de deux systèmes sémiotiques, le langage naturel et la représentation symbolique, peut aider les élèves à se construire une représentation de la propagation du son. En effet, l'articulation entre ces deux systèmes peut favoriser l'appropriation du modèle chez l'élève.

I.1.3. Activités des élèves

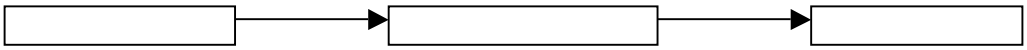
L'activité des élèves est limitée à la lecture du texte et à l'écoute du message oral de Fripini qui est censée les guider : *"tout d'abord lisez cette introduction, puis si vous êtes prêt à déterminer les éléments de la chaîne dans différentes situations alors, tournez la page".*

I.2. Tâches 2, 3, 4, 5 : Exercices d'application

Les quatre tâches sont construites sur le même modèle.

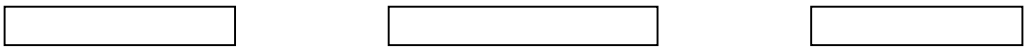
I.2.1. Enoncé

"Construire la chaîne sonore et déterminer ses constituants en déplaçant les éléments de la liste ci dessous.



Chaîne sonore

Dans cette situation la chaîne sonore est constituée par :



"

Nous souhaitons que les élèves apparient les éléments de la chaîne sonore (Théorie-modèle) avec ceux de la situation de la vie quotidienne (champ expérimental) afin de décrire les différents lieux où va vivre le son. Cet appariement conduit à articuler le niveau théorie-modèle avec celui du champ expérimental.

I.2.2. Eléments de la situation

I.2.2.1. La page-écran : support de l'activité

L'illustration de la demi-page-écran de droite présente une scène de la vie quotidienne. Suivant la page-écran on trouve : la chanteuse devant son public, le public applaudissant la chanteuse, l'indien penché sur les rails écoutant le son du train et le médecin auscultant son malade.

Nous supposons que l'objectivité des illustrations des diverses situations aident les élèves à se projeter dans la situation ce qui peut favoriser l'appariement entre les éléments de la situation et ceux de la chaîne sonore.

Le Tableau 23 donne les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques contenus dans la page-écran.

Demi-page-écran de gauche		Demi-page-écran de droite	
Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques	Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques
Théorie-modèle	Représentation symbolique et langage naturel	Champ expérimental	Image
Champ expérimental	Représentation symbolique et langage naturel		

Tableau 23 : L'organisation de la page-écran "La chanteuse"

I.2.2.2. Le système d'évaluation

- Le bouton de demande de validation de la réponse : l'évaluation de la réponse

L'évaluation de la réponse conduit à deux feed-back :

- un message écrit qui donne une appréciation de la réponse. Dans le cas où celle-ci est correcte, le message *"Vous avez bien construit la chaîne sonore. Cependant, il vous est conseillé de consulter la réponse du professeur pour en savoir plus"* incite les élèves à consulter la réponse du professeur. Sinon, le message retourné précise que *"La chaîne sonore est incomplète ou incorrecte"*.
- un point lumineux qui indiquent au niveau de chacun des éléments à fournir, l'état de la réponse : un point vert si la réponse est exacte et un point rouge dans le cas contraire.

L'élève a la possibilité de demander la validation de sa réponse autant de fois qu'il le souhaite. L'inconvénient de ce fonctionnement est de donner la possibilité aux élèves de construire les chaînes

par essais-erreurs ce qui peut détourner l'objectif premier que les élèves donnent sens au modèle de la chaîne sonore en l'appliquant aux situations proposées.

- Le bouton réponse (du professeur)

Ce bouton correspond à la réponse de l'enseignant. Elle est de couleur rouge et fournit la réponse attendue en langage naturel : *"Le son émis par les cordes vocales de la chanteuse se propage dans l'air et est reçu par les oreilles du public"*.

I.2.3. Réalisation de la tâche et activités des élèves

I.2.3.1. Réponses possibles

A partir de la liste de mots proposés, les élèves sont censés construire les deux chaînes demandées. Il sera intéressant d'observer les appariements réalisés par les élèves en particulier pour identifier le milieu de propagation. En effet, il a été remarqué[37] que s'il est assez aisé de désigner et de localiser l'émetteur et le récepteur (en particulier si on les voit), qui sont souvent associés à un objet, il est plus difficile d'identifier le milieu de propagation, illimité dans l'espace, et souvent composé de plusieurs objets. Par exemple dans le cas de la situation de la chanteuse, le milieu est composé d'un ensemble d'éléments visibles tels que la salle, le public, les chapeaux, les rideaux, etc. Il semble alors intéressant de relever comment l'illustration peut influencer le choix des élèves dans leurs appariements et comment, au cours des quatre applications, évolue l'idée qu'ils se font du milieu.

I.2.3.2. Activités des élèves

Dans cette tâche les actions des élèves sont lire les textes et les mots, faire glisser et lâcher les mots sélectionnés dans les différentes cases composant les deux chaînes. La Figure 25 présente selon les niveaux de savoir de l'énoncé ceux que les élèves sont censés utiliser et mettre en relation.

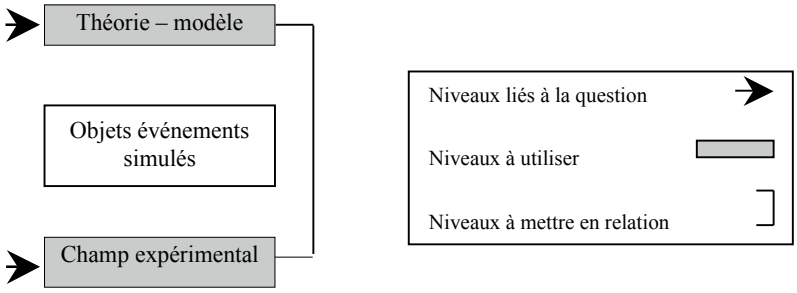


Figure 25 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation

I.2.4. Connaissances à mobiliser

Pour réaliser cette tâche, nous attendons que les élèves mobilisent le modèle de la chaîne sonore précédemment introduit.

II. Analyse *a priori* du TP1

L'objectif de cette séquence est d'amener, dans un premier temps, les élèves à s'interroger sur le phénomène à l'origine du son puis, à décrire ce phénomène à partir des grandeurs physiques associées. Le Tableau 24 présente, d'après les TP SOC, la succession des tâches ainsi que les leurs objectifs.

[37] Voir TP SOC Environnement conceptuel du TP1 proposé aux enseignants (**annexe**).

	Découpage du TP1	Objectifs des tâches
Etude de différentes sources sonores : le diapason, la guitare, un tambourin, le haut-parleur, une lame de scie.	Tâche 1 "Activités expérimentales"	La source de son et son comportement : savoir que le son peut être produit par un solide dont une partie vibre.
Etude des grandeurs physiques de la vibration	Tâche 2 "Définition" de la fréquence et de l'amplitude Tâche 3 "Mesure de la fréquence" Tâche 4 "Mesure de l'amplitude" Tâche 5 "Test sur la fréquence et l'amplitude"	Introduction des grandeurs caractéristiques de la vibration et mesures quantitatives et qualitatives associées.
Etude de la relation ente la perception sonore et les caractéristiques physiques de la vibration de la source sonore	Tâche 6 "Expérience" Tâche 7 "Définition de la perception sonore aiguë/grave et fort/faible" Tâche 8 "Test : lien entre la vibration et la perception sonore associée"	Relation entre la vibration d'une partie de la source et la perception sonore associée (son aigu / grave et son fort / faible).
Compétences exigibles ou en cours d'apprentissage (Bulletin officiel, 1992)	Un émetteur est une surface vibrante La fréquence est une caractéristique de la source Associer la notion de hauteur d'un son à la fréquence de celui-ci	

Tableau 24 : Le découpage du TP1, les objectifs de ces différentes tâches et les compétences exigibles

Rappel

Sur l'ensemble des tâches, la ressource interne (le mini-dictionnaire) et les ressources externes (la bibliothèque, la salle de cours, la salle d'expériences libres, la salle d'exercices) sont constamment présentes. De ce fait, nous détaillerons essentiellement les ressources internes suivantes : l'onglet Aide, et les escamots.

II.1. L'activité expérimentale et ses quatre tâches

Cette séquence débute par une activité expérimentale dont les principaux objectifs sont de rendre conscient les élèves du lien entre le phénomène qu'ils perçoivent, le son, et le phénomène physique (parfois visible) qui lui est associé, puis de les amener à donner sens au terme vibration, terme identifié comme "cache misère[38]", enfin d'introduire la vibration en tant que phénomène commun à l'ensemble des sources de son. De ce fait, cette activité expérimentale se décompose en cinq tâches, chacune correspondant à une page-écran :

- la première, intitulée "Activité expérimentale", correspond au point de départ de l'activité expérimentale puisque d'une part elle fixe la problématique et d'autre part, elle fournit l'accès aux diverses expériences que les élèves vont observer et décrire ;
- les trois pages-écrans suivantes scandent la démarche de l'élève : elles donnent lieu à l'observation de l'expérience, à la détermination de la source de son et enfin à la description de l'événement observé. Ainsi, elles sont intitulées "Observation", "Détermination" et "Description" ;
- la dernière renvoie à l'objectif de cette "activité expérimentale" qui est d'amener les élèves à déterminer le phénomène commun à l'ensemble des sources de son : elle s'intitule "Conclusion".

[38] *"Quel que soit l'âge des sujets, il semble que* pour certaines situations *, le terme de vibration soit invoqué (même avant enseignement) sans définition précise (...), ce qui était déjà le cas pour les enfants".* (Vince, 2000, p. 87)

II.1.1. T1 : "Activités expérimentales"

II.1.1.1. Enoncé

"Nous vous proposons, de réaliser différentes expériences proposées dans la page ci-contre (un minimum de trois). Lorsque vous serez prêt, cliquez sur Conclusion pour répondre à la question : Y a-t-il un comportement commun à l'ensemble de ces sources de son ?
Dans chacune des expériences ci-contre vous allez :
1) Déterminer la source de son.
2) Observer et décrire le comportement de la source de son."

Cette page est le passage obligé avant de sélectionner une expérience ou une nouvelle expérience. L'objectif et la présentation globale de la tâche sont introduits sous forme écrite et orale. L'énoncé oral rappelle aux élèves qu'ils sont censés réaliser au moins trois expériences ce qui est l'une des conditions pour qu'ils puissent alors identifier le phénomène commun à un ensemble de sources de son. Les élèves peuvent choisir parmi sept expériences utilisant une instrumentation variée et présentées à parti de vidéos, animations et images :

- instruments de musique : diapason, tambourin, guitare,
- appareillage électrique : haut-parleur alimenté par un générateur basse fréquence,
- divers : ballon, lame de scie, cordes vocales.

Nous faisons l'hypothèse que, ce choix varié d'expériences conduira les élèves à ne pas restreindre leur interprétation aux événements liés à la source sonore étudiée, mais à l'appliquer à l'ensemble des sources qui se rencontrent dans l'environnement quotidien (un instrument de musique, un claquement de porte, etc.) De plus, cette familiarité avec les situations peut les aider à identifier l'événement en jeu. Suite à la sélection de l'une des expériences, les élèves vont devoir réaliser les trois tâches que nous supposons initiatrices de l'"apprentissage" d'une certaine démarche "scientifique" que les élèves rencontreront dans les autres séquences de TP. Cette première démarche semble relever de la démarche inductiviste, c'est-à-dire que l'observation est première et fournit les faits sur lesquels vont reposer les explications des élèves pour aboutir à une proposition générale. Nous présentons successivement chacune des ces pages-écrans à partir de l'expérience du haut-parleur.

II.1.2. Tâche 1a : "Observation de l'expérience"

II.1.2.1. Enoncé

"Faisons varier la fréquence de la tension délivrée par le générateur. Observer le comportement des billes de polystyrène, lorsqu'elles sont placées sur la membrane du haut-parleur en fonctionnement."
Nous précisons que toutes les pages-écrans sont sensiblement construites de la même manière.

L'énoncé spécifie à l'élève l'événement qu'il doit observer à partir de la vidéo. La vidéo fournit l'expérience à partir de laquelle les élèves observent, si possible, deux événements : le son émis par un objet matériel (instrument de musique, scie, …) et le mouvement d'un autre objet en son contact (par exemple le rebond d'une balle en contact avec un diapason en vibration, le mouvement des cavaliers de papier sur la corde de la guitare lorsque celle ci est pincée, etc.). L'objectif est ainsi de provoquer un questionnement chez l'élève. Les différentes expériences sont construites dans l'objectif d'amener les

apprenants à identifier la cause et l'effet produit : il ne leur reste plus qu'à construire une explication de cette cause en identifiant l'agent causal. Cette forme d'explication ou de description est appelée "explication causale" ou "raisonnement causal linéaire" des élèves.

II.1.2.2. Eléments de la situation

II.1.2.2.1. L'organisation de la page-écran

L'analyse de la page-écran selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques est présentée dans le Tableau 25.

Demi-page-écran de gauche		Demi-page-écran de droite	
Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques	Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques
Champ expérimental	langage naturel	Champ expérimental	Représentation dynamique Image

Tableau 25 : L'organisation de la page-écran "Observation"

II.1.2.2.2. Les ressources

- Les ressources internes

Nous proposons une description du matériel utilisé lors de l'expérience.

- Les ressources externes

Pour certaines expériences, nous avons créé un lien vers la salle d'expérience libre, intitulé "voir salle expérimentation (...)" qui présente une expérience à partir d'objets de la vie quotidienne et à sa description.

II.1.2.2.3. Divers

Fripini, l'accompagnateur de l'élève précise la possibilité d'observer l'animation de l'expérience : *"N'oubliez pas de regarder l'animation en cliquant sur la tortue"*.

II.1.2.3. Activités des élèves

Nous supposons que les actions des élèves se limitent à lire les textes et à observer la vidéo. Nous attendons à la mise en œuvre de relations internes des sous-niveaux du niveau du champ expérimental (objets, événement mouvement, évènement son).

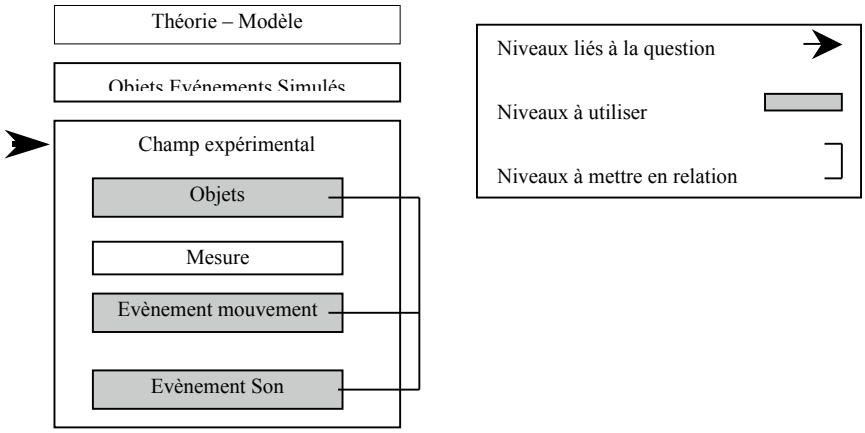


Figure 26 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation

II.1.3. Tâche 1b : "Détermination de la source de son"

II.1.3.1. Enoncé

"Déterminer la source de son en cliquant sur l'image."

L'objectif de la consigne est d'amener les élèves à apparier la source de son à l'un des objets présents sur la photo de l'expérience (annexe B). Les élèves doivent déterminer les sources de sons suivantes : le diapason, la membrane du haut-parleur, la membrane du tambourin, la lame de scie, les cordes vocales, les cordes de la guitare, le col d'un ballon en plastique.

II.1.3.2. Eléments de la situation

II.1.3.2.1. L'organisation de la page-écran

Le Tableau 26 présente l'analyse de la page-écran selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques.

Demi-page-écran de gauche		Demi-page-écran de droite	
Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques	Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques
Théorie modèle	Langage naturel	Champ expérimental	Image

Tableau 26 : L'organisation de la page-écran "Détermination de la source de son"

II.1.3.2.2. Le système d'évaluation

A chaque sélection d'une zone active de l'image, un message est retourné. Dans le cas de l'expérience du haut-parleur les messages sont dans le Tableau 27 :

Objet sélectionné	**Message**
Le haut-parleur	Oui, le haut-parleur est la source de son
Le générateur basse fréquence	Non, le générateur basse fréquence (GBF) est l'appareil qui envoie un signal électrique au haut-parleur. Le haut-parleur est la source du son qui convertit ce signal électrique en un signal sonore.
Les morceaux de polystyrène	Les morceaux de polystyrène permettent uniquement d'observer le mouvement de la membrane

Tableau 27 : réponses proposées

Le principal défaut de ce feed-back est de favoriser la stratégie essai-erreur car d'une part il n'y a pas de système de demande de validation de la réponse et d'autre part le nombre de zones actives est limitées.

II.1.3.2.3. Divers

Nous retrouvons Fripini qui demande aux élèves d'éviter de cliquer sur l'image au hasard afin d'écarter une stratégie par tâtonnement : *"La réponse est donnée dès que vous cliquez sur l'image alors concentrez-vous avant de répondre".*

II.1.3.3. Réalisation de la tâche et activités des élèves

II.1.3.3.1. Réponses possibles

Pour déterminer la source de son, les élèves sont censés apparier la source de son à l'un des objets de l'image. Pour cela, ils sont supposés construire la relation entre les niveaux théorie-modèle et champ expérimental. Toutefois, il est possible que les élèves rencontrent peu de difficulté pour résoudre cette tâche puisqu'elle est du même type que celle posée lors de la séquence "introduction de la chaîne sonore". Dans cette page-écran il sera intéressant de voir ce que les élèves identifient en tant que

source. En effet, une des difficultés des élèves est de différencier l'actant, l'objet contribuant à produire un son, de la source elle-même qui émet le son. Par exemple, nous pourrons rencontrer le marteau du diapason, la main de l'expérimentateur, comme type de source de son.

II.1.3.3.2. Activités des élèves

Les actions des élèves sont limitées à lire des textes et à cliquer sur l'image. Nous présentons schématiquement, à la suite de la présentation les niveaux de savoir liés à l'énoncé, les niveaux à utiliser lors de la résolution de la tâche et les niveaux à mettre en relation.

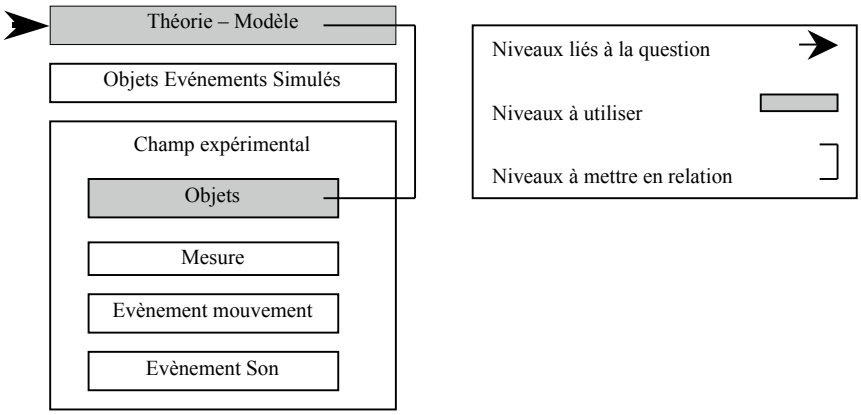


Figure 27 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation

II.1.3.4. Connaissances à mobiliser

Lors de l'élaboration de la réponse, nous souhaitons que les élèves se réfèrent au modèle de la chaîne sonore pour déterminer la source de son.

II.1.4. Tâche 1c : "Description de l'expérience"

II.1.4.1. Enoncé

"Décrire le comportement de la source sonore à l'aide de la vidéo"

Après avoir observé l'expérience, puis déterminé la source de son, il est demandé aux élèves de décrire son comportement à partir de la vidéo de l'expérience (annexe B). Les élèves rédigent leur réponse dans un cadre préposé à cette fonction qui est situé en dessous de l'énoncé. Les élèves doivent décrire le comportement des sources de sons suivantes : le diapason, la membrane du haut-parleur, la membrane du tambourin, la lame de scie, les cordes vocales, les cordes de la guitare, le col d'un ballon en plastique.

II.1.4.2. Eléments de la situation

II.1.4.2.1. L'organisation de la page-écran

Cette page-écran divisée en deux répond aux contraintes d'organisation des contenus. L'analyse de la page-écran selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques est présentée dans le Tableau 28.

Demi-page-écran de gauche		Demi-page-écran de droite	
Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques	Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques
Champ expérimental	Langage naturel	Champ expérimental	Représentation dynamique Image

Tableau 28 : L'organisation de la page-écran "Description"

II.1.4.2.2. Le système d'évaluation

- Le bouton de demande de validation de la réponse

Suite à la rédaction de la réponse, la demande de validation conduit à un message général qui indique uniquement que la réponse est mémorisée afin d'être présentée ensuite lors de la tâche "Conclusion". Néanmoins, dans le cas où les élèves demanderaient de valider sans avoir rédigé la réponse, nous leur indiquons qu'ils n'ont rien saisi.

II.1.4.2.3. Divers

Fripini rappelle l'objectif de la tâche et précise que cette dernière sera réutilisée lors de la conclusion : *"Il vous est demandé de décrire en quelques mots le comportement de la source. Attention vous utiliserez votre réponse lors de la conclusion".*

II.1.4.3. Réalisation de la tâche et activités des élèves

II.1.4.3.1. Réponses possibles

Pour répondre à cette question, nous nous attendons à ce que les élèves mettent en jeu les événements perceptibles de la situation : les perceptions sonores et visuelles d'une vibration mise en évidence par le mouvement des morceaux de polystyrène bougeant au contact de la membrane du haut-parleur comme dans le cas de l'expérience du haut-parleur. Il sera intéressant d'observer l'évolution des explications au cours des trois expériences réalisées : c'est-à-dire à partir de quel moment les élèves mettent relation la vibration et la perception sonore.

Ainsi, nous nous attendons à la mise en œuvre de relations internes des sous niveaux du champ expérimental. Par exemple à partir de l'expérience du diapason, nous proposons une réponse d'un groupe d'élève du lycée de Givors le 17/08/98 en séance de TP à partir des TP SOC :

> Paul : *"On peut voir que quand on frappe le diapason avec la baguette et qu'on approche la boule du pendule jusqu'au contact et bien la boule vibre "*

Cependant l'activité est tributaire de l'engagement des élèves dans la situation, c'est-à-dire qu'ils jouent le jeu.

II.1.4.3.2. Activités des élèves

Les actions des élèves sont réduites à la lecture et à l'écriture. Le schéma suivant présente les niveaux de savoir de l'énoncé, les niveaux à utiliser pour résoudre la tâche et enfin les relations attendues.

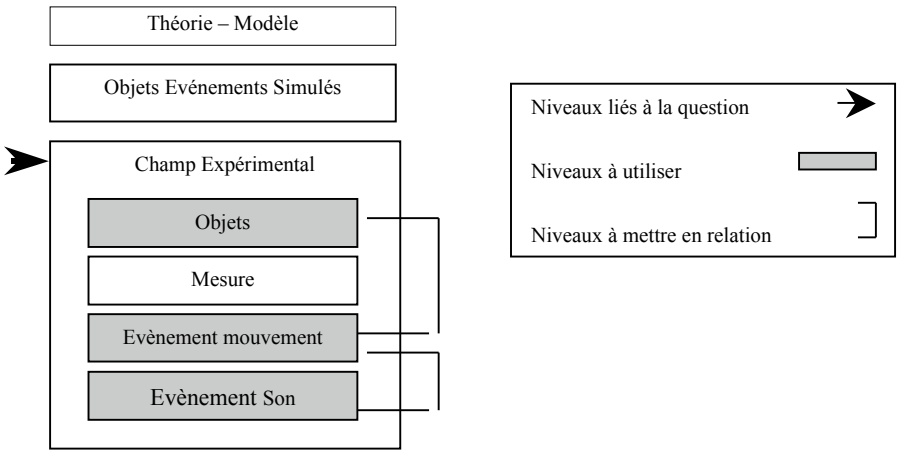


Figure 28 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation

II.1.4.4. Connaissances à mobiliser

Nous souhaitons que les élèves décrivent la vibration de la source de son dans les termes de "mouvement", "bouge", "mouvement de va et vient" afin qu'ils construisent un sens du terme "vibration".

II.1.5. Tâche 1d : "Conclusion"

II.1.5.1. Enoncé

"A ce stade êtes-vous en mesure d'indiquer le comportement commun à l'ensemble des sources de son étudiées."

La question posée demande aux élèves de spécifier sous forme d'un texte rédigé le comportement commun à l'ensemble des sources de son qu'ils ont pu observer. Pour faciliter la construction de leur réponse, nous fournissons l'ensemble de leurs réponses. Cette dernière étape est censée favoriser chez les élèves :

1. Une confrontation de leurs différentes réponses afin de remarquer le lien entre le phénomène physique, la vibration, et la perception sonore.
2. Une généralisation de leurs réponses afin d'identifier d'un point de vue théorique, le phénomène associé à la perception sonore qui est le mouvement de va et vient de l'objet.

II.1.5.2. Eléments de la situation

II.1.5.2.1. L'organisation de la page-écran

L'organisation de la page-écran selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques est proposée dans le Tableau 29.

Demi-page-écran de gauche		Demi-page-écran de droite	
Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques	Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques
	Langage naturel	Champ expérimental	Langage naturel

Tableau 29 : L'organisation de la page-écran "Conclusion"

II.1.5.2.2. Le système d'institutionnalisation

- Le bouton demande de validation

Suite à la rédaction de leur réponse, la demande de validation ne fournit pas une analyse de la réponse mais uniquement la réponse attendue.

- Le bouton réponse

Ce bouton donne la réponse de l'enseignant qui définit par la même occasion la vibration : *"Chaque source de son possède une de ses parties qui vibre. Une vibration est un mouvement de va et vient plus ou moins rapide d'un objet déplacé de sa position de repos et qui y est ramené."*

II.1.5.3. Réalisation de la tâche et activités des élèves

II.1.5.3.1. Réponses possibles

Nous attendons que la réponse des élèves fasse le lien entre le mouvement de la source et le son perçu. Plus précisément, nous souhaitons que les élèvent reconnaissent qu'un son est causé par le mouvement (appelé mouvement vibratoire) de la source ou d'une partie de la source. Par conséquent, nous désirons qu'ils parviennent à prendre conscience que la vibration est le phénomène commun à l'ensemble des sources de son, ce qui conduit à articuler les niveaux théorie-modèle et champ expérimental.

Cependant, il est possible que les diverses expériences observées à partir des vidéos ne suffisent pas pour élaborer cette interprétation. Ainsi, nous serons à même d'observer si le matériel expérimental mis à la disposition de certains groupes peut influencer l'articulation entre la vibration de l'objet matériel et le son perçu.

II.1.5.3.2. Activités des élèves

Les actions des élèves se limitent à la lecture et à la rédaction de la réponse. La Figure 29 montre les niveaux de savoir de l'énoncé que l'élève peut utiliser et mettre en relation.

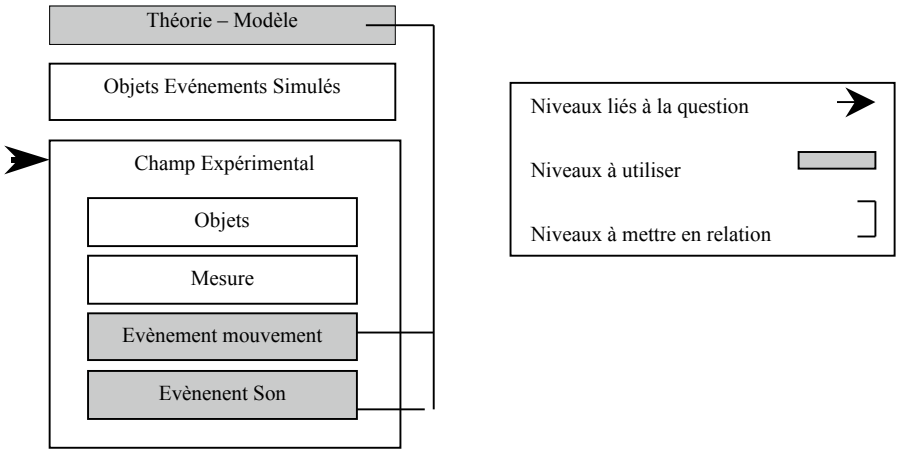


Figure 29 : Niveaux de savoir de l'énoncé, à utiliser et à mettre en relation

II.1.5.4. Connaissances à mobiliser

Lors de la réalisation de cette tâche, nous attendons que les élèves mobilisent des connaissances relatives à la vibration et parviennent à savoir qu'une source de son possède (ou une de ses parties) vibre.

II.2. Les grandeurs caractéristiques de la vibration

II.2.1. Tâche 2 : Définitions de la fréquence et de l'amplitude

II.2.1.1. Enoncé

"La fréquence de vibration : C'est le nombre d'allers-retours effectués en une seconde par la partie vibrante de la source de son.
L'amplitude de vibration : Le même nombre d'allers-retours en une seconde peut se faire avec un déplacement plus ou moins grand de la partie vibrante. Ce déplacement caractérise l'amplitude de la vibration."

L'activité expérimentale précédente a permis d'une part d'introduire la vibration en tant que phénomène commun à l'ensemble des sources sonores et d'autre part de la définir comme mouvement de va et vient (ou aller-retour) plus ou moins rapide d'un objet déplacé de sa position de repos et qui y est ramené. Dans cette tâche, la vibration est modélisée en termes de fréquence et d'amplitude pour amener les élèves à prendre conscience que la vibration peut être différente selon ses caractéristiques physiques mesurables et quantifiables.
Les animations, que l'utilisateur sélectionne successivement à partir des onglets "fréquence" et "amplitude", illustrent les définitions de la fréquence et de l'amplitude proposée. Les deux animations associées à la fréquence sont constituées d'un haut-parleur et d'une lampe. A chaque aller-retour de la membrane du haut-parleur la lampe s'allume. Pour deux fréquences (1 Hz et 0.5 Hz), l'élève peut ainsi comparer les mouvements des membranes. Dans le cas de l'amplitude, une règle graduée indique le déplacement plus ou moins grand de la partie vibrante de la source.
La présentation, dans deux demi-pages-écrans distinctes, des définitions de la fréquence et de l'amplitude et de leurs animations associées a pour but que les élèves :

- réalisent un possible traitement en langage naturel, ce qui peut correspondre, par exemple, à donner du sens à la définition en la reformulant ;
- effectuent une conversion d'un système sémiotique en un autre tel que la transformation de la définition de la fréquence en une formule (F = nombre d'allers-retours / durée de comptage de ce nombre d'allers-retours) ou à la simulation ce qui conduit à les articuler.

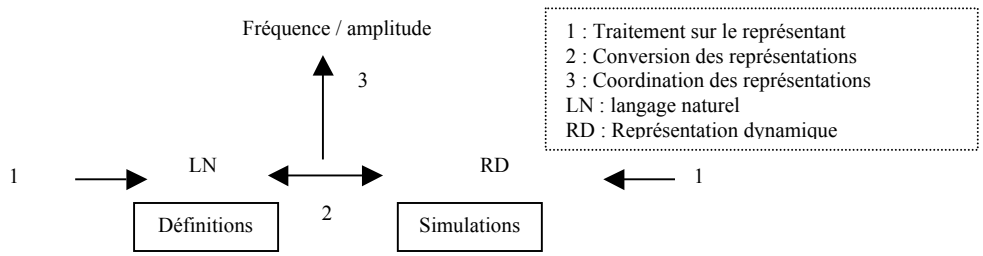


Figure 30 : L'activité sémiotique possible à partir de la tâche 2

II.2.1.2. Eléments de la situation

II.2.1.2.1. L'organisation de la page-écran

La page-écran est scindée en deux parties dissociant les deux systèmes sémiotiques et permettant de donner deux représentants de la fréquence et de l'amplitude de vibration. Nous pouvons décrire l'organisation de la page-écran selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques

Demi-page-écran de gauche		Demi-page-écran de droite	
Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques	Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques
Théorie-modèle	Langage naturel	Objets événements simulés	Représentation dynamique
Champ expérimental	Langage naturel	Théorie-modèle	Représentation symbolique
Relation entre la théorie-modèle et le champ expérimental	Langage naturel		

Tableau 30 : L'organisation de la page-écran "définition"

II.2.1.2.2. Les ressources

- Les ressources internes et externes

Les ressources internes à la page-écran sont les escamots associés aux termes allers-retours et exemples de parties vibrantes et le mini-dictionnaire.

II.2.1.2.3. Divers

L'onglet Fripini fournit de brèves explications à propos des deux animations.

II.2.1.3. Activités des élèves

Les actions des élèves se limitent à la lecture des définitions, à l'observation des animations.

II.2.2. Tâche 3 : Mesure de la fréquence

II.2.2.1. Enoncé

"A l'aide du chronomètre, compter le nombre d'allers-retours effectués par la membrane du haut-parleur pendant un temps t (10 secondes par exemple). Puis donner la valeur de la fréquence de vibration.
Mesure 1 : la fréquence est fixée par l'ordinateur.
Mesure 2 : vous fixez vous-mêmes la fréquence à l'aide du bouton."

L'objectif de cette tâche est d'amener les élèves à réinvestir le modèle de la fréquence présentée dans la tâche précédente en effectuant une mesure. La première étape de la consigne vise à dénombrer le nombre d'allers-retours effectué par la membrane en un temps t à partir de l'animation (ou simulation). La seconde étape demande de déterminer la valeur de la fréquence.

II.2.2.2. Eléments de la situation

II.2.2.2.1. L'organisation de la page-écran

L'organisation de la page-écran selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques est proposée dans le Tableau 31.

Demi-page-écran de gauche		Demi-page-écran de droite	
Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques	Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques
Théorie-modèle	Langage naturel	Théorie-modèle	Représentation symbolique
Objets événements simulés	Langage naturel	Objets événements simulés	Représentation dynamique

Tableau 31 : Organisation de la page-écran "Mesure de la fréquence"

II.2.2.2.2. Les ressources

- Ressources internes

D'abord deux escamots sont placés sur les termes fréquence et aller-retour. Ensuite, un onglet Aide donne un ensemble d'informations de natures différentes (représentations et niveaux de savoir) à propos de la fréquence (une définition, une animation, une formule) et de l'aller-retour (une définition,

une animation). Le Tableau 32 donne un descriptif de ces informations selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques.

Intitulé de l'information présente dans l'onglet Aide	Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques
La fréquence de vibration		
Définition	Relation entre la théorie-modèle et le champ expérimental	Langage naturel
Animation	Objets événements simulés	Représentation dynamique
Formule	Théorie-modèle	Représentation symbolique
Aller-retour		
Définition	Champ expérimental	Langage naturel
Animation	Champ expérimental	Représentation dynamique

Tableau 32 : Analyse des informations de l'onglet Aide selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques

II.2.2.2.3. Le système d'évaluation

- Le bouton de demande de validation de la réponse : l'évaluation de la réponse

Suite à la proposition d'une réponse, la demande de validation peut conduire à deux messages : dans la cas où cette dernière est exacte, le message renvoyé est simple et encourage l'élève : *"Très bien !!! Vous avez réussi"*. Inversement, lorsque la réponse est inexacte, le message retourné précise l'état de la réponse et incite l'élève à utiliser l'une des ressources avant de proposer une nouvelle réponse *"Attention !!! La fréquence saisie est incorrecte. Il est conseillé de consulter l'aide proposée puis de faire à nouveau la mesure"*. A aucun moment nous ne limitons le nombre de demandes de validation.

II.2.2.2.4. Divers

A partir de deux images de Fripini, nous proposons une information qui se réfère au niveau de la théorie-modèle : "*l'amplitude reste constante*" afin de souligner que la fréquence et l'amplitude ne dépendent pas l'une de l'autre, puis une phrase supposée inciter à l'utilisation de l'onglet Aide[39] " *Une aide est à votre disposition n'hésitez pas cliquez dessus*" et enfin un conseil d'utilisation du chronomètre élément premier de la mesure "*cliquez sur le chronomètre pour démarrer la mesure puis recliquez pour l'arrêter*".

II.2.2.3. Réalisation de la tâche et activités des élèves

II.2.2.3.1. Réponse des élèves

Nous attendons que les élèves suivent les deux étapes proposées par l'énoncé et utilisent la définition de la fréquence. La première consiste à compter, à l'aide du chronomètre, le nombre d'allers-retours effectués par la membrane durant un temps donné. La bonne marche de cette étape dépendra de la connaissance mobilisée à propos de l'aller-retour : un aller-retour correspond au déplacement réalisé pour aller à un endroit et en revenir. Cependant, certains élèves pourront considérer qu'un aller-retour correspond à compter un à chaque aller et chaque retour. La seconde étape consiste à déterminer la fréquence de vibration ce qui nécessite de mettre en relation le résultat de la mesure avec la définition de la fréquence. Cette étape consiste à construire la relation entre les niveaux des objets événements simulés (la mesure du nombre d'allers-retours) et de la théorie-modèle (la fréquence) et à mettre en relation deux systèmes sémiotiques : le langage naturel (définition de la fréquence) et la représentation symbolique (le nombre d'allers-retours comptés durant un temps t). Ceci conduira les élèves à

[39] Nous précisons que c'est la première fois que les élèves rencontrent ce type de ressource.

construire la fraction permettant de calculer la fréquence (F) qui correspond au rapport du nombre d'allers-retours comptés (NbrAR) divisé par la durée (t) (du type F = NbrAR/t).
Il est aussi possible de déterminer la fréquence de vibration à partir de la formule : F = 1/T (T la période) relative au niveau de la théorie-modèle. Dans la figure ci-dessous, nous décrivons schématiquement la manière dont les différentes représentations devront être mises en œuvre par les élèves. Nous retraçons les deux étapes présentées ci-dessus.

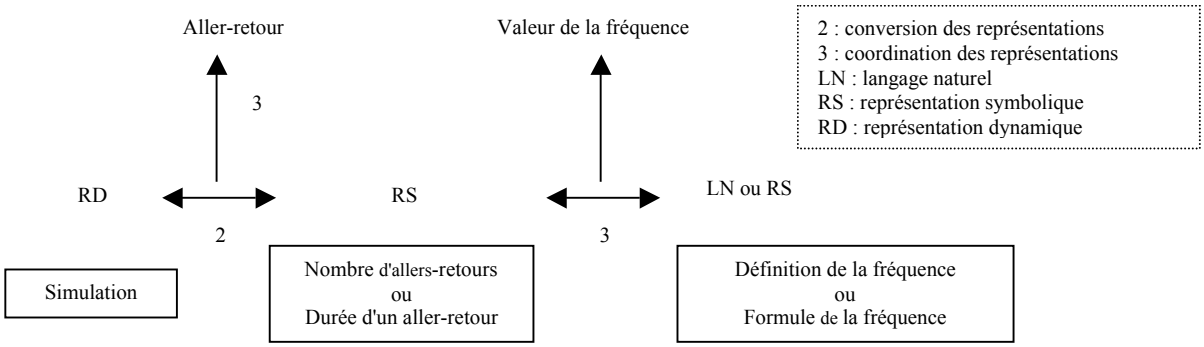


Figure 31 : Activité sémiotique possible durant la tâche 3

Néanmoins, il est possible que nous rencontrions la réponse suivante : la fréquence est égale au nombre d'allers-retours réalisés par la partie vibrante de la source. La réponse se situe au niveau des objets et des événements simulés ;

A cette première mesure fait suite à une nouvelle mesure intitulée "Mesure 2" à partir de laquelle il est possible de choisir la fréquence de vibration à mesurer (elle n'est plus imposée par le logiciel). Pour cela, la sélection de l'onglet "mesure 2" fait apparaître une nouvelle simulation qui permet de faire varier la fréquence à l'aide d'un bouton. L'intérêt de cette nouvelle tâche est d'amener les élèves à :

- prendre conscience qu'il est possible de mesurer la fréquence de vibration uniquement en observant le mouvement de va et vient de la membrane (pour des fréquences inférieures à 4 Hz),
- observer que la fréquence est une grandeur caractéristique de la vibration,
- relier la fréquence à la perception sonore.

II.2.2.3.2. Activités des élèves

Les actions des élèves peuvent se résumer de la façon suivante : lire les textes, actionner la simulation et taper du texte. La figure suivante présente schématiquement les niveaux de savoir de l'énoncé, les niveaux à utiliser pour résoudre la tâche et enfin les relations attendues.

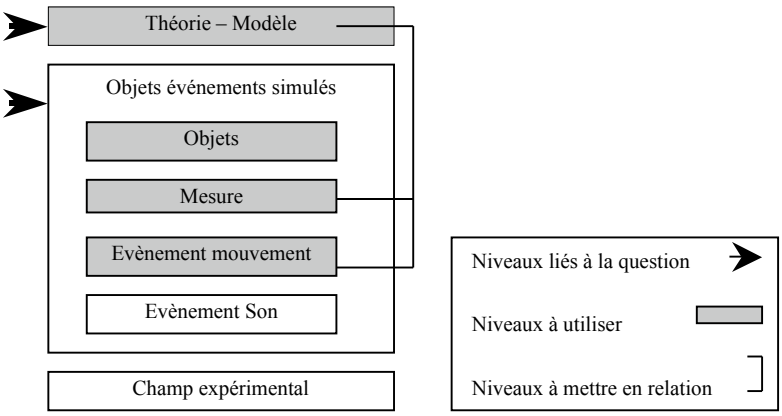


Figure 32 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation lors de la mesure 1

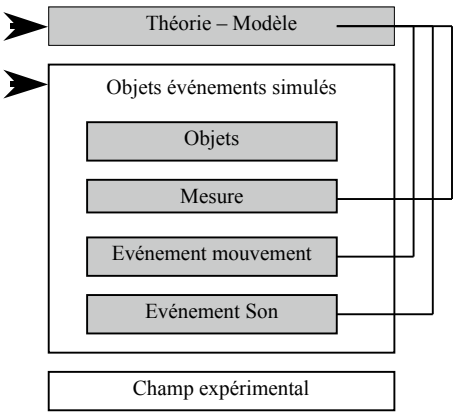


Figure 33 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation lors de la mesure 2

II.2.2.4. Connaissances à mobiliser

Lors de la réalisation de cette tâche, nous nous attendons à ce que les élèves mettent en œuvre les connaissances relatives aux allers-retours et aux définition ou formule de la fréquence.

II.2.3. Tâche 4 : Mesure de l'amplitude

II.2.3.1. Enoncé

"Mesurer la valeur de l'amplitude de la vibration de la membrane du haut-parleur à l'aide de la règle (graduée en millimètre) dans le cas ou :
Mesure : l'ordinateur impose différentes valeurs de l'amplitude."

Nous souhaitons amener les élèves à donner un sens physique à l'amplitude. On voit ici l'importance de la simulation pour permettre une telle tâche difficilement réalisable à partir du matériel proposé en classe.

II.2.3.2. Eléments de la situation

II.2.3.2.1. L'organisation de la page-écran

Le Tableau 33 présente l'organisation de la page-écran selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques.

Demi-page-écran de gauche		Demi-page-écran de droite	
Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques	Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques
Théorie-modèle	Langage naturel	Théorie-modèle	Représentation symbolique
Objets événements simulés	Langage naturel	Objets événements simulés	Représentation dynamique

Tableau 33 : Organisation de la page-écran "Mesure de l'amplitude"

II.2.3.2.2. Les ressources

- Ressources internes

Comme dans le cas de la mesure de la fréquence, nous proposons deux sortes de ressources internes :

- deux escamots qui sont placés sur les termes amplitude et vibration,
- un onglet Aide donnant un ensemble d'informations de natures différentes sur l'amplitude (Tableau 34).

Intitulé de l'information de l'onglet Aide	Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques
L'amplitude de vibration		
Définition	Relation entre théorie-modèle et champ expérimental	Langage naturel
Animation	Objets événements simulés	Représentation dynamique
Dessin	Relation entre théorie-modèle et champ expérimental	Représentation iconique

Tableau 34 : Analyse des informations de l'onglet Aide selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques

Comme la définition de l'amplitude a été introduite lors de la tâche 2, il nous semble que ces ressources seront utiles aux élèves.

II.2.3.2.3. Le système d'évaluation

- Le bouton de demande de validation de la réponse : l'évaluation de la réponse

Les messages retournés sont semblables à ceux de la tâche 3. Dans le cas où la réponse est inexacte, il est retourné *"Attention !!! L'amplitude saisie est incorrecte. Il est conseillé de consulter l'aide proposée puis de faire à nouveau la mesure"*. Inversement lorsqu'elle est exacte, le message est *"Très bien !!! Vous avez réussi"*.

A aucun moment nous ne limitons le nombre de demandes de validation.

II.2.3.2.4. Divers

A nouveau, à partir de l'image de Fripini, nous donnons une information au niveau de la théorie-modèle qui précise que seule l'amplitude varie "*la fréquence de vibration est constante*" et nous incitons les élèves à utiliser l'onglet Aide en cas de besoin "*une aide est à votre disposition n'hésitez pas cliquer dessus*".

II.2.3.3. Réalisation de la tâche et activités des élèves

II.2.3.3.1. Réponses possibles des élèves

Pour déterminer la valeur de l'amplitude à partir de la règle, les élèves sont censés compter le nombre de graduation correspondant à l'écart entre la position de repos de la partie vibrante et la position lorsque cette dernière a atteint son déplacement maximal. Pour cela, les élèves articulent le niveau des "objets événements simulés" et le niveau de la théorie-modèle et mettent en relation les deux systèmes sémiotiques : la représentation dynamique (la simulation) et le langage naturel (la définition de l'amplitude).

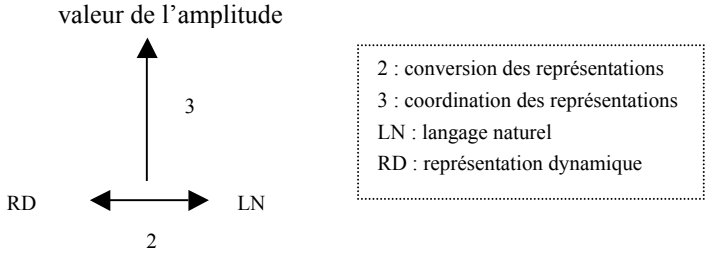


Figure 34 : Activité sémiotique possible durant la tâche 4

Cependant, pour certains élèves, la mesure de l'amplitude pourra correspondre à la distance parcourue par la membrane entre sa position minimale et sa position maximale c'est-à-dire à l'ensemble des graduations allumées du bas vers le haut. De plus, nous pouvons nous demander si le fait de lire sur la règle le déplacement effectué par la membrane du haut-parleur suffit à signifier que l'élève donne du sens à la grandeur amplitude.

II.2.3.3.2. Activités des élèves

Les actions des élèves en lien avec le contenu de la page-écran sont réduites à lire les textes et à taper un chiffre. La figure suivante présente schématiquement les niveaux de savoir de l'énoncé, les niveaux à utiliser pour résoudre la tâche et enfin les relations attendues.

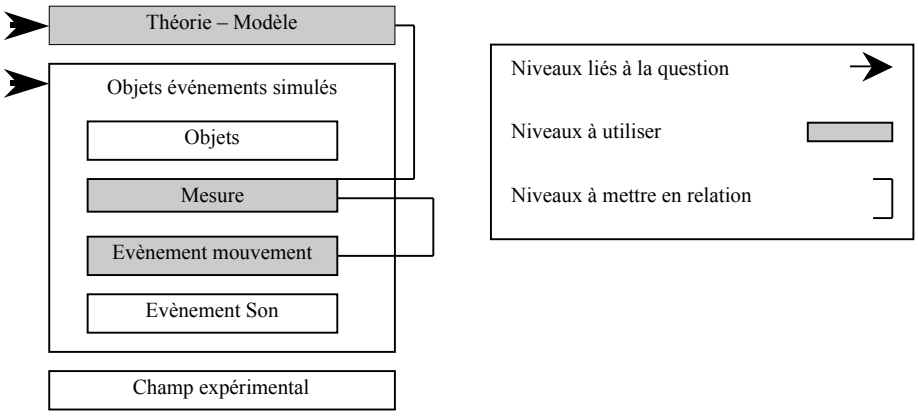


Figure 35 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation

II.2.3.4. Connaissances à mobiliser

Les connaissances mises en œuvre durant cette tâche sont relatives aux positions de repos et maximales de la partie vibrante de la source, à la définition de l'amplitude.

II.2.4. Tâche 5 : Test (Amplitude – Fréquence)

II.2.4.1. Enoncé

"Il vous est demandé de déterminer quelles caractéristiques de la vibration ont changé pour le haut-parleur à étudier par rapport à celui de référence."

Cette tâche a pour objectif que les élèves réinvestissent le sens de la fréquence et de l'amplitude qu'ils sont peut être en train de construire et qu'ils distinguent ces deux grandeurs et observent qu'elles ne sont pas dépendantes : ce n'est pas parce que la membrane se déplace "plus vite" qu'elle monte et descend davantage. C'est un « test d'application » qui conduit à une mesure qualitative de ces deux grandeurs.

II.2.4.2. Eléments de la situation

II.2.4.2.1. L'organisation de la page-écran

Le Tableau 35 présente l'organisation de la page-écran selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques.

Demi-page-écran de gauche		Demi-page-écran de droite	
Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques	Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques
Théorie-modèle	Langage naturel	Théorie-modèle	Langage naturel
Objets événements simulés	Langage naturel	Objets événements simulés	Représentation dynamique

Tableau 35 : Organisation de la page-écran "Test"

II.2.4.2.2. Les ressources

- Les ressources internes

Les ressources internes dans cette tâche se limitent au mini-dictionnaire et à l'onglet Aide dont les informations proposées sont réunies dans le Tableau 36. L'aide reprend l'ensemble des définitions des tâches précédentes. Nous ne proposons pas d'escamots qui sont des liens d'accès facile afin de pouvoir observer si les élèves vont d'eux-mêmes rechercher l'information dont ils peuvent avoir besoin pour continuer à construire les deux grandeurs en jeu.

Intitulé de l'information présente dans l'onglet Aide	Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques
La fréquence de vibration		
Définition	Relation entre la théorie-modèle et le champ expérimental	Langage naturel
Animation	Objets événements simulés	Représentation dynamique
Formule	Théorie-modèle	Représentation symbolique
Aller-retour		
Définition	Champ expérimental	Langage naturel
Animation	Champ expérimental	Représentation dynamique
Amplitude		
Définition	Relation entre la théorie-modèle et le champ expérimental	Langage naturel
Animation	Objets événements simulés	Représentation dynamique
Dessin	Relation entre la théorie-modèle et le champ expérimental	Représentation iconique

Tableau 36 : Analyse des informations de l'onglet Aide selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques

II.2.4.2.3. Le système d'évaluation

Il est proposé successivement six animations qui nécessitent à chaque fois une demande de validation de la part des élèves et dont le message retourné est un point coloré : vert pour une réponse exacte, rouge pour une réponse inexacte. Au sixième essai, le système informatique renvoie suivant les cas un message qui demande :

- de recommencer le test *"Le nombre de bonnes réponses est insuffisant. Il est conseillé de consulter l'aide puis de faire à nouveau le test"*,
- de poursuivre la séquence *"Vous avez eu au moins cinq bonnes réponses sur six : c'est très bien. Vous pouvez soit refaire cette activité soit continuer le TP".*

II.2.4.2.4. Divers

A partir des deux messages de Fripini (image et onglet Aide), nous indiquons l'objectif de la tâche et nous donnons les conseils pour utiliser la simulation.

II.2.4.3. Réalisation de la tâche et activités des élèves

II.2.4.3.1. Réponses des élèves

Pour effectuer cette activité les élèves sont censés mettre en œuvre le niveau de la théorie-modèle associé aux grandeurs fréquence et amplitude, le niveau des "objets événements simulés pour décrire le mouvement de chacune des simulations, enfin d'articuler ces deux niveaux pour mettre en relation le mouvement observé avec la grandeur en jeu et cocher l'une des réponses proposées. La Figure 36 ci-dessous présente l'activité sémiotique possible des élèves.

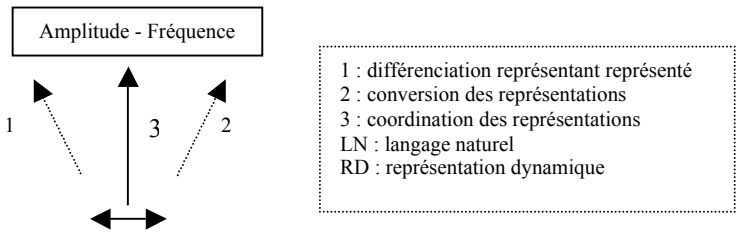


Figure 36 : Activité sémiotique possible durant la tâche 5

Il sera intéressant d'observer si dans les stratégies des élèves nous retrouvons la stratégie de mesure pour vérifier ou valider leur réponse. Elle montrerait la validité de telles activités dans la construction du sens physique de ces grandeurs. L'une des difficultés des élèves serait de ne pas différencier les deux grandeurs ou de les mélanger.

II.2.4.3.2. Activités des élèves

Les actions des élèves se réduisent à lire l'énoncé, les propositions, à cocher une case, à observer les animations. La figure suivante présente schématiquement les niveaux de savoir de l'énoncé, les niveaux à utiliser pour résoudre la tâche et enfin les relations attendues.

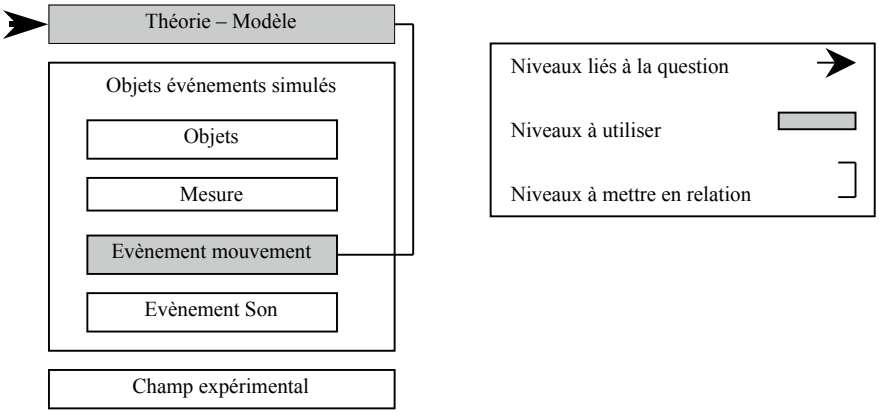


Figure 37 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation

II.2.4.4. Connaissances à mobiliser

Les connaissances à mettre en œuvre durant cette tâche sont relatives à la définition de la fréquence et de l'amplitude.

II.3. Etude de la relation entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la vibration

II.3.1. Tâche 6 : Expérience

II.3.1.1. Enoncé

"En modifiant les valeurs de la fréquence de l'amplitude à votre guise, faites varier le mouvement de la membrane du haut-parleur.
Que voyez-vous et qu'entendez-vous :
Entre 0 et 3 Hz et pour diverses amplitudes.
Entre 5 Hz et 20 Hz et pour diverses amplitudes.
Au-delà de 30 Hz et pour diverses amplitudes."

L'objectif de cette tâche est d'amener les élèves à construire, au travers d'une expérience "simulée", une première relation entre les caractéristiques de la vibration (la fréquence et l'amplitude) et la diversité des phénomènes sonores et mécaniques associés. Ainsi les élèves peuvent prendre conscience que la perception sonore (que les trois tâches précédentes ne mettaient pas en jeu) dépend en partie des caractéristiques de la vibration. De ce fait, cette tâche permet de relier le champ de la mécanique aux phénomènes sonores. Ainsi, nous supposons que les élèves vont, tout en explorant la simulation par le biais des boutons "réglage de la fréquence" et "réglage de l'amplitude", élaborer les relations attendues.

II.3.1.2. Eléments de la situation

II.3.1.2.1. L'organisation de la page-écran

Le Tableau 37 présente l'organisation de la page-écran selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques.

Demi-page-écran de gauche		Demi-page-écran de droite	
Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques	Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques
Théorie-modèle	Langage naturel	Théorie-modèle	Représentation symbolique
Objets événements simulés	Langage naturel	Relation théorie-modèle et objets événements simulés	Langage naturel
		Objets événements simulés	Représentation dynamique

Tableau 37 : Organisation de la page-écran "Expérience"

II.3.1.2.2. Les ressources

- Les ressources internes

Dans cette tâche, les ressources internes sont réduites au mini-dictionnaire et à deux escamots sur les termes fréquence et amplitude.

II.3.1.2.3. Le système d'évaluation

Nous supposons que cette tâche est une phase exploratoire pour amorcer la modélisation de la perception sonore selon les caractéristiques de la vibration. De ce fait, nous avons pris le parti de ne pas évaluer la réponse de l'élève à partir de QCM, de case à cocher, etc. Nous fournissons la réponse attendue à chacune des phases opératoires demandées dans l'encadré placé au-dessous de la simulation. Nous considérons que les réponses de cet encadré revêt le statut institutionnel puisqu'elles rendent officielles la connaissance en jeu au cours des différentes phases opératoires.

II.3.1.2.4. Divers

Fripini indique la façon d'utiliser la simulation "*Avec la souris, positionnez-vous sur l'un des boutons de réglage : une main apparaît. Faites un clic de la gauche de la souris la main change et vous pouvez alors tourner le bouton.*"

II.3.1.3. Réalisation de la tâche et activités des élèves

II.3.1.3.1. Les réponses possibles

Lors de la réalisation des différentes consignes opératoires (modification de la fréquence et de l'amplitude), nous nous attendons à ce que les élèves décrivent le phénomène perçu (mécanique ou sonore) en lien avec la caractéristique de la vibration. En fait, les réponses attendues sont supposées se rapprocher des réponses proposées dans l'encadré.

Cependant, suite à une première analyse de réponses fournies par des élèves de Seconde du Lycée Marcel Sembat (du 9 décembre 1996) en séance de TP "classique", nous obtenons trois grands groupes de réponses :

1. Les élèvent se placent uniquement au niveau de l'événement son du champ expérimental en utilisant un lexique propre (ils semblent faire une analogie avec des bruits de la vie quotidienne) : à basse fréquence " *un bourdonnement*", à haute fréquence "*un sifflement*" ;

Les élèves décrivent le phénomène avec des termes du sous-niveau événement mouvement et du sous niveau-événement son (termes associés au bruit) du champ expérimental :

- *"Avant 20Hz on n'entend pas mais on voit le haut-parleur bouger, à haute fréquence son strident on ne voit plus le haut-parleur bouger."*
- *"A basse fréquence on n'entend rien le haut-parleur bouge à haute fréquence on entend un grand bruit, on le voit pas bouger."*
- *"On entend un bruit si on augmente la fréquence" ;*

Les élèves semblent interpréter ce qui se passe en construisant la relation entre la perception sonore (en termes aigu/grave) et les caractéristiques de la vibration *via* le phénomène mécanique :

> *"plus la fréquence est basse plus le son est grave et moins la membrane va vite plus la fréquence est haute plus le son est aigu et la membrane va tellement vite qu'on ne la voit plus bouger".*

Même si les élèves peuvent se sentir décontenancés à partir de cette tâche qui ne donnent pas lieu à une évaluation de leurs réponses, elle peut provoquer une amorce dans la construction des relations attendues qui seront reprises d'une manière plus conventionnelle sous forme de définitions dans la tâche suivante.

II.3.1.3.2. Activités des élèves

Les actions des élèves peuvent se résumer à lire les textes et actionner la simulation. La figure suivante présente schématiquement les niveaux de savoir de l'énoncé, les niveaux à utiliser pour résoudre la tâche et enfin les relations attendues.

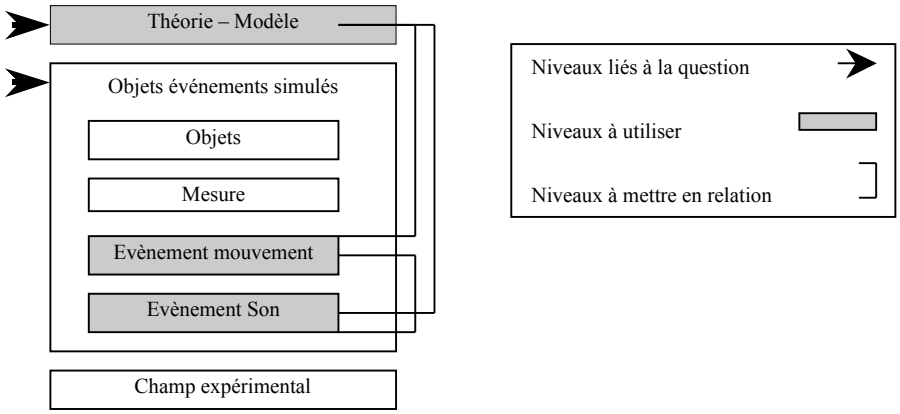


Figure 38 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation

II.3.1.4. Connaissances à mobiliser

Lors de la réalisation de cette tâche, nous attendons que les élèves mettent en œuvre les connaissances relatives aux sources de son, aux définitions de la fréquence et de l'amplitude et aux termes liés à la perception sonore.

II.3.2. Tâche 7 : Perception sonore

II.3.2.1. Enoncé

"Perception sonore aiguë/grave
Perception sonore liée à la fréquence de vibration de la source de son.
La perception sonore est d'autant plus aiguë que la fréquence de vibration est grande et inversement (elle est d'autant plus grave que la fréquence de vibration est petite).
Perception sonore fort/ faible
Perception sonore liée à l'amplitude de vibration de la source de son.
Le son est d'autant plus fort que l'amplitude est grande et inversement (il est d'autant plus faible que l'amplitude est petite)."

Suite à l'expérience de la tâche précédente, les principales relations attendues sont données sous l'aspect de définitions et illustrées à partir de deux simulations. Les deux définitions ont pour objectif d'une part d'expliciter les relations entre la perception sonore et les grandeurs fréquence et amplitude et d'autre part de donner le vocabulaire adapté pour décrire le son perçu en termes de son fort/faible et aigu/grave vues les réponses relevées durant la tâche précédente (II.3.1.3.1). Les deux simulations intitulées "perception sonore Aiguë / Grave" et "perception sonore Fort / Faible" sont censées favoriser l'identification des sons et donner du sens aux deux définitions.

De plus, la construction par demi-page-écran selon le système sémiotique a pour objectif que les élèves :

- réalisent un traitement sur chacune des représentations que l'on peut relever par une reformulation des définitions par exemple ;
- réalisent une conversion entre les systèmes sémiotiques qui dépend, elle-même, de la coordination des deux systèmes. En d'autres termes, les élèves sont censés prendre conscience que le fait de tourner, par exemple, le bouton lié à la perception sonore Aiguë/Grave induit une modification de la fréquence de vibration de la partie vibrante de la source sonore.

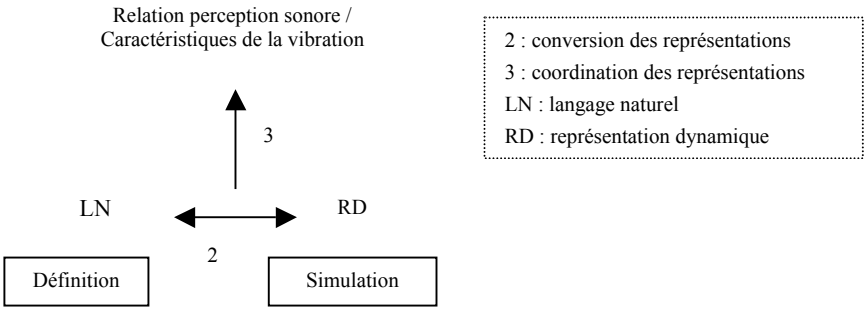


Figure 39 : L'activité sémiotique possible durant la tâche 7

II.3.2.2. Eléments de la situation

II.3.2.2.1. L'organisation de la page-écran

L'organisation de la page-écran peut se résumer de la manière suivante :

Demi-page-écran de gauche		Demi-page-écran de droite	
Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques	Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques
Relation théorie-modèle et champ expérimental	Langage naturel	Objets événements simulés	Représentation dynamique
Champ expérimental	Langage naturel		

Tableau 38 : Organisation de la page-écran "Définition : perception sonore"

II.3.2.2.2. Les ressources

- Les ressources internes

Les ressources internes sont de deux types : des escamots associés aux termes fréquence et amplitude qui sont censés, à ce stade de la séquence, ne plus poser de difficultés ; et le mini-dictionnaire comme dans les tâches précédentes.

II.3.2.3. Activités observables

Les actions des élèves dans cette tâche sont réduites à la lire les textes et à actionner la simulation pour écouter les sons.

II.3.3. Tâche 8 : Test (Lien entre la vibration et la perception sonore)

II.3.3.1. Enoncé

"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."

Pour réaliser cette tâche, nous proposons une simulation et un ensemble de propositions sélectionnables. A partir de la simulation, les élèves perçoivent les sons émis par les deux haut-parleurs (référence et à étudier) et le mouvement "flou" de leurs membranes, représentatif du phénomène de persistance rétinienne. Les élèves élaborent leurs réponses à partir des différentes propositions liées aux caractéristiques du son (Aiguë / Grave et Fort/Faible) et aux grandeurs caractéristiques de la vibration (amplitude et fréquence).
L'objectif de cette tâche est d'amener les élèves à réinvestir les définitions précédentes qui mettent en relation la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la vibration.

II.3.3.2. Eléments de la situation

II.3.3.2.1. L'organisation de la page-écran

L'organisation de la page-écran peut se résumer de la manière suivante :

Demi-page-écran de gauche		Demi-page-écran de droite	
Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques	Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques
Théorie-modèle	Langage naturel	Objets événements simulés	Représentation dynamique
Objets événements simulés	Langage naturel	Objets événements simulés	Langage naturel
		Théorie-modèle	Langage naturel

Tableau 39 : Organisation de la page-écran "Test : relation perception sonore et caractéristiques de la vibration"

II.3.3.2.2. Les ressources

- Les ressources internes

Comme dans le cas de la tâche 5, nous proposons que deux types de ressources internes : le mini-dictionnaire et l'onglet Aide. L'onglet Aide reprend l'ensemble des informations auxquelles les élèves ont pu avoir accès durant les différentes activités de la séquence que nous présentons selon leurs nature dans le tableau suivant.

Intitulé de l'information présente dans l'onglet Aide	Niveaux de savoir	Systèmes sémiotiques
Connaissance : Perception sonore Aigu / Grave		
Définition	Relation entre la théorie-modèle et le champ expérimental	Langage naturel
Perception sonore Aigu grave (on entend un son)	Champ expérimental	
Connaissance : Perception sonore Fort/ Faible		
Définition	Relation entre la théorie-modèle et le champ expérimental	Langage naturel
Perception sonore Aigu grave (on entend un son)	Champ expérimental	
La fréquence de vibration		
Définition	Relation entre la théorie-modèle et le champ expérimental	Langage naturel
Animation	Objets événements simulés	Représentation dynamique
Formule	Théorie-modèle	Représentation symbolique
Amplitude		
Définition	Relation entre la théorie-modèle et le champ expérimental	Langage naturel
Animation	Objets événements simulés	Représentation dynamique
Dessin	Relation entre la théorie-modèle et le champ expérimental	Représentation iconique

Tableau 40 : Analyse des informations de l'onglet Aide selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques

II.3.3.2.3. Le système d'évaluation

Il est proposé successivement six sons qui nécessitent à chaque fois une demande de validation de la part des élèves et dont le message retourné est un point coloré désignant l'état de la réponse : un point vert pour une réponse exacte, un point rouge pour une réponse inexacte. Au sixième essai, le système informatique renvoie suivant les cas un message qui demande :

- de recommencer le test *"Le nombre de bonnes réponses est insuffisant. Il est conseillé de consulter l'aide puis de faire à nouveau le test",*
- de poursuivre la séquence *"Vous avez eu au moins cinq bonnes réponses sur six : c'est très bien. Vous pouvez soit refaire cette activité soit continuer le TP".*

II.3.3.2.4. Divers

Fripini présente l'objectif des de la tâche en rappelant aux élèves que les savoirs demandés dans cette tâche ont été introduits lors des tâches précédentes : *"vous venez d'étudier les caractéristiques de la vibration puis les caractéristiques du son. Saurez-vous les retrouver dans ce test ?"*. De plus, il décrit succinctement la manière de résoudre la tâche et conseille de nouveau d'utiliser l'onglet Aide si nécessaire : "*Ecoutez bien les deux sons. Puis, déterminer si le son émis par le haut-parleur à étudier est plus grave, plus fort, plus...., que le haut-parleur de référence. Enfin, imaginez la vibration de la membrane. Cette fois, n'hésitez pas à vous servir de l'aide !!!*".

II.3.3.3. Réalisation de la tâche et activités des élèves

II.3.3.3.1. Réponses possibles

La résolution de la tâche nécessite que les élèves mettent en relation les niveaux des objets événements simulés liés à la perception sonore et celui de la théorie modèle associé aux caractéristiques de la vibration. En outre, nous considérons que l'élaboration de la réponse attendue nécessite une activité sémiotique : un traitement de la réponse en langage naturel associée à la description du son perçu afin de mettre en œuvre les différentes définitions données dans la page-écran précédente à propos de la

perception sonore. Ce traitement peut conduire alors à sélectionner les réponses attendues au niveau de la "théorie-modèle" dont le système sémiotique est le langage naturel.

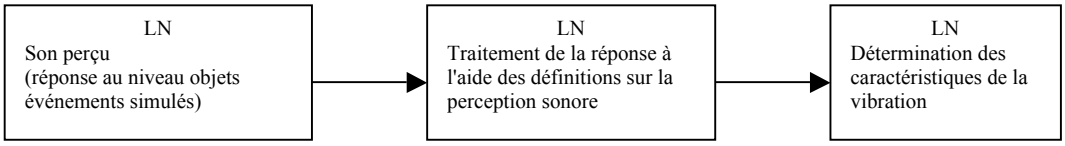


Figure 40 : Activité sémiotique possible durant la tâche 8 menant à la réponse attendue

Cependant, il est possible que certains élèves essayent de déterminer les caractéristiques de la vibration à partir du mouvement "flou" des membranes des deux haut-parleurs ce qui laisse supposer que les élèves se limitent à identifier les grandeurs fréquence et amplitude aux phénomènes physiques perceptibles et n'ont pas encore construit les relations introduites dans la tâche précédente. Dans ce cas, les élèves construisent des relations entre les niveaux de la théorie-modèle et des objets événements simulés (événement mouvement) dont la résultante est une réponse inexacte et que nous pouvons interpréter comme la coordination entre les deux systèmes sémiotiques : le langage naturel et la représentation dynamique. La réponse donnée en langage naturel au sujet de la perception sonore est alors isolée. La Figure 41 donne une idée schématique de cette activité sémiotique :

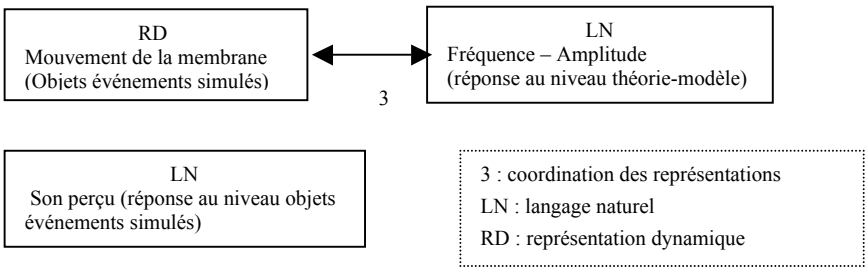


Figure 41 : Activité sémiotique possible durant la tâche 8 menant à une réponse inexacte

De plus, lors de l'élaboration des réponses, les élèves peuvent tenter de reconstruire la relation entre la perception sonore et les caractéristiques de la vibration par tâtonnement en énonçant par exemple dans un premier temps "si c'est plus fort alors l'amplitude est plus petite" ensuite "si c'est plus fort alors l'amplitude est plus grande". Il sera possible que nous rencontrions la difficulté de la terminologie des termes utilisés pour qualifier les sons perçus.

II.3.3.3.2. Activités des élèves

Les actions des élèves sont limitées à lire les textes, écouter des sons, cocher une case.

La question se décompose en deux parties : d'une part la perception sonore appartenant au niveau des objets événements simulés ; d'autre part les caractéristiques de la vibration appartenant au niveau de la théorie-modèle. L'élève a à sa charge de reconstruire le lien entre ces deux niveaux. La figure suivante présente schématiquement les niveaux de savoir de l'énoncé, les niveaux à utiliser pour résoudre la tâche et enfin les relations attendues.

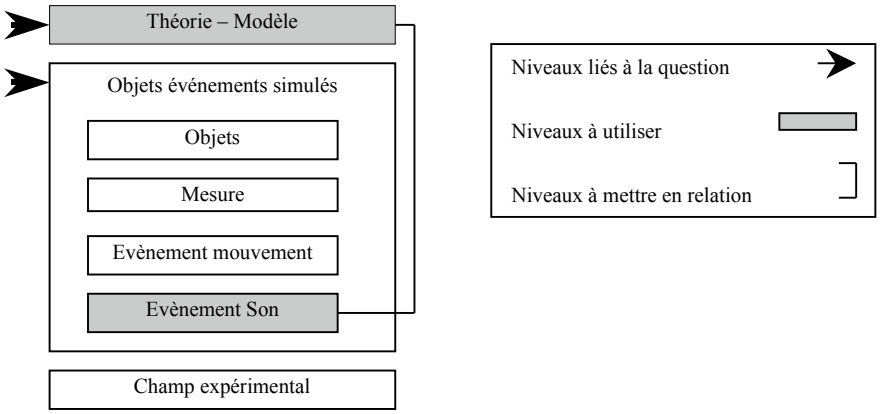


Figure 42 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation

II.3.3.4. Connaissances à mobiliser

Les connaissances à mettre en œuvre sont : la relation entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la vibration, la définition de la fréquence et de l'amplitude, les termes descriptifs de la perception sonore.

III. Analyse *a priori* du TP2

L'objectif de cette séquence consiste dans un premier temps à amener les élèves à prendre conscience que la présence d'un milieu de propagation est l'une des conditions nécessaires pour qu'un son existe puis, à réinvestir cette connaissance dans diverses situations expérimentales et issues de la vie quotidienne. Le Tableau 41 présente, la succession des tâches ainsi que les connaissances en jeu. Le reste est présenté dans l'annexe C.

	Séquences	**Objectifs**
Introduction du phénomène	Tâche 1 "Introduction"	Introduction de la séquence
	Tâche 2 "Rappel"	Introduire à partir d'une situation connue le modèle jeu durant la séquence : il semble que la propagation du son dépend de la nature du milieu de propagation
	Tâche 3 "Une partie du rail est enlevée"	
	Tache 4 "Etude du phénomène"	
Etude de la relation entre la perception sonore et la présence d'un milieu de propagation	Expérience 1 La cloche à vide	Dans le vide la vibration émise par la source sonore ne peut pas se propager.
	Tâche 5 "Prédire le résultat l'expérience"	
	Tâche 6 "Réalisation de l'expérience"	
	Tâche 7 "Exploitation de l'expérience"	
	Tâche 8 "En résumé"	
	Expérience 2 : Propagation du son dans le dihydrogène	Le dihydrogène est un milieu de propagation. Il est nécessaire à la propagation du son.
	Tâche 9 "Prédire le résultat l'expérience"	
	Tâche 10 "Réalisation de l'expérience"	
	Tâche 11 "Exploitation de l'expérience"	
	Tâche 12 "En résumé"	
	Tâche 13 "Conclusion"	La matière est un milieu de propagation
	Tâche 14 "Applications" Etude de l'influence du milieu de propagation sur la perception sonore à partir de six tâches	Différents supports matériels (l'eau, l'air, un fil de nylon, …) permettent la propagation du son.
Compétences exigibles ou en cours d'apprentissages (Bulletin Officiel, 1992)		Le son nécessite un milieu matériel pour se propager Le son ne se propage pas dans le vide

Tableau 41 : Séquence du TP2

IV. Analyse *a priori* du TP3

L'objectif de cette séquence est d'amener les élèves à construire un modèle interprétatif de la propagation du son au niveau microscopique (mouvement des particules composant l'air lors de l'émission d'un son) afin d'interpréter les phénomènes macroscopiques identifiables à partir d'objets matériels (tambourin, bougie) utilisés ou non dans la vie quotidienne. Le Tableau 42 présente, d'après les TP SOC, la succession des tâches ainsi que leurs objectifs. Le reste est présenté dans l'annexe C**.**

	Découpage du TP3	**Objectifs des tâches**
	Tâche 1 "Introduction"	Sensibiliser les élèves au fait qu'il se passe "quelque chose" dans l'air lorsqu'un son se propage
Expérience des deux tambourins et de la balle	Tâche 2 "Réalisation de l'expérience "	Prendre conscience que le son se propage de la source au récepteur via un milieu de propagation
	Tâche 3 "Exploitation de l'expérience"	
	Tâche 4 "Interprétation de l'expérience"	
	Tâche 5 "En résumé"	
Interprétation microscopique de la propagation du son	Tâche 6 "Question"	Se représenter le mouvement d'ensemble des particules à partir d'une animation lors de la propagation d'un son.
	Tâche 7 "Interprétation"	
	Tâche 8 "Une petite pause"	
Introduction des infrasons	Tâche 9 "Etude du son émis par un haut-parleur"	La perception sonore est principalement dépendante des caractéristiques physiologiques de l'oreille et non des caractéristiques de la vibration.
Expérience du haut-parleur et la bougie	Tâche 10 "Prévoir le résultat de l'expérience"	Prendre conscience que le mouvement du milieu représenté par le mouvement de la flamme d'une bougie de propagation est lié à celui de la source. Utiliser le modèle particulaire pour interpréter le mouvement du milieu de propagation quand un son est émis.
	Tâche 11 "Observation de l'expérience"	
	Tâche 12 "Interprétation de l'expérience"	
Interprétation de la propagation dans l'air : l'onde sonore	Tâche 13 "La propagation du son dans l'air"	Réinvestir le modèle particulaire afin d'invalider diverses propositions issues de conceptions d'élèves.
	Tâche 14 "L'onde sonore"	Introduire de le modèle de l'onde sonore
	Tâche 15 "Relation entre la fréquence de vibration et la fréquence de la tension électrique"	Introduire le phénomène de persistance des sensations visuelles. Etablir la relation d'égalité entre la fréquence de vibration de la membrane et la fréquence de la tension du GBF. *(partie non analysée)*
Compétences exigibles ou en cours d'apprentissages (B.O)	Décrire l'effet de persistance rétinienne, ses conséquences. Expliquer qu'un repère sur un disque tournant paraît immobile si, entre deux éclairs il effectue exactement un ou plusieurs tours et en déduire la relation entre les fréquences. Expliquer comment le haut-parleur émet des sons de fréquence égale à celle de la tension appliquée. Savoir que la fréquence est une caractéristique de la source.	

Tableau 42 : Les différentes tâches du TP3, connaissances en jeu et compétences exigibles lors du TP3

V. Analyse *a priori* du TP4

L'objet de ce quatrième TP est d'étudier deux des propriétés du son la hauteur et le volume (ou intensité) en relation avec les grandeurs caractéristiques de l'onde sonore la fréquence et l'amplitude. Cette relation va être approfondit par la construction de la relation entre les grandeurs caractéristiques de la vibration de la membrane d'un haut-parleur et celle de la tension électrique qui la génère. Enfin, l'étude via la tension électrique donnera l'occasion d'étudier les grandeurs caractéristiques de la vibration à partir de nouvelles représentations fournies par exemple par un oscilloscope. Le Tableau 43 présente, la succession des tâches ainsi que leurs objectifs. Le reste est présenté dans l'annexe C**.**

	Découpage de la Séquence	Objectif des tâches
	Tâche 1 "Introduction"	Introduction des deux facettes du son : le phénomène sonore et le phénomène physique
Deux expériences de sensibilisation aux grandeurs caractéristiques de la perception sonore	Tâche 2 "Expérience 1"	Etude de la relation entre l'amplitude de la tension électrique, l'amplitude de vibration et la perception sonore associée.
	Tâche 3 "Etude 1"	
	Tâche 4 "Etude 2"	
	Tâche 5 "Interprétation"	
	Tâche 6 "Expérience 2"	Etude des relations entre la fréquence de la tension électrique, la fréquence de vibration et la perception sonore associée.
	Tâche 7 "Etude 1"	
	Tâche 8 "Etude 2"	
	Tâche 9 "Interprétation"	
	Tâche 10 "En résumé"	
"Etude des grandeurs caractéristique du son à l'oscilloscope"	Tâche 11 "Définition d'un oscilloscope"	Etude des relations entre les grandeurs caractéristiques de la vibration via une nouvelle représentation fournie par l'oscilloscope.
	Tâche 12 "Etude des grandeurs caractéristiques du son"	
	Tâche 13 "Etude des grandeurs caractéristiques de la vibration"	
	Tâche 14 "En résumé"	
	Tâche 15 "Application création d'un oscillogramme"	
Reproduire le même son	Tâche 16 "Question"	Rappeler des caractéristiques du son Reproduire un son en modifiant uniquement les grandeurs caractéristiques de la perception sonore Reproduire un son en modifiant les grandeurs caractéristiques de la tension électrique observable à l'aide de l'oscilloscope.
	Tâche 17 "Expérience 1"	
	Tâche 18 "Expérience 2"	
"Influence de la position du récepteur par rapport à l'émetteur au niveau des grandeurs caractéristiques du son"	Tâche 19 "Introduction"	Etudier de l'évolution des caractéristiques du son au cours de sa propagation à partir de situation de la vie quotidienne et d'expériences.
	Tâche 20 "Expérience 1"	
	Tâche 21 "Expérience 2"	
	Tâche 22 "Expérience 3"	
	Tâche 23 "En résumé"	
Expérience : "Reproduction du son du diapason avec un haut-parleur"	Tâche 24 "Expérience" Tâche 25 "Conclusion"	Faire prendre conscience de la nécessité d'une même évolution des grandeurs caractéristiques du son au cours du temps pour reproduire un même son.
Compétences exigibles ou en cours d'apprentissages (Bulletin officiel, 1992)	Utilisation de l'oscilloscope pour mettre en évidence un son (à l'aide d'un microphone mesure de la fréquence d'un son, de la tension alternative aux bornes d'un haut-parleur). La fréquence est une caractéristique de la source. Association de la notion de hauteur d'un son à la fréquence de celui-ci.	

Tableau 43 : Le découpage du TP4, les objectifs de ces différentes tâches et les compétences exigibles

VI. Implication de cette analyse

VI.1. Une typologie des écrans selon les actions de l'utilisateur

Nous considérons qu'il y a une tâche pour l'élève dans notre hypermédia quand il doit réaliser des actions que ce soit à partir :

- d'une consigne explicite comme *"observer le mouvement de la balle à partir de la vidéo"*.
- d'une consigne implicite : les élèves réalisent eux-mêmes les actions attendues en fonction du contenu sans que cela soit indiqué. Par exemple lors de l'ouverture d'une page-écran qui propose des définitions associées à des animations, les élèves sont censés lire et observer, mais cela ne leur est pas prescrit dans la page-écran. Les actions des élèves sont dépendantes intégralement de sa motivation et des informations proposées à l'écran.

Ensemble des actions que l'utilisateurs peut mener à l'écran	Page avec consigne PI	Page avec consigne implicite IP	Informations via l'onglet Aide IR	Informations fournies par le feed-back IF
Taper du texte, Cocher une case, glisser et lâcher un mot	PI1	Impossible	Impossible	Impossible
Interaction avec une simulation	PI2	IP2	Pas présent dans l'hypermédia	Pas présent dans l'hypermédia
Réduit à regarder, lire	PI3	IP3	IR3	IF3

Figure 43 : Les actions à mener les tâches en fonction de la consigne et des informations fournies

Descriptif des types d'écran

PI1 : page avec consigne où la tâche amène à glisser et lâcher un mot, taper du texte, etc.
PI2 : page avec consigne ou la tâche amène à actionner une simulation
PI3 : page avec consigne ou la tâche amène à lire ou observer

IP2 : page avec consigne implicite où la tâche amène à lire et à actionner un simulation
IP3 : page avec consigne implicite où la tâche amène à lire et à observer
IR3 : informations fournies suite à une sélection dans l'onglet Aide
IF3 : feed-back contenant des informations pouvant aider à la réalisation de la tâche

VI.2. Construction d'un système de traçage

L'analyse *a priori* donne l'occasion de construire le système de traçage automatique au cours du temps des actions des utilisateurs au niveau de l'interface. Nous avons choisi d'enregistrer :

- l'entrée dans un lieu et le temps resté dans lieu,
- la navigation dans le lieu,
- l'appel du mini-dictionnaire
- la sélection des onglets,
- la sélection des informations présentées dans l'onglet Aide,
- l'utilisation des simulations à partir des boutons de réglage,
- les réponses validées à partir du bouton "validation" : tapées à partir du clavier, sélectionnées à la souris,
- les réponses sélectionnées sans validation,
- l'état de la réponse : "bonne réponse" et "mauvaise réponse",
- la sélection du bouton "réponse" (du professeur),

Chapitre 8
Analyse globale

Il s'agit dans ce chapitre de spécifier certaines caractéristiques de l'activité des vingt dyades durant les cinq TP. Cette analyse repose sur le traitement des données recueillies à partir de la trace[40] informatique. Comme nous l'avons dit dans la partie méthodologie d'analyse (Chapitre 6), nous avons quatre types de données que nous mettons, ici, en relation avec la *variable* type d'écran. Ces quatre données d'analyses sont la durée de réalisation d'une tâche, les ressources sélectionnées (ressources internes et ressources externes[41]), le nombre d'appels à une ressource et le nombre de réponses inexactes. Le type d'écran est lié aux actions possibles des utilisateurs (lire et/ou regarder, actionner un simulateur, taper du texte, cocher une case, etc.) en fonction du contenu proposé à l'écran[42].

Cette analyse, qui se découpe en deux parties, fournit les premiers éléments de réponses aux questions suivantes qui se regroupent selon :
La structure implémentée dans le logiciel :
Existe-t-il une relation possible entre l'appel de ressources et le nombre de réponses inexactes ?
En quoi les informations sélectionnées dans l'onglet Aide sont-elles liées à la tâche à réaliser ?
Existe-t-il une relation entre la place de l'introduction du modèle dans la séquence et l'activité des élèves ?
Les indices de difficultés de réalisation de la tâche :
Est-ce que cette analyse peut permettre d'identifier des tâches qui semblent poser des difficultés aux élèves ? L'analyse sera soutenue par trois données : la durée de réalisation de la tâche, le nombre d'appels à l'onglet Aide, et le nombre de réponses inexactes.
Une question *a posteriori*
Y a t-il une relation entre l'activité de l'utilisateur et la variable type d'écran ?

Nous rappelons que les savoirs transversaux aux quatre TP sont le modèle de la chaîne sonore (TP0), les grandeurs fréquence et amplitude (TP1), les relations entre le phénomène sonore et la fréquence et

---

[40] Nous rappelons que la trace est une transcription automatique d'un ensemble d'actions de l'utilisateur au niveau de l'interface.
[41] Voir la présentation du logiciel Partie B Chapitre 5
[42] La synthèse de l'analyse *a priori* présente un tableau catégorisant les différentes tâches en fonction de cette variable.

l'amplitude (TP1) et, la propagation du son (onde sonore) (TP3). Le TP4 demandant aux élèves de réinvestir principalement les savoirs du TP1.

I. Observations globales de l'activité des 20 dyades

Cette première section repose sur l'analyse des données que nous explicitons en fonction de nos questions de recherche. Ces données relèvent uniquement des tâches qui donnent lieu à une demande de validation[43] (34 sur 71 tâches) et qui proposent un onglet Aide (23 sur les 34 tâches). Nous regardons principalement l'appel à l'onglet Aide car c'est l'une des seules ressources que les élèves sélectionnent lorsque cette dernière est présente dans la page-écran (voir annexe E).

1. Le nombre moyen de réponses inexactes d'une dyade selon la tâche. Ce tableau relève les tâches qui semblent poser des difficultés aux élèves (question 4).
2. Le nombre moyen d'appels à l'onglet Aide selon la tâche. Il permet, d'une part de déterminer les tâches qui ont amené les élèves à se référer aux informations proposées dans l'onglet Aide, et d'autre part à spécifier s'il existe une possible relation entre l'appel de l'onglet Aide et la proposition d'une réponse inexacte (question 2).
3. Les informations majoritairement sélectionnées dans l'onglet Aide selon la tâche. Ce tableau permet d'avoir une idée d'abord de la manière dont les élèves sélectionnent les informations, puis des informations qui leurs semblent "pertinentes" pour réaliser la tâche (question 3) enfin, des informations qu'ils ne sélectionnent pas selon la tâche.

I.1. Analyse selon les nombres moyens de réponses inexactes et d'appels à l'onglet Aide

L'objet de cette analyse est d'abord de distinguer les tâches qui semblent poser des difficultés aux élèves, puis de rechercher les relations possibles entre la production d'une réponse inexacte et l'appel de l'onglet Aide.

I.1.1. Détermination des tâches posant le plus de difficultés aux élèves

Pour estimer, parmi les tâches donnant lieu à une demande de validation, celles qui semblent poser des problèmes aux élèves, nous avons élaboré deux tableaux. Le Tableau 44 présente les vingt premières tâches (sur les 33) pour lesquelles le nombre moyen de réponses inexactes par dyade est compris entre 7,68 et 0,57 (voir annexe E). Ce nombre est calculé en faisant pour une tâche donnée le rapport de la somme de réponses inexactes réalisées par les dyades au nombre total de dyades réalisant la tâche.

Le Tableau 45 présente les tâches classées selon le nombre moyen d'appels à l'onglet Aide par dyade dans un ordre décroissant. Ce nombre est calculé en faisant, pour une tâche donnée, le rapport de la somme du nombre d'appels à l'onglet Aide effectués par les dyades au nombre total de dyades réalisant la tâche.

[43] Il est retourné un feed-back qui indique à l'utilisateur si la réponse est exacte ou inexacte.

N°TP	N° Tâche	Intitulé de la Tâche	Tâche avec onglet Aide	Nombre de dyades donnant une réponse inexacte	Nombre moyen de réponses inexactes par dyade
TP1	T8	Test lien vibration perception		18	7,68
TP3	T13	Questions (propagation du son dans l'air)		18	4,84
TP1	T3	Mesure de la fréquence		15	4,47
TP2	T14b2	Prévoir (pots de yaourt)		9	3,26
TP4	T20	Prévoir (expérience 1)		13	3,1
TP4	T16	Reproduire le même son (question)		11	2,15
TP4	T15	Création de l'oscillogramme		13	2,05
TP3	T6	Interprétation microscopique (question)		10	1,26
TP4	T12	Expérience (grandeurs caractéristiques du son)		9	1,21
TP4	T22	Prévoir (expérience 3)		14	1,1
TP2	T7	Chaîne sonore (réalisation du vide)		10	1
TP4	T8	Première expérience (étude 2)		6	0,95
TP1	T4	Mesure de l'amplitude		8	0,84
TP4	T13	Expérience (grandeurs caractéristiques de la vibration)		10	0,84
TP0	T2	La chanteuse (chaîne sonore)		13	0,79
TP3	T3	Expérience des deux tambourins (chaîne sonore)		13	0,74
TP3	T11	Expérience de la bougie (observation)		6	0,68
TP4	T7	Première expérience (étude 1)		10	0,68
TP4	T17	Reproduire le même son (expérience 1)		10	0,63
TP1	T5	Test 1		7	0,57
Moyenne					**1,22**
Ecart type					**1,64**

Tableau 44 : Classement des tâches par ordre décroissant du nombre moyen de réponses inexactes par dyade

N°TP	N° Tâche	Intitulé de la tâche	Nombre de dyades appelant l'aide	Nombre moyen d'appels par dyade
TP1	T3	Mesure de la fréquence	14	1,63
TP1	T8	Test lien vibration perception	11	1,47
TP1	T4	Mesure de l'amplitude	7	0,47
TP3	T13	Questions (propagation du son dans l'air)	8	0,47
TP4	T20	Prévoir (expérience 1)	3	0,32
TP3	T6	Interprétation microscopique	4	0,21
TP4	T12	Expérience (grandeurs caractéristiques du son)	4	0,21
TP4	T22	Prévoir (expérience 3)	4	0,21
TP1	T5	Test (1)	3	0,21
TP2	T14c	Prévoir (collision intersidérale)	3	0,16
TP2	T5	Prévoir (réalisation du vide)	2	0,11
TP2	T9	Prévoir (hydrogène)	2	0,11
TP4	T1	Introduction du TP4	2	0,11
TP4	T16	Reproduire le même son	2	0,11
TP2	T14b2	Prévoir (pots de yaourt)	1	0,05
TP2	T14d	Prévoir (collision sous l'eau)	1	0,05
TP4	T15	Création de l'oscillogramme	1	0,05
Moyenne				**0,25**
Ecart type				**0,42**

Tableau 45 : Classement des tâches par ordre décroissant du nombre moyen d'appels à l'onglet Aide par dyade

A partir du Tableau 44, et en tenant compte de la valeur moyenne et de l'écart-type, nous constatons que les cinq premières tâches (T8 TP1, T13 TP3, T3 TP1, T14b2 TP2, T20 TP4)) ont des valeurs dont l'écart à la moyenne (1,22) est supérieure d'un écart-type (par exemple pour la tâche T8 du TP1 chaque dyade produit au moins 7 réponses inexactes). Ces tâches sont supposées être celles qui posent des problèmes aux élèves. Inversement, les autres tâches sont donc plus faciles.

Regardons maintenant le Tableau 45. En tenant compte de la valeur moyenne et de l'écart-type, nous remarquons d'abord, que deux tâches (T3 TP1, T8 TP1) sont associées à des valeurs dont l'écart à la moyenne (0,25) est d'au moins un écart-type. De plus, nous avons considéré précédemment que ces deux tâches posaient des difficultés aux élèves. Cela semble montrer que, lors de la réalisation de ces tâches (difficiles), les élèves se référent régulièrement à l'onglet Aide. Nous retrouvons ce résultat d'une manière moins notable avec les tâche T4 du TP1 et T13 du TP3.

Comment expliquer que nous ne retrouvons pas le même comportement pour les deux autres tâches que nous avons supposées difficiles : T14b2 TP2, T20 TP4 (Tableau 44) ? En effet, peu d'élèves appellent l'onglet Aide. Les trois tâches précédentes (T3 TP1, T8 TP1, T13 TP3) ont une même caractéristique : elles demandent aux élèves de réinvestir pour la première fois un modèle qui leur a été présenté auparavant dans le cadre de situations mettant en œuvre une expérience de laboratoire.
A l'inverse, les deux tâches T14b2 TP2 et T20 TP4 ne relèvent pas d'un modèle déjà introduit et présentent des situations se référant à la vie quotidienne. Nous pouvons alors supposer que les élèves préfèrent s'appuyer sur leurs propres connaissances pour résoudre la tâche.

I.1.2. Relation entre le nombre de réponses inexactes et l'appel à l'onglet Aide

D'après l'analyse précédente, nous faisons l'hypothèse que l'appel de l'onglet Aide n'est pas associé à la production d'une réponse inexacte mais semble exprimer une nécessité de recueillir des informations pour parvenir à réaliser la tâche. Trois points doivent permettre de soutenir cette position. Tout d'abord, les élèves peuvent faire appel à l'onglet Aide sans avoir produit de réponses inexactes (tâches T5 et T9 du TP2). Ensuite, pour certaines tâches (par exemple tâches T14b2 et T7 du TP2, T20 TP4), le nombre moyen de réponses inexactes par dyade est élevé alors que le nombre moyen d'appels à l'onglet Aide est faible ou nul. Enfin, lors de la tâche T4 du TP1, le nombre d'appels à l'onglet Aide se situe au rang trois (sur 17) du Tableau 45 alors que le nombre moyen de réponses inexactes par dyade est bien inférieur à 1 (rang 13 sur 34) (Tableau 44). En d'autres termes, le nombre d'appels à l'onglet Aide peut être "élevé" alors que le nombre moyen de réponses inexactes ne l'est pas.
Cette analyse nous amène à supposer que les raisons de la sélection d'une ressource peuvent varier selon la tâche et ne se limitent pas à la production d'une réponse inexacte : la sélection peut correspondre à une difficulté liée à la lecture de la consigne, à une conscience d'une méconnaissance des savoirs à mobiliser, à la vérification des connaissances, etc. Cela est illustré dans le Tableau 46 en spécifiant le moment d'appel de l'aide selon la tâche à réaliser.

N°TP	N° Tâche	Intitulé de la tâche	Avant la première demande de validation	Suite à une demande de validation	Après la réalisation de la tâche
TP1	T3	Mesure de la fréquence	8, 11, 14, 18	1, 3, 5, 7, 12, 14, 16, 17, 18, 19, 20	9
TP1	T8	Test Lien vibration perception		1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 17, 18	
TP1	T4	Mesure de l'amplitude	9, 11, 12, 16, 17, 19, 20	19	
TP3	T13	Questions (propagation du son dans l'air)		1, 4, 7, 8, 12, 14, 15, 16	
TP4	T20	Expérience 1 (Prévoir)		3, 5, 8	
TP3	T6	Interprétation microscopique		2, 3, 8, 17	
TP4	T12	Expérience (grandeurs caractéristiques du son)		1, 6, 12, 15	
TP4	T22	Expérience 3	11	1, 8, 20	
TP1	T5	Test (1)	9, 12, 15	15	
TP2	T14	Choc intersidéral		8, 14, 17	
TP2	T5	Prévoir (réalisation du vide)	9, 11		
TP2	T9	Prévoir (hydrogène)	8, 16		
TP4	T1	Introduction du TP4		11	13
TP4	T16	Reproduire le même son		7	
TP2	T14	Pots de yaourt (prévoir)		7	
TP2	T14	Dans l'eau		15	
TP4	T15	Création de l'oscillogramme		11	

Tableau 46 : Moment de l'appel de l'onglet Aide selon la tâche (T) et le numéro de la dyade

I.1.3. En résumé

Au cours de cette analyse, nous avons remarqué que les principales tâches qui posent des difficultés aux élèves sont celles qui demandent de réinvestir pour la première fois le modèle présenté auparavant (Tableau 44). Ensuite, nous avons supposé que la sélection d'une ressource semble être due à la prise de conscience d'un besoin d'information qui peut être lié entre autres, à l'échec de la résolution du problème, à une difficulté de compréhension du savoir et /ou de la consigne, à la nature des tâches c'est-à-dire celles qui se réfèrent à des situations de la vie quotidienne (T14b2 TP2, T20 TP4) et à des expériences de laboratoire (T3 TP1, T8, TP1, T13 TP3, …)

I.2. Analyse des informations sélectionnées dans l'onglet Aide

Nous souhaitons spécifier les relations possibles entre les caractéristiques de la tâche à réaliser et les informations sélectionnées dans l'onglet Aide. Cela permettra de montrer que l'appel d'une ressource s'intègre dans un cheminement des élèves et ne peut être en aucun cas interprété comme relevant uniquement de la production d'une réponse erronée.

I.2.1. Analyse

Les tableaux suivants (Tableau 47 et Tableau 48) permettent de comparer les deux classements des tâches, l'un en fonction du nombre de fois que les informations sont sélectionnées dans l'onglet Aide, l'autre en fonction du nombre moyen d'appels à l'onglet Aide.

N° TP	N° T	Intitulé activité	Nbre de fois que les informations sont sélectionnées
TP1	T8	Test lien vibration perception	85
TP1	T3	Mesure de la fréquence	66
TP3	T13	Questions (propagation du son dans l'air)	25
TP1	T4	Mesure de l'amplitude	20
TP3	T6	Interprétation microscopique	14
TP4	T12	Expérience (grandeurs caractéristiques du son)	13
TP4	T20	Prévoir (expérience 1)	12
TP4	T22	Prévoir (expérience 3)	9
TP1	T5	Test (1)	5
TP4	T1	Introduction du PT4	5
TP2	T14C	Prévoir (collision intersidérale)	3
TP2	T14b2	Prévoir (pots de yaourt)	3
TP2	T5	Prévoir (réalisation du vide)	3
TP2	T9	Prévoir (hydrogène)	2
TP4	T15	Création de l'oscillogramme	2
TP2	T14d	Dans l'eau	1
TP4	T16	Reproduire le même son	1

Tableau 47 : Classement par ordre des tâches (T) décroissant selon le nombre d'informations sélectionnées

N°TP	N° T	Intitulé de la tâche	Nombre moyen d'appels par dyade
TP1	T3	Mesure de la fréquence	1,63
TP1	T8	Test Lien vibration perception	1,47
TP3	T13	Questions (propagation du son dans l'air)	0,47
TP1	T4	Mesure de l'amplitude	0,47
TP1	T20	Prévoir (expérience 1)	0,32
TP4	T6	Interprétation microscopique	0,21
TP4	T12	Expérience (grandeurs caractéristiques du son)	0,21
TP3	T22	Prévoir (expérience 3)	0,21
TP4	T5	Test (1)	0,21
TP2	T14c	Prévoir collision intersidérale	0,16
TP2	T5	Prévoir (réalisation du vide)	0,11
TP2	T9	Prévoir (hydrogène)	0,11
TP4	T1	Introduction du TP4	0,11
TP4	T16	Reproduire le même son	0,11
TP2	T14b2	Prévoir (Pots de yaourt)	0,05
TP2	T14d	Prévoir (collision sous l'eau)	0,05
TP4	T15	Création de l'oscillogramme	0,05

Tableau 48 : Classement des tâches (T) par ordre décroissant selon le nombre moyen d'appels à l'Aide

Un des premiers constats est que les tâches se retrouvent dans des ordres différents entre les deux tableaux. Cela montre que selon la tâche et la séquence de TP, les élèves vont sélectionner un nombre différent d'informations pour un nombre d'appels à l'onglet Aide qui peut être supérieur ou inférieur (voir par exemple les deux tâches T3 et T8 du TP1). Ensuite, les deux tâches (T3 TP1 et T8 TP1) pour lesquelles le nombre moyen d'appels à l'onglet Aide est supérieur d'un écart-type à la moyenne

(Tableau 44) correspondent aussi aux tâches pour lesquelles le nombre de fois que les informations sont sélectionnées est le plus élevé. En d'autres termes, pour réaliser ces deux tâches les élèves ont eu besoin de se référer à différentes informations à plusieurs reprises. Enfin, les tâches pour lesquelles le nombre de sélection est faible (entre 1 et 3), appartiennent soit au TP4 (dont l'objectif des tâches est de réinvestir le savoir du TP1) soit au TP2 (qui se rapporte à des expériences de la vie quotidienne).

Nous pouvons alors supposer que, lors de la réalisation des différentes tâches les élèves ont eu besoin de sélectionner plus d'une information et/ou les différentes représentations relatives à une même information quand cela est proposé (voir exemple Tableau 49). Cela laisserait supposer que la construction du savoir en jeu dans une tâche donnée passe par la consultation, parfois répétée, de certaines informations proposées dans l'onglet (ou que l'information proposée n'est pas adaptée).

Le Tableau 49 présente, pour douze tâches, les informations les plus sélectionnées (voir annexe E). Pour ces tâches regardons les informations qui sont les plus sélectionnées en tenant compte des systèmes sémiotiques de la tâche, de la réponse et des informations sélectionnées.

N° TP	N° Tâche	Intitulé activité	SS de la tâche	SS de la réponse	Informations	SS	Total
TP1	T8	Test Lien vibration perception	LN RD	LN	Aigu (Perception sonore aiguë/grave)		10
					Grave (Perception sonore aiguë/grave)		9
					Définition (Fréquence)	LN	8
					Définition (Perception sonore Aiguë/grave)	LN	18
					Définition (Perception sonore faible/fort)	LN	15
TP1	T3	Mesure de la fréquence	LN RD RS	RS	Formule (Fréquence de vibration)	RS	25
					Définition (Fréquence de vibration)	LN	21
TP3	T13	Questions (propagation du son dans l'air)	LN RD	LN	Animation (propagation)	RD	5
					Explication (Interprétation microscopique)	LN	6
					Animation (Interprétation microscopique)	RD	6
TP1	T4	Mesure de l'amplitude	LN RD RS	RS	Dessin (Amplitude)	DL	7
					Définition (Amplitude)	LN	9
TP3	T6	Interprétation microscopique	LN RD	LN	Définition (Propagation)	LN	4
					Animation (Propagation)	RD	4
TP4	T12	Expérience (grandeurs caractéristiques du son)	LN RD RG	LN	Définition (Oscilloscope)	LN	4
					Définition (Perception sonore Aiguë/Grave)	LN	3
TP4	T20	Expérience 1(Prévoir)	LN I	LN	Définition (Hauteur)	LN	4
					Définition (Onde sonore)	LN	5
					Définition (Volume sonore)	LN	3
TP4	T22	Expérience 3	LN I RG	RG	Animation (Microphone)	RD	4
TP1	T5	Test (1)	LN RD	LN	Définition (Fréquence de vibration)	LN	3
TP2	T14d	Collision intersidérale	LN I	LN	Définition (Espace intersidéral)	LN	2
					Définition (Milieu)	LN	1
TP2	T5	Prévoir (réalisation du vide)	LN I	LN	Définition (Milieu)	LN	2
TP2	T9	Prévoir (hydrogène)	LN I	LN	Définition (Milieu)	LN	2

Tableau 49 : Informations majoritairement sélectionnées par les vingt dyades

Légende

SS : système sémiotique	
LN : langage naturel	I : image
RS : représentation symbolique	RG : représentation graphique
RD : représentation dynamique	DL : dessin légendé

Les informations sélectionnées sont celles, qui *a priori,* seraient censées favoriser la construction de la réponse attendue : les informations les plus sélectionnées sont celles qui correspondent aux savoirs en jeu dans la tâche. Il semble alors difficile de pouvoir déterminer de manière pertinente une relation entre les systèmes sémiotiques de la tâche à résoudre et les informations sélectionnées. De plus, nous pouvons noter des sélections qui, d'après l'analyse *a priori* (Chapitre 7), peuvent ne pas aider à la résolution comme, dans le cas des tâches "Mesure de la fréquence" (T3 TP1), l'appel de la formule de

la fréquence, "Test lien entre la vibration et la perception" (T8 TP1), l'appel de la définition de la fréquence ou la sélection des sons aigus ou graves, etc.

La sélection des informations peut être interprétée de la manière suivante :

- Une sélection par traits de surface selon les termes présents dans la consigne qui nous interprétons comme une sélection "automatique" des informations sans avoir conscience de celle qu'il leur manque pour réaliser la tâche ;
- Une sélection pouvant donner lieu à une nouvelle stratégie pour résoudre le problème (comme dans le cas de l'appel de la formule de la fréquence) ;

A contrario, l'absence de sélection peut être un indice des connaissances des élèves au moment de la réalisation de la tâche. Une information, peu ou pas sélectionnée, peut être supposée déjà construit par les élèves (ou inversement "inaccessible").

Par exemple, dans le cas de la tâche 8 "Test lien vibration perception", les connaissances que les élèves sont censées mettre en œuvre sont celles relatives aux définitions de la perception sonore Aiguë/Grave et Fort/Faible (Tableau 50). L'objectif de cette tâche est d'amener les élèves à réaliser le lien entre la vibration et la perception sonore.

N° TP	Intitulé activité	SS de la tâche	Informations	SS de l'information	Total	
TP1	Test Lien vibration perception	LN RD	Fort (Perception sonore faible/fort)		7	31
			Aigu (Perception sonore aiguë/grave)		10	
			Faible (Perception sonore faible/fort)		5	
			Grave (Perception sonore aiguë/grave)		9	
			Définition (Fréquence)	LN	8	21
			Animation (Fréquence)	RD	5	
			Formule (Fréquence)	RS	2	
			Définition (Amplitude)	LN	1	
			Dessin (Amplitude)	DL	2	
			Animation (Amplitude)	RD	3	
			Définition (Perception sonore Aiguë/grave)	LN	18	33
			Définition (Perception sonore faible/fort)	LN	15	

Tableau 50 : Informations sélectionnées lors de la tâche 8 "Test lien vibration perception" du TP1

Les élèves sélectionnent principalement trois groupes d'informations relatives : à la perception sonore (31 fois), aux définitions associées à la perception sonore (33 fois) et aux grandeurs caractéristiques de la vibration (21 fois). Les deux premiers groupes d'informations correspondent à ceux dont les élèves n'ont pas encore eu l'occasion de mobiliser lors des précédentes tâches et qu'ils doivent mettre en œuvre dans leur réponse. Le dernier correspond à des informations connues des élèves (tâches précédentes) : ces sélections montrent que les élèves souhaitent mettre en œuvre ou mettent en œuvre les mêmes procédures de résolution que lors des tâches précédentes ce qui est impossible dans le cadre de cette tâche.

Enfin, le Tableau 49 permet de comparer les difficultés des élèves au cours des différents TP. Par exemple, entre la tâche T8 du TP1 "test lien vibration et perception" et la tâche T12 du TP4 "Expérience", le nombre de sélection d'informations (Tableau 49) et le nombre de dyades réalisant au moins une réponse inexacte (Tableau 44) diminuent.

I.2.2. En résumé

Les tâches qui semblent poser le plus de difficultés aux élèves (T3 et T8 du TP1 et T13 du TP3) donnent lieu aux nombres de sélections d'informations les plus élevés. Cela laisse supposer que les

élèves ont besoin d'informations (d'où la pertinence de créer des ressources) et ces dernières doivent être variées en vue de permettre aux élèves de donner sens au savoir en jeu (exemple Tâche 8 du TP1). La sélection des informations a été envisagée de deux façons : sélection par traits de surface en fonction des termes contenus dans la consigne, ou sélection permettant de donner lieu à une nouvelle stratégie. L'analyse des informations sélectionnées montre dans un premier temps que ces dernières correspondent principalement au savoir en jeu durant la tâche à réaliser. En revanche, on peut supposer que les informations peu sélectionnées correspondraient à des connaissances que les élèves auraient élaborées lors de tâches antérieures.

I.3. En conclusion

Au cours de cette première partie, nous avons remarqué que les tâches dont le nombre moyen de réponses inexactes est particulièrement élevé se retrouvent aussi parmi les tâches dont le nombre moyen d'appels à l'onglet Aide est particulièrement élevé (mais pas inversement). Nos résultats montrent qu'il n'y a pas de réelle relation entre le nombre d'erreurs et l'appel d'une ressource ce qui conduit à supposer que certains appels sont liés à la prise de conscience d'un besoin d'information nécessaire à la réalisation de la tâche. En particulier les appels qui ne sont pas obligatoirement associés à la proposition d'une réponse inexacte (Tableau 46).

Ensuite, la sélection des informations dans l'onglet Aide est rarement unique ce qui semble montrer que les élèves ont besoin de différentes représentations d'un même savoir ou de diverses informations pour parvenir à réaliser la tâche. De plus, les sélections multiples relatives à une même information pourraient être identifiées comme une difficulté des élèves à lui donner du sens et/ou à la mettre en relation avec la tâche à réaliser.

Enfin, les informations majoritairement sélectionnées donnent un aperçu des difficultés d'apprentissage des élèves au cours des séquences.

II. Analyse globale de chacune des séquences de TP

Cette analyse vise d'abord à observer comment la durée de réalisation de la tâche peut varier en fonction des actions possibles à l'écran (type d'écran). Ensuite, nous désignerons pour chacune des séquences les tâches qui semblent poser des difficultés aux élèves en tenant compte de la place de la tâche qui introduit le modèle. Cette analyse doit apporter des éléments de réponse aux trois questions suivantes :

1. Y a t-il une relation entre l'activité de l'utilisateur et la variable type d'écran ?
2. Est-ce que cette analyse peut permettre d'identifier des tâches qui semblent poser des difficultés aux élèves ?
3. Existe t-il une relation entre la place de l'introduction du modèle dans la séquence et l'activité des élèves ?

Les données sont regroupées dans deux tableaux que nous décrivons ci-dessous :

- La durée de réalisation de la tâche par les vingt dyades en fonction du type d'écran ce qui ouvre l'analyse sur la relation entre le temps mis pour réaliser la tâche et les actions à y mener. En outre, à partir de ce même tableau nous serons à même d'identifier si la variation de la durée de l'activité des élèves ne serait pas liée au contenu que les pages-écrans proposent.

- La durée de réalisation de la tâche en fonction du nombre de réponses erronées, le nombre d'appels à l'aide et le nombre d'informations sélectionnées. Ce second tableau doit nous donner des indices pour identifier les tâches qui posent des problèmes aux élèves.

II.1. Analyse globale du TP0 "l'Introduction de la chaîne sonore"

Cette introduction propose, à la suite de la présentation du modèle de la chaîne sonore, quatre exercices d'application à partir desquels les élèves sont censés apparier les éléments de la chaîne sonore avec ceux de la situation (Chanteuse, Public, Indien, Malade). De plus, elle constitue une étape essentielle à la "familiarisation" des élèves avec l'hypermédia.

II.1.1. Analyse en fonction de la "durée" et du "type d'écran"

La durée de réalisation de ce TP est globalement homogène pour l'ensemble des dyades (Tableau 51). Toutefois, le temps mis par six dyades se situe au-delà d'un écart-type du temps moyen (dont la valeur est 6'37) : dyades 3, 7, 8, 12, 13, 16. Dans le cas où ces dernières sont plus faibles que la durée moyenne, soit les dyades ne réalisent pas la totalité des tâches (dyade 12), soit les durées de réalisation de chaque tâche sont plus faibles (dyades 13 et 8) que pour les autres dyades. Dans le cas contraire, cet écart est dû aux durées de réalisation de la tâche 2, premier exercice d'application de la chaîne sonore (dyades 3, 7, 16). Cela montre que la mise en œuvre d'un modèle jusqu'à présent "inconnu" n'est pas immédiate.

Sur ces cinq tâches, la tâche 1 est celle dont la durée moyenne est la plus faible. Elle implique principalement l'action de lire la définition du modèle de la chaîne sonore (type d'écran IP3). Pour les quatre tâches suivantes pour lesquelles les actions à mener sont "glisser" et "lâcher" un mot (type d'écran PI1), les durées moyennes sont supérieures à la première tâche. La durée de réalisation de la tâche semble être liée aux actions à mener lors de sa réalisation.

Cependant, nous remarquons une décroissance régulière des durées moyennes entre les tâches 2 et 5 dont les objectifs sont similaires : construire la chaîne sonore dans différentes situations tirées de la vie quotidienne en réinvestissant le modèle introduit lors de la tâche 1. La tâche 5 présente une durée moyenne la plus faible par rapport aux trois autres tâches et proche de celle de la tâche 1. Cet écart (entre 1 et 3 minutes) peut être interprété soit en termes de "performance" des élèves à utiliser la souris pour construire les chaînes sonores, soit en considérant que les élèves éprouvent de moins en moins de "difficultés conceptuelles" à réaliser successivement les quatre tâches, soit les deux. Ce dernier point pourra être vérifié à partir d'une analyse du nombre de réponses inexactes données au cours de la séquence.

II.1.2. Analyse en fonction de la "durée", des "ressources utilisées", du "nombre de réponses inexactes"

Nous rappelons qu'aucune des tâches du TP0 ne possède d'onglet Aide. Le Tableau 51 montre que le nombre de dyades réalisant au moins une réponse inexacte diminue particulièrement entre les tâches T2 et T3 (on passe de 13 dyades lors de T2 à 3 dyades lors de T3) ainsi que la durée moyenne de réalisation des tâches. Cette évolution montre que la modélisation à partir du modèle de la chaîne sonore des différentes situations semble nécessiter la réalisation répétée de tâches.

N° tâche	Type d'écran	Critère	N° dyade																			Durée moyenne	Ecart type
			1	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**		
T1	IP3	Durée	0:31	0:39	0:34	0:23	0:58	1:09	0:18	1:18	0:23	2:37	0:21	0:23	0:24	0:36	0:31	0:40	0:31	0:47	0:29	**0:43**	
T2	PI1	Durée	3:13	4:50	2:42	4:07	2:34	3:48	2:16	1:55	3:05	1:44	2:38	1:36	2:27	2:29	4:17	2:16	3:51	2:35	3:22	**2:56**	
		NRI	1	2	1	2	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0		
T3	PI1	Durée	0:53	1:17	1:06	1:06	1:38	1:13	0:51	0:44	0:54	0:50	0:15	1:18	1:13	0:54	1:07	1:19	1:13	1:35	1:04	**1:05**	
		NRI	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0		
T4	PI1	Durée	0:53	2:10	1:03	1:03	0:43	1:01	0:44	0:42	0:55	0:48	1:18	0:46	0:53	0:49	1:01	0:57	0:47	1:25	1:27	**1:01**	
		NRI	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
T5	PI1	Durée	0:41	1:00	0:45	1:08	0:49	0:45	0:46	1:09	0:35	0:55	0:02	0:44	0:51	0:51	1:02	0:48	0:40	1:12	0:42	**0:52**	
		NRI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Durée totale			6:11	9:56	6:14	7:47	6:42	7:56	4:55	5:48	5:52	6:54	4:34	4:47	5:48	5:39	7:58	6:00	7:02	7:34	7:04	**6:34**	**1:17**

Tableau 51 : Durée, durée moyenne, durée totale et nombre de réponses inexactes (NRI) lors du TP0

On note 3:13 une durée de 3 minutes et 13 secondes.

Variable Type d'écran :

PI1 : page avec consigne où la tâche amène à glisser et lâcher un mot, taper du texte, cocher une case, etc.

IP3 : page avec consigne implicite où la tâche amène à lire et à observer

II.1.3. En résumé

Ces deux analyses conduisent aux trois points suivants. D'abord, selon le type d'écran, les durées de réalisation des tâches peuvent passer du simple au double. Le second point qu'il faut relever est que les élèves donnent plus de réponses inexactes lors du premier exercice d'application du modèle que lors des trois suivants. Ainsi, la succession de tâches dont l'objectif est semblable, le réinvestissement d'un même modèle dans différentes situations, semble favoriser l'émergence des difficultés des élèves et leur dépassement. Ce que nous pourrions interpréter en tant qu'appropriation du modèle. Enfin, nous faisons une première hypothèse à propos de l'absence de navigation des élèves dans le cas où ils sont en échec répété (dyades 3, 5, 6). Ces exercices d'application se réfèrent à des situations de la vie quotidienne ce qui peut nécessiter de construire un autre point de vue que celui des personnages de la situation (Chanteur, Indien, Malade). Cela peut favoriser l'émergence d'exemples ou de contre-exemples issus de leurs propres expériences afin de justifier les solutions fournies.

II.2. Analyse globale du TP1

Cette séquence vise d'abord à étudier le phénomène à l'origine du son lors d'une première tâche intitulée "activité expérimentale", puis à décrire ce phénomène à partir des grandeurs physiques associées (la fréquence et l'amplitude). Durant cette séquence, du matériel expérimental est mis à la disposition de certaines dyades.

II.2.1. Analyse de l'activité en fonction de la "durée" et du "type d'écran"

La durée de réalisation de ce TP est homogène pour l'ensemble des dyades. Toutefois, les temps mis par six dyades se situent au-delà d'un écart-type du temps moyen (dyades 5, 9, 11 et dyades 15, 18, 19). Nous essaierons d'identifier ce qui peut conduire à cette différence.

N° Dyade	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Durée moyenne	Ecart type
Durée totale	43:32	46:21	53:03	58:45	55:40	53:30	51:50	1:09:05	47:19	1:00:34	49:46	44:37	42:00	37:46	42:56	42:25	38:51	38:05	49:12	48:42	8:08

Tableau 52 : Durées lors du TP1

Dans un premier temps, nous nous intéressons uniquement à la tâche 1 "Activité expérimentale" car elle donne lieu pour chaque expérience[44] sélectionnée (tambourin, diapason, etc.) à trois sous-tâches "Observation (d'une vidéo)", "Détermination de la source de son" et "Description" du comportement de la source de son. Nous spécifierons alors selon le type d'écran et de tâches, l'activité des élèves en fonction de la durée de réalisation de la sous-tâche. Dans un deuxième temps, nous étudierons, les tâches 2 à 8 relatives aux grandeurs caractéristiques de la vibration.

II.2.1.1. Analyse de la première tâche "Activité Expérimentale"

Le Tableau 53 présente les durées moyennes mises par l'ensemble des dyades lors des trois sous-tâches ainsi que lors de la Conclusion.

Intitulé de la tâche	Type de tâche	Type d'écran	Durée de la vidéo	Durée moyenne
Conclusion		PI1	Pas de vidéo	2:45
Diapason	Description	PI1	0:13	2:36
Tambourin	Description + observation	PI1	0:07	2:22
Ballon	Description	PI1	0:08	1:52
Haut-parleur	Description	PI1	0:51	1:36
Diapason	Observation	PI3	0:13	1:29
Haut-parleur	Observation	PI3	0:51	1:26
Guitare	Description	PI1	0:12	1:21
Scie	Description	PI1	0:20	0:57
Guitare	Observation	PI3	0:12	0:47
Haut-parleur	Détermination de la source	PI1	Pas de vidéo	0:44
Scie	Observation	PI3	0:20	0:37
Cordes vocales	Description	PI1	Pas de vidéo	0:35
Tambourin	Détermination	PI1	Pas de vidéo	0:34
Ballon	Observation	PI3	0:08	0:32
Diapason	Détermination de la source	PI1	Pas de vidéo	0:31
Tambourin	Description (fin)	PI1	0:07	0:30
Scie	Détermination de la source	PI1	Pas de vidéo	0:20
Cordes vocales	Détermination de la source	PI1	Pas de vidéo	0:18

Tableau 53 : Classement décroissant selon la durée des trois sous-tâches "Observation", "Détermination", "Description" et de la Conclusion

Variable Type d'écran :
PI1 : page avec consigne où la tâche amène à glisser et lâcher un mot, taper du texte, etc.
PI3 : page avec consigne ou la tâche amène à lire ou observer

Les deux sous-tâches "Observation" et "Description" ainsi que celle associée à la "Conclusion" donnent lieu aux durées les plus élevées (entre 2 minutes 36 et 1 minute 21). La sous-tâche "Détermination de la source" étant celle dont la durée moyenne est la plus faible quel que soit la source de son. Ces sous-tâches se distinguent principalement par les actions à mener :

- lors de la sous-tâche "Observation" l'action des élèves est limitée à observer une vidéo de l'expérience et à lire le texte d'accompagnement (type d'écran PI3).
- lors de la sous-tâche "Détermination de la source de son" dont la charge informationnelle est particulièrement réduite par rapport aux autres tâches (une courte phrase et une image), l'action de l'élève est limitée à cliquer sur une image sans possibilité de valider la réponse : un feed-back est retourné dès la sélection sur l'image (type d'écran PI1),
- lors de la sous-tâche "Description", l'action de l'élève consiste à taper du texte (type d'écran PI1) et donne la possibilité d'observer à nouveau la vidéo de l'expérience.

[44] Nous rappelons que les élèves sont censés en réaliser au moins trois.

- Lors de la "Conclusion", l'action des élèves consiste à taper du texte (PI1).

Suite à cette présentation des actions à mener selon la sous-tâche, la durée de réalisation semble être liée aux actions à mener (aux types d'écrans), ainsi qu'à la charge informationnelle présente dans la page-écran (Chapitre 4 II. 3 La fiche de TP).
Ensuite, aux vues des durées de réalisation de la phase d'"Observation" (durées de l'activité supérieures à celles des vidéos), nous pouvons penser qu'elle donne lieu à un fonctionnement des élèves non attendu comme par exemple la description de l'événement observé, voire une première explication. La phase de rédaction de la réponse est celle qui est associée aux durées les plus élevées ce qui peut s'expliquer du point de vue des actions à mener "taper sur un clavier" et de la difficulté à décrire l'évènement observé. Quant à la tâche "Détermination de la source", elle semble poser peu de difficultés aux différentes dyades si ce n'est pour des cas isolés comme par exemple les dyades 4, 9 et 14 lors de l'expérience du Haut-parleur (Voir annexe E).
Pour finir, si nous observons l'évolution des durées mises lors de chacune des sous-tâches, nous notons qu'elles diminuent au fur et à mesure que les élèves réalisent une nouvelle expérience (Tableau 54). Ce résultat rappelle l'observation faite durant le TP0 : la répétition d'une même tâche donne lieu à une diminution des durées.

Intitulé des tâches selon l'ordre d'appel	Dyade 8
Guitare observation	0:39
Guitare description	2:58
Diapason observation	2:03
Diapason détermination de la source	0:49
Diapason description	1:20
Ballon observation	0:37
Ballon description	0:37
Haut-parleur observation	0:59
Haut-parleur détermination de la source	0:14
Haut-parleur description	0:48
Conclusion activités expérimentales TP1	1:36

Intitulé des tâches selon l'ordre d'appel	Dyade 12
Haut-parleur observation	3:05
Haut-parleur détermination de la source	0:50
Haut-parleur description	1:44
Tambourin observation	1:44
Tambourin détermination	0:27
Tambourin description	1:17
Guitare observation	0:48
Guitare description	1:01
Scie observation	0:33
Scie détermination de la source	0:17
Scie description	0:42
Conclusion activités expérimentales TP1	4:15

Tableau 54 : Exemple de durées mises lors de la réalisation des expériences pour les dyades 8 et 16

Nous passons à l'analyse des tâches 2 à 8 étant donné que la tâche 1 ne donne pas lieu à des appels de ressources et à une analyse automatique des réponses données par les élèves.

II.2.1.2. Analyse des tâches de T2 à T8

Le Tableau 55 présente les durées totales entre les taches 2 à 8 pour les 19 dyades. Nous relevons que le temps mis par certaines dyades se situe au-delà d'un écart-type du temps moyen (dyades 4, 9, 11 et dyades 6 et 13). Cette hétérogénéité au niveau des durées semble être due principalement aux temps mis pour réaliser les tâches 3 et 8 "Mesure de la fréquence" et "Test Lien perception vibration".

N° Dyade	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Durée moyenne	Ecart type
Durée T3	9:41	9:58	3:33	5:31	4:55	12:29	5:09	8:19	4:34	11:32	7:20	7:51	7:40	1:18	6:36	7:37	12:37	6:01	21:14	8:06	4:15
Durée T8	10:23	5:50	24:53	10:27	7:16	9:17	22:46	29:36	9:55	19:46	7:10	4:28	3:34	12:40	3:52	10:44	4:34	4:04	4:24	10:49	7:36
Durée de T2 à T8	33:16	23:24	39:04	28:27	20:53	31:59	37:08	49:13	26:05	40:33	29:49	21:36	22:30	21:55	22:06	26:49	26:48	23:03	34:15	29:25	7:38

Tableau 55 : Durées de réalisation des tâches 3 et 8 et durées moyennes entre les tâches 2 et 8

Notation : 9:41 signifie 9 minutes 41 secondes.

Le Tableau 56 présente les durées moyennes de réalisation des tâches 2 à 8 à partir duquel nous distinguons deux groupes de tâches : cinq tâches (tâches 2, 4, 5, 6, 7) dont les durées moyennes sont comprises entre une et trois minutes et, deux tâches (tâches 3 et 8) dont les durées moyennes se situent autour de dix minutes.

N°Tâche	Intitulé de la tâche	Type d'écran	Durée moyenne
T2	Définition fréquence et amplitude	IP3	01:43
T3	Mesure de la fréquence	PI1 PI2 IR3	08:06
T4	Mesure de l'amplitude	PI1 IR3	01:32
T5	Test (1)	PI1 IR3	03:04

N°Tâche	Intitulé de la tâche	Type d'écran	Durée moyenne
T6	Expérience	PI2	02:37
T7	Perception sonore	IP2	01:34
T8	Test Lien vibration perception	PI1 IR3	10:49

Tableau 56 : durées moyennes de réalisation pour les tâches 2 à 8 et Type d'écran

Type d'écran
PI1 : page avec consigne où la tâche amène à glisser et lâcher un mot, taper du texte, etc.
PI2 : page avec consigne où la tâche amène à actionner un simulateur
IP2 : page avec consigne implicite où la tâche amène à lire et actionner un simulateur
IP3 : page avec consigne implicite où la tâche amène à lire et à observer
IR3 : informations fournies suite à une sélection de l'onglet Aide

Regardons comment la durée de réalisation de la tâche peut varier en fonction du type d'écran.
Dans le premier groupe, nous constatons que deux des tâches associées aux durées les plus faibles (T2 et T7) sont celles qui contiennent des informations et dont les actions des élèves sont limitées à lire et actionner une simulation (type d'écran IP) : elles introduisent les modèles que les dyades sont censées réinvestir durant les tâches 3, 4, 5 et 8. La durée moyenne de la tâche 4 "Mesure de l'amplitude" qui est la plus faible est celle dont la charge informationnelle est réduite par rapport aux six autres : consigne courte et mesure assez aisée à réaliser. Cela montre que cette tâche pose peu de problèmes aux élèves à part peut-être pour les dyades 9, 12, 14, 16, 19 dont les durées sont les plus élevées parmi l'ensemble. Pour les tâches 5 et 6, il nous est difficile de mettre en relation le type d'écran et les durées de réalisation. Toutefois de telles durées moyennes sont néanmoins attendues d'après les actions à mener :

- Tâche 5 : cocher une case pour sélectionner la réponse suite à l'analyse du mouvement de la partie vibrante de deux haut-parleurs (six fois de suite) ;
- Tâche 6 : actionner un simulateur en suivant un protocole expérimental.

Dans le second groupe, les deux tâches, dont les durées moyennes sont largement supérieures aux cinq autres, se réfèrent au même type d'écran : page sans information où la tâche demande de cocher une case (six fois de suite) ou de taper une valeur. En outre, leur particularité commune réside dans le fait que chacune d'elle est précédée par une tâche (T2 ou T7) qui introduit le modèle physique à utiliser pour les réaliser. Ces deux tâches (T2 et T7) sont aussi celles dont les durées moyennes de réalisation sont les plus faibles. Cette analyse en termes de durée et type d'écran, nous amène d'une part à supposer que l'implication des élèves durant les tâches où le modèle est introduit (T2 et T7) peut influencer la manière dont ces derniers le réinvestissent par la suite. D'autre part, cela montre aussi que l'une des difficultés des élèves est de réinvestir "immédiatement" un modèle qui leur est jusqu'à présent "inconnu". Ce que nous pourrons vérifier à partir du nombre de réponses inexactes et de l'appel à l'onglet Aide (II.2.2). Nous soulignons que lors de la première analyse (I.1.1) ces deux tâches sont celles que nous avions identifiées comme posant le plus de difficultés aux élèves.

II.2.2. Analyse en fonction de la "durée", des "ressources utilisées", du "nombre de réponses inexactes" pour les tâches 2 à 8

Parmi les sept tâches, quatre donnent accès à un onglet Aide qui est à chaque fois sélectionné par au moins une dyade. Nous avons aussi relevé que deux dyades se sont référées au mini-dictionnaire et une à la salle de cours et à la bibliothèque principalement lors de la mesure de la fréquence et de l'amplitude (voir annexe E).

Le Tableau 14 présente la durée, le nombre de réponses inexactes, le nombre d'appels à l'aide relatives à ces quatre tâches. Les deux tâches (tâche 3 et 8) possèdent les valeurs les plus élevées pour ces trois types de données. De plus, dans ces deux cas, presque toutes les dyades donnent au moins une réponse inexacte : 15 sur 19 pour T3 et 18 sur 19 pour T8. Cela montre qu'elles posent le plus de difficultés aux dyades. Ensuite, la différence majeure entre ces deux tâches (3 et 8) et les tâches 4 et 5, est que l'appel des ressources se fait principalement après une réponse inexacte au lieu d'être préalable à la proposition d'une réponse (Tableau 46). Cela explique pourquoi les dyades 11, 16, 17 ne réalisent pas de réponses inexactes tout en faisant appel à l'onglet Aide.

Enfin, à partir des Tableau 14 et Tableau 58, nous nous rendons compte que les dyades qui prennent le plus de temps pour réaliser les tâches sont généralement celles qui donnent le plus de réponses inexactes et qui se réfèrent à l'onglet Aide.

N° T		1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Valeur moyenne
T3	Durée	6:16	7:55	3:31	5:01	4:54	11:21	4:45	4:42	4:20	10:18	6:54	7:45	6:00	1:17	5:41	5:41	9:26	5:43	17:04	6:46
	Durée Aide	3:25	2:03		0:30		0:33	0:24	0:24	0:13	1:13	0:23	0:03	1:38		0:55	1:55	3:11	0:14	4:10	1:07
	NAA	1	4		1		1	1	1		1	1		3		2	4	4	1	6	1,63
	NRI	3	9		1	2	23		4		5	3	6	4		2	3	5	1	14	4,47
T4	Durée	1:25	0:29	1:23	1:07	0:37	1:48	1:02	1:27	1:09	1:13	2:29	0:57	3:02	0:01	1:44	1:21	0:41	2:10	1:15	1:20
	Durée Aide								0:40		0:22	0:29				0:25	0:15		0:22	0:11	0:09
	NAA								2		1	1				1	1		2	1	0,47
	NRI	1			1		1		5			2		4					1	1	0,84
T5	Durée	2:41	3:07	3:16	4:59	1:44	2:39	1:37	3:30	2:23	2:42	5:35	2:36	2:15	3:45	3:44	1:42	1:59	2:43	3:01	2:57
	Durée Aide								0:13			0:34			0:26						0:04
	NAA								1			1			2						0,21
	NRI		3		2							1		1	2	1				1	0,57
T8	Durée	9:34	5:44	23:05	9:36	6:43	9:11	18:41	27:49	9:46	16:19	6:09	4:23	3:31	11:21	3:52	10:00	3:32	3:32	4:09	9:50
	Durée Aide	0:49		1:46	0:51	0:33	0:06	3:46	1:47		3:19	0:58			1:19		0:40	1:02	0:31		0:56
	NAA	1		3	2	1	1	3	3		3	1			1		2	5	2		1,47
	NRI	5	5	27	5	4	11	28	17	4	14	1	3	1	8		9	2	1	1	7,68

Tableau 57 Durée de réalisation de la tâche, durée dans l'onglet Aide, nombre de réponses inexactes (NRI), nombre d'appels à l'onglet Aide (NAA) et valeurs moyennes

Durée Aide : durée dans l'onglet Aide
NAA : nombre d'appels à l'onglet Aide
NRI : nombre de réponses inexactes

N° T	Nbre maximum de dyade appelant l'aide	Nbre de dyades proposant au moins une réponse inexacte	Nbre de dyades dont la durée de résolution est > ou égale à la valeur moyenne	Nbre de dyades dont la durée de résolution est > ou égale à la durée moyenne et appelle l'aide
T3	13	15	12	11
T4	7	9	10	7
T5	3	7	6	3
T8	13	18	10	9

Tableau 58 : Relation entre l'appel de l'Aide et la durée de réalisation de la tâche (T)

Pour terminer, si nous comparons les durées mises durant la "Mesure 1 et 2 " de la fréquence, nous remarquons que cette dernière diminue (Tableau 59). Nous retrouvons l'idée que le réinvestissement à plusieurs reprises d'un même modèle favorise l'appropriation du savoir en jeu ou la construction de procédures de résolution.

Tâche T3	N° Dyade															Durée moyenne
	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	17	18	19	
Mesure 1	6:43	8:44	2:15	4:00	5:20	7:58	3:38	5:25	1:38	8:58	5:07	5:57	5:04	4:34	3:50	5:17
NAA	1	4		1		1	1	1		1	1	3	3	2	1	
NRI	1	9		1	2	19		4		5	2	4	3	1	1	
Mesure 2	2:44	1:26	2:10	1:34	1:28	4:19	1:28	2:40	2:19	2:32	2:23	1:08	2:32	7:50	1:49	2:33
NAA													1	1		
NRI	2					4					1			4		

Tableau 59 : Comparaison des durées lors de la tâche 3 "Mesure de la fréquence"

II.2.3. En résumé

L'analyse de ce TP a permis d'abord d'identifier que les tâches qui donnent lieu aux durées les plus courtes sont celles qui présentent une charge informationnelle réduite (T4 et détermination de la source de son) et, qui donnent lieu à des actions du type lire et observer contenant ou non des informations relatives au savoir en jeu (type d'écran IP3 et PI3).

Ensuite, nous avons vu que la réalisation répétée de mêmes tâches (T1 et T3) conduit à une durée de réalisation plus courte (T1 et T3), à une diminution du nombre de réponses inexactes et à d'appels à l'onglet Aide (T3). Cela montre que l'appropriation d'un modèle passe par l'accommodation de procédures (lemeignan, Weil-Barais, 1993).

Puis, nous avons constaté que les tâches pour lesquelles les durées, le nombre d'appels à l'onglet Aide, et le nombre de réponses inexactes sont les plus élevés correspondent aux tâches (T3 et T8) qui posent le plus de difficultés aux élèves. En outre, ces tâches sont précédées des tâches qui introduisent le modèle et qui sont associées aux durées de réalisation les plus courtes. Cela semble montrer qu'il y a une relation entre les difficultés des élèves à réaliser la tâche et la manière dont ils s'impliquent dans les tâches qui présentent les informations clefs.

Enfin, nous avons remarqué que les tâches qui sont associées aux durées les plus grandes sont généralement celles durant lesquelles les élèves font appel à l'onglet Aide et/ou réalisent le plus de réponses inexactes.

II.3. Analyse globale du TP2

Ce TP a pour objectif d'amener les élèves à prendre conscience que l'une des conditions pour percevoir un son est inhérente à la présence d'un milieu de propagation. Les tâches proposées se réfèrent à des situations de laboratoire et de la vie quotidienne. Les élèves prévoient le résultat de l'expérience puis

l'interprètent généralement à l'aide du modèle de la chaîne sonore. Dans cette séquence, nous ne fournissons pas de matériel expérimental en lien avec les expériences proposées. Cette séquence clôt la première séance de TP composée de l'introduction de la chaîne sonore et du TP1. De ce fait, toutes les dyades n'ont pas toutes terminées cette dernière séquence.

II.3.1. Analyse de l'activité en fonction de la "durée" et du "type d'écran"

Globalement, les durées de réalisation de ce TP restent homogènes d'une dyade à une autre. Nous relevons que les temps mis par cinq dyades se situent au-delà d'un écart-type du temps moyen (dyades 3, 7, 15, 19, 20).

N° Dyade	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Durée moyenne	Ecart type
Durée	14:25	7:34	13:59	12:05	11:44	16:37	13:09	10:17	13:20	11:12	13:22	11:13	13:19	15:37	11:43	10:11	10:21	15:37	6:12	12:12	2:35

Tableau 60 : Durées moyenne durant le TP2

Nous notons 14:25 une durée de 14 minutes 25 secondes.

Les durées moyennes de réalisation des différentes tâches sont (particulièrement) faibles (Tableau 61). On peut interpréter ces données par la charge informationnelle réduite et par le fait que l'un des modèles à utiliser (la chaîne sonore) est connu des élèves. Les tâches associées aux durées de réalisation les plus élevées correspondent soit à une prédiction (T5, T9) soit à la modélisation de la situation à partir de la chaîne sonore (T7, T11) : elles mènent aux actions de "cocher une case" et "glisser" et "lâcher" un mot (type d'écran PI1). Les tâches associées aux actions lire et/ou regarder possèdent les durées les plus faibles (type d'écran PI3 ou IP3). Nous observons à nouveau que selon le type d'écran les durées de réalisation des tâches varient.

N° Tâche	Intitulé de la tâche	Type d'écran	Durée moyenne
T7	Chaîne sonore (réalisation du vide)	PI1	1:25
T14b2	Prévoir (pots de yaourt)	PI1 IR3	1:23
T9	Prévoir (hydrogène)	PI1 IR3	1:00
T14b1	Chaîne sonore (pots de yaourt)	PI1	0:57
T14d	Prévoir (collision intersidérale)	PI1 IR3	0:54
T11	Chaîne sonore (hydrogène)	PI1	0:54
T14e	Prévoir (navette)	PI1 IR3	0:51
Ta3	Chaîne sonore (cloche sans mousse)	PI1	0:49
Ta1	Prévoir (cloche sans mousse)	PI1 IR3	0:47
T5	Prévoir (réalisation du vide)	PI1 IR3	0:43
T14c	Prévoir (dans l'eau)	PI1 IR3	0:30

N° Tâche	Intitulé de la tâche	Type d'écran	Durée moyenne
T6	Réalisation de l'expérience (cloche à vide)	PI3	0:27
T10	Réalisation de l'expérience (hydrogène)	PI3	0:26
T1	Introduction	PI3	0:24
T8	Résumé (réalisation du vide)	IP3	0:23
T13	Conclusion	IP3	0:21
T12	Résumé (hydrogène)	IP3	0:19
T2	Rappel (indien)	IP3	0:18
T14a2	Réalisation de l'expérience (cloche sans mousse)	PI3	0:18
T3	Situation 2 (rail coupé)	IP3	0:15
T4	Etude du phénomène (indien)	IP3	0:15
T14a4	Résumé (cloche sans mousse)	IP3	0:08

Tableau 61 : Classement des tâches par ordre décroissant de la durée moyenne de réalisation

Type d'écran
PI1 : page avec consigne où la tâche amène à glisser et lâcher un mot, taper du texte, etc.
PI3 : page avec consigne ou la tâche amène à lire ou observer
IP3 : Page avec consigne implicite où la tâche amène à lire et à observer
IR3 : Informations fournies suite à une sélection dans l'onglet Aide

Enfin, nous relevons, comme dans le cas des exercices d'introduction à la chaîne sonore que le réinvestissement d'un même modèle dans une nouvelle situation induit une diminution du nombre de

réponses inexactes. En effet, suite à la réalisation des tâches 5 à 8, il est demandé aux élèves de réaliser les mêmes tâches à partir d'une nouvelle expérience (tâches 9 à 12). Nous constatons que le nombre de réponses inexactes diminue et la durée mise pour modéliser la situation expérimentale à partir de la chaîne sonore lors de la tâche T11 est plus faible (Tableau 62). Cela peut être vu comme l'appropriation du modèle par les élèves. La première situation favorisant la "mise en œuvre" des difficultés des élèves. Toutefois, nous constatons que la durée de la prédiction de la seconde situation (T9) augmente. Nous faisons l'hypothèse que la modification de la situation de laboratoire semble amener les élèves à se représenter à nouveau le problème ce qui ne semble pas aisé ici. De plus, certains élèves se réfèrent à l'onglet Aide ce qui donne lieu à une augmentation de la durée de réalisation de la tâche.

N°Tâche	Intitulé de la tâche	Durée	NRI
T5	Prévoir (réalisation du vide)	0:43	3
T6	Expérience de la cloche à vide	0:27	
T7	Chaîne sonore (réalisation du vide)	1:25	9
T8	Résumé (réalisation du vide)	0:23	

	Intitulé de la tâche	Durée	NRI
T9	Prévoir (hydrogène)	1:00	0
T10	Expérience (hydrogène)	0:26	
T11	Chaîne sonore (hydrogène)	0:54	1
T12	Résumé (hydrogène)	0:19	

Tableau 62 : Comparaison durées et nombre de réponses inexactes (NRI) entre les tâches T5 à T8 et T9 à T12

II.3.2. Analyse de l'activité en fonction de la "durée", des "ressources utilisées" et du "nombre de réponses inexactes"

Globalement, peu de dyades produisent des réponses inexactes et font appel à l'aide. Les deux seules tâches qui semblent poser des difficultés aux élèves sont les tâches T7 et T14b2 d'après le nombre de réponses inexactes (Tableau 63). La première demande aux élèves, pour la première fois, de réinvestir le modèle présenté lors de la tâche 3. La deuxième consiste à décrire l'évolution de la perception sonore en différents endroits de l'espace à partir d'une illustration issue de la vie quotidienne.

N° Tâche	Intitulé des tâches	Nbre maximum de dyades appelant l'aide	Nbre maximum d'appels à l'aide pour une dyade	Nbre de dyades proposant au moins une réponse inexacte	Nbre maximum de réponses inexactes pour une dyade	Appel salle de Cours
T5	Prévoir (réalisation du vide)	2	2	3	2	
T7	Chaîne sonore (réalisation du vide)			9	4	
T9	Prévoir (hydrogène)	2	1			1
T11	Chaîne sonore (hydrogène)			1	1	
T14b2	Pots de yaourt (prévoir)	1	3	8	18	
T14c	Collision intersidérale	3	1	4	1	
T14d	Collision sous l'eau	1	1	4	1	

Tableau 63 : Présentation des données sur l'ensemble des dyades à propos des critères ressources et réponses inexactes au cours de la résolution de la tâche (T).

II.3.3. En résumé

Cette analyse permet de relever à nouveau que les tâches associées aux actions lire et observer présentent les durées moyennes les plus faibles (type d'écran IP3 ou PI3). De plus, dans le cas où les situations expérimentales semblent familières aux élèves, les durées de réalisation sont particulièrement faibles. Lors de la mise en œuvre d'un même modèle dans une nouvelle expérience, les élèves donnent peu de réponses erronées et la durée moyenne de réalisation diminue. Toutefois, la

modification de l'expérience semble conduire les élèves à devoir se représenter à nouveau le problème : la réponse n'est pas immédiate.
Les deux tâches qui semblent poser des problèmes aux élèves (T7 et T14b2) consistent en la mise en œuvre d'un nouveau système explicatif. Enfin, nous avons remarqué que peu d'élèves durant la tâche T14b2 font appel à l'onglet Aide : une dyade appelle l'onglet Aide alors que 8 proposent au moins une réponse inexacte. La particularité de cette tâche est de proposer une situation de la vie quotidienne. Nous retrouvons l'un des résultats de l'analyse précédente (I.1.3) : la sélection d'une ressource semble être due à la nature de la tâche (situations se rapportant à la vie quotidienne ou à des expériences de laboratoire).

II.4. Analyse globale du TP3

L'objectif de ce TP est d'amener les élèves à se construire un modèle explicatif de la propagation du son dans l'air à partir de deux situations expérimentales. Cette séquence est censée permettre d'établir le lien entre les phénomènes microscopiques (mouvement des particules constituant l'air lors de l'émission d'un son) et, les phénomènes macroscopiques faisant intervenir des objets matériels, utilisés ou non dans la vie quotidienne. Pour les dyades choisies, nous fournissons le moyen de réaliser l'une des deux expériences.

II.4.1. Analyse de l'activité en fonction de la "durée" et du "type d'écran"

Globalement, la durée de réalisation du TP reste homogène pour l'ensemble des dyades. Toutefois, nous remarquons que les temps mis par cinq dyades (dyades 1, 2, 8, 17, 20) se situent au-delà d'un écart-type du temps moyen. Nous tenterons d'identifier les tâches qui ont pu conduire à cette différence.

N° dyade	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Durée moyenne	Ecart Type
Durée	43:15	41:13	30:32	31:49	39:01	40:40	33:43	53:36	32:08	33:48	33:49	31:33	31:13	30:58	33:40	27:51	29:44	28:13	26:30	34:23	6:24

Tableau 64 : Durée de réalisation du TP3 par les 19 dyades

L'analyse du Tableau 65 permet d'observer comment la durée de réalisation de la tâche peut varier selon les actions possibles à l'écran. Nous relevons trois groupes parmi ces données :

- Le premier groupe concerne les tâches pour lesquelles les durées moyennes varient entre 30 secondes et une minute. Les actions à mener sont principalement la lecture et/ou l'observation d'une expérience (type d'écran IP3 ou PI3).
- Le second groupe "transitoire" est constitué des deux tâches T3 et T10 : elles demandent soit de mettre en œuvre un modèle "connu"[45] des élèves (T3), soit de prévoir le résultat de l'expérience à l'aide de différentes propositions (la réponse n'est pas évaluée). Les actions à mener sont "lâcher" et "glisser" un mot, et "cocher" une case.
- Les tâches associées aux durées de réalisation les plus élevées (entre 3 minutes et 8 minutes) ont pour caractéristiques communes d'une part de donner lieu aux actions du type taper du texte, cocher une case, et d'autre part d'amener les élèves à mettre en œuvre un modèle interprétatif de la

[45] Nous retrouvons le résultat du TP2.

propagation du son qui leur soit propre et/ou qui se réfère au modèle particulaire introduit au cours du TP lors de la tâche 6. De plus, ces tâches se regroupent en trois catégories :

- Interpréter la propagation du son dans l'air (T4, T6, T12).
- Observer et sélectionner les événements visibles à partir d'une vidéo en se référant à des modèles présentés précédemment (tâche 11, type d'écran PI1).
- Vérifier et réfuter différentes propositions en mettant en jeu le modèle particulaire ou l'un de ses modèles personnels (tâche 13, type d'écran PI1, IR3 IF3).

La tâche 9 est celle dont la durée moyenne de réalisation est la plus élevée. En effet, elle consiste en une recherche d'informations associée au terme "infrason" à partir des différentes ressources mises à la disposition des élèves. Relevant de la "fonctionnalité" de l'hypermédia, une telle durée ne peut donc être placée dans le même contexte que les précédentes.

N° Tâche	Intitulé activité	Type d'écran	Durée moyenne	Dyades dont les durées sont supérieures aux autres
T9	Etude du son émis par le haut-parleur (observation)	PI1 PI2	8:00	
T13	Questions (propagation du son dans l'air)	PI1 IR3 IF3	4:49	1, 4, 5, 8, 10, 12, 16
T4	Expérience des deux tambourins (explication)	PI1	4:00	1, 5, 6, 7, 8, 11
T6	Interprétation microscopique (question)	PI1 IR3 IF3	4:00	2, 5, 8, 11, 16
T12	Expérience de la bougie (interprétation)	PI1	3:30	2, 5, 6
T11	Expérience de la bougie (observation)	PI1	3:14	8, 11, 12, 13
T10	Expérience de la bougie (prévision)	PI1	1:50	2, 8, 12, 13
T3	Expérience des deux tambourins (chaîne sonore)	PI1	1:35	6, 8, 16, 18, 19
T1	Introduction TP3	PI3	1:05	
T7	Interprétation microscopique (explication)	IP3	0:53	
T14	L'onde sonore (explication)	IP3	0:51	
T2	Expérience des deux tambourins (observation)	PI3	0:40	
T5	Expérience des deux tambourins (résumé)	IP3	0:30	

Tableau 65 : Classement décroissant des tâches selon les durées moyennes, le type d'écran et les dyades dont les durées sont supérieures à ces durées moyennes

Type d'écran
PI1 : page avec consigne où la tâche amène à glisser et lâcher un mot, taper du texte, etc.
PI2 : page avec consigne ou la tâche amène à actionner un simulateur
PI3 : page avec consigne ou la tâche amène à lire ou observer
IP3 : page avec consigne implicite où la tâche amène à lire et à observer
IR3 : informations fournies suite à une sélection dans l'onglet Aide
IF3 : feed-back contenant des informations pouvant aider à la réalisation de la tâche

Lors de la dernière tâche de cette séquence (T13) qui nécessite de réinvestir le modèle introduit lors de la tâche 6, la durée de réalisation est bien supérieure aux autres. Cela laisse supposer que :

- les élèves ne se sont pas approprié le modèle en jeu à ce stade de la séquence. En d'autres termes les tâches proposées entre les tâches 6 et 13 n'ont pas donné lieu à cette appropriation ;
- la tâche 13 n'est pas suffisamment explicite pour aider les élèves à réinvestir le modèle. En effet, cette tâche ne demande pas explicitement la mise en œuvre de ce modèle pour être réalisée ;
- le modèle en lui-même pose des difficultés aux élèves. A ce sujet, la littérature a présenté les difficultés que les élèves éprouvent pour interpréter la propagation du son (Chapitre 4).

II.4.2. Analyse de l'activité en fonction des critères "durée", "ressources " et "réponses inexactes"

L'une des particularités de cette séquence réside en ce que seulement quatre tâches sur les quatorze donnent lieu à une évaluation de la réponse des dyades et seules deux de ces tâches (T6 et T13) fournissent un onglet Aide. A partir du Tableau 66, nous constatons que, lors de la dernière tâche de la séquence (T13), le nombre moyen d'appels à l'aide est le plus élevé ainsi que le nombre de réponses inexactes et la durée moyenne de réalisation. Cela montre que cette tâche est particulièrement difficile à réaliser par les dyades, ce qui supporte les différentes hypothèses proposées dans le paragraphe précédent. Pourtant, lors de la tâche 6 qui demande aux élèves de sélectionner le modèle particulaire explicatif de la propagation du son, le nombre moyen d'appels à l'onglet est assez faible et uniquement la moitié des élèves donnent au moins une réponse inexacte. En d'autres termes, ce n'est pas parce que les élèves parviennent à réaliser une tâche qu'ils construisent le savoir qui est en jeu.

Enfin, si l'on regarde les différentes durées (Tableau 65) de cette séquence par rapport au TP1 par exemple, nous remarquons que les durées des tâches où les élèves rédigent leur réponse sont doublées. De ce fait, nous pouvons supposer que le savoir en jeu ou la réalisation des tâches durant cette séquence demande aux élèves un effort "cognitif" plus important que lors des tâches précédentes.

N° tâche		N° Dyade																			Nombre moyen
		1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
T3	Durée	1:47	1:22	1:19	0:54	1:29	2:14	0:44	2:02	1:31	1:56	1:45	0:44	1:15	1:47	2:04	1:06	2:08	2:24	1:41	1:35
	NRI	1	1	1	1	1	2		1		1	1					1	1	1	1	0,73
T6	Durée	4:59	8:20	4:58	3:06	5:44	2:46	2:30	5:16	4:04	6:02	1:52	1:56	3:44	4:40	5:24	3:43	2:51	2:52	1:22	4:00
	NRI		3	2		3	2		1		1			3	3		3	1			1,15
	NAA		1	1					1								1				0,21
T11	Durée	2:52	2:22	3:20	3:36	1:48	4:01	1:07	5:15	3:18	4:13	4:11	7:11	2:11	2:41	3:24	2:07	2:32	1:53	3:28	3:14
	NRI		3						2	1				2	4				1		0,68
T13	Durée	10:14	3:02	3:42	10:45	5:37	3:05	5:22	6:02	7:51	2:11	5:42	2:14	5:18	3:19	5:31	3:09	3:06	2:25	2:53	4:49
	NRI	9	4	5	4	6	5	7	3	11	4	4	2	11	1	2	11	5	2		5,05
	NAA	1			1			1	1			1		1	1	1	?	?	?		0,42

Tableau 66 : Durée, durée moyenne, nombre de réponses inexactes, nombre moyen de réponses inexactes par dyade, nombre d'appels à l'Aide et nombre moyen d'appels à l'Aide par dyade[46]

Légende

NAA : nombre d'appels à l'onglet Aide
NRI : nombre de réponses inexactes

II.4.3. En résumé

Les tâches associées aux actions de lecture et d'observation sont celles dont les durées de réalisation sont les plus faibles. Ensuite, parmi les différentes tâches de type d'écran PI (page-écran sans information en jeu), nous avons constaté que cinq sur les huit posaient des difficultés aux élèves dont particulièrement la tâche T13 qui clôture la séquence. Nous en avons déduit que, soit les élèves ont des difficultés pour s'approprier et construire le modèle de la propagation du son, soit les tâches ne sont pas construites en tenant suffisamment compte des difficultés des élèves et de leurs besoins. Ne serait-

[46] Le point d'interrogation signifie que pour ces dyades nous n'avons pas pu obtenir le nombre d'appel à l'onglet aide. Car pour les tâches 6 et 13, il n'y a pas d'enregistrement automatique de l'appel à l'onglet Aide.

il pas nécessaire alors de proposer de nouvelles tâches de réinvestissement du modèle particulaire au cours de la séquence ?

II.5. Analyse globale du TP4

L'objectif du TP4 est d'étudier deux des propriétés du son, la hauteur et le volume (ou intensité), en relation avec les grandeurs caractéristiques de l'onde sonore : la fréquence et l'amplitude. Cette étude est approfondie par la construction des relations entre les grandeurs caractéristiques de la vibration de la membrane d'un haut-parleur et de la tension électrique qui la génère. Enfin, l'étude, *via* la tension électrique, donnera l'occasion d'étudier les grandeurs caractéristiques de la vibration à partir de nouvelles représentations fournies par un oscilloscope par exemple. Durant cette séquence, nous donnons la possibilité aux dyades choisies d'utiliser le matériel.

II.5.1. Analyse de l'activité en fonction de la "durée" et du "type d'écran"

Les durées de réalisation de cette séance par chacune des dyades restent globalement homogènes (Tableau 67). Nous relevons que les temps mis par huit dyades (dyades 2, 5, 7, 9, 11, 13, 17, 19) se situent au-delà d'un écart-type du temps moyen.

N° Dyade	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Durée moyenne	Ecart Type
Durée	47:47	54:42	50:30	1:03:05	48:13	36:07	41:29	53:39	40:55	55:25	51:31	34:16	45:25	42:36	44:28	34:22	38:36	31:28	36:45	44:48	8:22

Tableau 67 :Durée et durée moyenne lors du TP4

Ensuite, parmi les durées moyennes les plus faibles, nous rencontrons trois catégories de tâches :

- quatre tâches impliquent les actions lire ou regarder une vidéo (IP3 ou PI3),
- quatre tâches demandent d'actionner un simulateur (PI22) lors de la réalisation d'une expérience,
- cinq tâches dont les actions à réaliser sont de cocher une case (PI1).
  - Les tâches T4 et T8 ont une charge informationnelle semblable et faible,
  - la tâche T21 consiste à réinvestir au niveau du modèle la solution formulée au niveau du champ expérimental lors de la tâche T20,
  - la tâche T7 (durée 1:35) est une tâche similaire de la tâche T3 (dont la durée est bien supérieure 2:45).

Cette première analyse nous amène à retrouver les caractéristiques des tâches pour lesquelles les durées de réalisations sont faibles :

- Tâches associées au type d'écran PI3 ou IP3, c'est-à-dire dont les actions sont lire et observer.
- Tâches comportant une charge informationnelle faible.
- Tâches consistant à réinvestir un modèle déjà utilisé.

Le point que nous n'avions pas encore observé concerne la faible durée de réalisation des tâches dont le type d'écran est PI2 (la tâche implique l'action sur une simulation).

N° Tâche	Intitulé de la tâche	Type d'écran	Durée
T1	Introduction du TP4	IP1 IR3	1:51
T17	EXP1	PI2 IR3	1:40
T2	Expérience	PI2	1:37
T7	Mesure1	PI1	1:35
T16	Question	PI1 IR3	1:19
T14	Comparaison à l'oscilloscope (résumé)	IP3	1:19
T23	En résumé TP4	IP3	1:15
T21	Expérience 2	PI1 IR3	1:09
T6	Expérience	PI2	1:03
T18	EXP2	PI2 IR3	1:02
T4	Mesure2	PI1	0:59
T19	Influence de la position du récepteur	PI3	0:37
T8	Mesure2	PI1	0:24

Tableau 68 : Classement décroissant des tâches selon les durées de réalisation

En revanche, les tâches pour lesquelles les durées sont les plus élevées sont associées au type d'écran PI1 (Tableau 69).

N°tâche	Intitulé de l'expérience	Type d'écran	Durée moyenne
T12	Expérience (grandeurs caractéristiques du son)	PI1 IR3	4:59
T15	Création de l'oscillogramme	PI1PI2 IR3	4:21
T5	Première expérience (interprétation)	PI1	3:31
T9	Deuxième expérience (interprétation)	PI1	2:51
T20	Expérience 1	PI1 IR3	2:51
T22	Expérience 3	PI1 IR3	2:46
T3	Mesure1	PI1	2:45
T13	Expérience (grandeurs caractéristiques de la vibration)	PI1 IR3	2:34
T11	Etude des grandeurs caractéristiques à l'oscilloscope	IP3 PI1	2:11

Tableau 69 : Durée moyenne des tâches de types d'écran PI1

Type d'écran
PI1 : page avec consigne où la tâche amène à glisser et lâcher un mot, taper du texte, etc.
PI2 : page avec consigne ou la tâche amène à actionner un simulateur
PI3 : page avec consigne ou la tâche amène à lire ou observer
IP3 : page avec consigne implicite où la tâche amène à lire et à observer
IR3 : informations fournies suite à une sélection dans l'onglet Aide
IF3 : feed-back contenant des informations pouvant aider à la réalisation de la tâche

Parmi ces tâches, nous constatons que trois donnent lieu à des durées particulièrement élevées et deux se réfèrent à un même objectif d'enseignement, la relation entre la perception sonore et la vibration. Nous pouvons supposer qu'à ce stade de l'enseignement, ce savoir est encore difficile à mettre en œuvre.

- la tâche T12, l'objectif est d'amener les élèves à construire la relation entre la perception sonore et la vibration ;
- la tâche T15, consiste à réaliser l'expérience suivante : créer un oscillogramme en reproduisant le son perçu à partir des boutons amplitude et fréquence ;
- la tâche T5, il s'agit de rédiger une réponse relative à la relation entre la perception sonore et la variation de l'amplitude de la tension électrique.

Enfin, étudions les durées de réalisation de tâches qui se succèdent et dont les représentations à utiliser sont semblables et le savoir en jeu commun :

- Comparaison des tâches 2 à 5 avec les tâches 6 à 9 ;
- Comparaison des tâches 12 et 13.

N° Tâche	Intitulé des tâches	Durée moyenne		N° Tâche	Intitulé des tâches	Durée moyenne
2	Expérience (augmenter l'amplitude)	1:37		6	Expérience (augmenter la fréquence)	1:03
3	Mesure1 (étude du mouvement de la membrane du haut-parleur)	2:45		7	Mesure1 (étude du mouvement de la membrane du haut-parleur)	1:35
4	Mesure2 (étude du son émis par le haut-parleur)	0:59		8	Mesure2 (étude du son émis par le haut-parleur)	0:24
5	Interprétation	3:31		9	Interprétation	2:51

Tableau 70 : Comparaison des durées moyennes pour des tâches dont seule la construction est semblable, le savoir varie

Nous constatons que les durées moyennes diminuent presque de moitié entre les deux séries de tâches (Tableau 70). Cela montre, comme nous l'avons introduit auparavant, que la réalisation à plusieurs reprises de tâches dont l'objectif est similaire donne l'occasion aux élèves de se construire des procédures de résolution qu'ils sont capables de réinvestir plus rapidement. Par exemple, lors des tâches 12 et 13, les élèves doivent réinvestir les mêmes procédures de résolution. A nouveau les durées moyennes diminuent de moitié (Tableau 71). La différence entre ces deux tâches réside dans le fait que lors de la tâche 13, il est demandé aux élèves de déterminer uniquement les grandeurs caractéristiques de la tension électrique à partir des différents oscillogrammes sans aller jusqu'à déterminer la perception sonore comme lors de la tâche 12.

N° Tâche	N° Dyade																			Durée moyenne
	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
T12	7:23	3:43	0:02	3:07	7:18	6:47	2:52	9:24	3:00	5:54	5:43	3:06	8:58	4:39	7:47	4:18	4:06	3:57	2:36	4:59
T13	4:16	4:29	3:51	4:07	4:45	1:20	1:49	1:57	2:16	2:20	2:52	2:15	2:03	0:02	1:56	1:54	2:56	2:04	1:26	2:34

Tableau 71 : Durée et durées moyennes associées aux tâches 12 et 13

Le savoir en jeu est semblable mais doit être mis en œuvre à partir de systèmes sémiotiques différents (langage naturel et représentation graphique). De plus, la situation expérimentale varie : on passe d'une situation de la vie quotidienne à une situation de laboratoire. Le savoir en jeu est la description en termes du modèle (fréquence et amplitude) de l'évolution des caractéristiques de la perception sonore selon la position du récepteur dans l'espace. Nous rajoutons les durées relatives à la tâche 20, car cette tâche consiste à décrire l'évolution de la perception sonore en fonction de la position du récepteur à partir de la même situation de la vie quotidienne que la tâche 21

N° Tâche	N° dyade																			Durée moyenne
	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
20	1:50	2:29	8:29	7:57	1:47	1:09	4:27	1:57	1:55	3:09	2:35	1:17	2:47	2:09	2:05	2:09	2:45	2:02	1:15	2:51
21	0:48	1:22	0:58	1:22	1:17	0:56	0:54	1:08	0:37	1:39	2:47	0:46	1:28	1:23	0:46	0:31	1:26	0:59	0:49	1:09
22	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	2:17	2:37	1:25	2:14	2:46

Tableau 72 : Durées de réalisation des tâches 21 et 22

La modification de l'expérience et la représentation du savoir à utiliser (tâche 22) semblent conduire les élèves à fonctionner comme lors de la tâche 20 (Tableau 72) : ils ne continuent pas à résoudre un

même problème dont la représentation du savoir à mettre en œuvre est modifiée, mais ils semblent être devant un nouveau problème qu'ils sont censés à nouveau se représenter.

II.5.2. Analyse de l'activité en fonction des "ressources utilisées" et des "réponses inexactes"

Sur les 24 tâches présentes dans le TP4, onze proposent un onglet Aide. Seules six taches conduisent à un appel de l'onglet Aide et le nombre de dyades y faisant appel est faible (de 2 à 4) (Tableau 73) ce qui peut signifier qu'à ce stade la plupart des élèves se sont appropriés le savoir en jeu[47].

N° tâche	N° dyade																			Nombre moyen d'appels à l'Aide par dyade
	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
T20			4	1			1													0,32
T12	1				1						1			1						0,21
T22	1						1			1									1	0,21
T16						1												1		0,11
T1										1		1								0,11
T15										1										0,05

Tableau 73 Classement décroissant des tâches selon le nombre moyen d'appels à l'onglet Aide

En revanche, les élèves donnent au moins une "réponse inexacte" lors de la réalisation de 15 tâches (sur 25). Le tableau suivant (Tableau 74) donne un classement des tâches en fonction du nombre moyen de réponses inexactes par dyade.

N°tâche	Intitulé de la Tâche	Onglet	Nbre de dyades	Nbre moyen de réponses inexactes par dyade
T20	Expérience 1 (Prévoir)	Expérience 1	13	3,1
T16	Reproduire le même son	Question	11	2,15
T15	Création de l'oscillogramme	Expérience	13	2,05
T12	Expérience (grandeurs caractéristiques du son)	Expérience	9	1,21
T22	Expérience 3	Expérience 3	14	1,1
T4	Première expérience (expérience)	Etude 2	6	0,95
T13	Expérience (grandeurs caractéristiques de la vibration)	Expérience	10	0,84
T3	Première expérience (expérience)	Etude 1	10	0,68
T17	Reproduire le même son	Exp 1	10	0,63
T1	Introduction du TP4	Test 2	4	0,52
T1	Introduction du TP4	Test 1	5	0,47
T7	Deuxième expérience(expérience)	Etude 1	5	0,32
T8	Deuxième expérience(expérience)	Etude 2	3	0,32
T11	Etude des grandeurs caractéristiques à l'oscilloscope	Question	3	0,16
T21	Expérience 2	Expérience 2	1	0,1

Tableau 74 : Classement par ordre décroissant du nombre moyen de réponses inexactes

En comparant le classement des tâches en fonction du nombre moyen d'appels à l'onglet Aide et du nombre moyen de réponses inexactes, nous remarquons que les cinq premières tâches du Tableau 74 se retrouvent aussi dans le Tableau 73. En d'autres termes, les tâches qui posent le plus de difficultés aux élèves conduisent à un appel de l'onglet Aide. Cela montre que lors de la réalisation de ces tâches, les élèves semblent prendre conscience qu'ils ont besoin d'informations. De plus, parmi ces tâches, certaines ont déjà été proposées durant les séquences précédentes :

- La description de l'évolution de la perception sonore selon la position du récepteur par rapport à la source. Cette tâche (T20) est proposée aussi dans le TP2 (T14b2). Nous avions aussi

[47] Cette séquence a pour objectif de donner les moyens aux élèves de réinvestir le savoir présenté lors du TP1.

relevé des difficultés des élèves (voir II.3.2). Cette difficulté de description au niveau du champ expérimental se retrouve aussi au niveau du modèle lors de la tâche T22.

- La mise en relation entre la perception sonore et la vibration. La tâche 12 est proposée aussi lors du TP1. De plus, elle est proposée durant cette même séquence lors des tâches T4, T8.

II.5.3. En résumé

Lors de cette dernière séquence, nous avons à nouveau relevé que selon le type d'écran, c'est-à-dire selon les actions des élèves, la durée de réalisation de la tâche varie. De plus, nous avons identifié que les tâches de type d'écran PI2, qui consistent à réaliser une expérience en actionnant une simulation, conduisent à des durées particulièrement courtes. Ensuite, nous avons spécifié selon la construction de la tâche (représentation, savoir en jeu) que la réalisation successive de telles tâches donne lieu à la fois à une diminution du nombre de réponses inexactes et des durées de réalisation. Toutefois, dans ce même cadre, lorsque la tâche qui suit propose un protocole expérimental différent et/ou l'utilisation de représentations différentes pour un même savoir, les durées de réalisation réaugmentent mais le nombre de réponses inexactes est plus faible. Nous avons alors supposé que les élèves doivent se représenter à nouveau le problème. Enfin, nous nous sommes rendus compte que les tâches qui semblent difficiles aux élèves sont relatives à l'élaboration de la relation entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la vibration et à la description de l'évolution de la perception sonore selon la position du récepteur par rapport à l'émetteur.

III. Conclusion & discussion

A la première question que nous nous sommes posée, "*Y a t-il une relation entre l'activité de l'utilisateur et la variable type d'écran ?*", nous sommes amenés à répondre positivement. En effet, nous avons remarqué que selon les actions[48] que les élèves réalisent durant la tâche, la durée de l'activité fluctue. Ainsi, nous avons relevé que durant les tâches dont les actions à mener sont lire et/ou observer (type d'écran PI3 (ou IP3)) et actionner un simulateur (PI2 ou IP2), les durées de réalisation des tâches sont particulièrement faibles par rapport à celles ou les élèves doivent cocher une case ou taper du texte (type d'écran PI1). Toutefois, dans le cadre de tâches dont le type d'écran est PI1 nous avons relevé que les durées de réalisation peuvent être faibles lorsque :

- la charge informationnelle présente à l'écran est particulièrement réduite (T4 TP1),
- les tâches consistent à réinvestir durant un même TP un même modèle à partir de situations différentes (TP0, TP2, T3 TP1), mais avec les mêmes procédures de résolution et la même représentation du savoir,
- les tâches se succèdent et les représentations à utiliser sont semblables et le savoir en jeu commun (T12 et T13 du TP4),

A la seconde question dont l'objet est de déterminer une relation entre l'appel à des ressources et le nombre de réponses inexactes, nous répondons négativement. D'abord, nous avons noté que les tâches qui reposent sur une situation de la vie quotidienne ou familière aux élèves n'incitent pas les élèves à recueillir des informations dans l'onglet Aide. Cela montre que les élèves préfèrent mobiliser leurs

[48] Nous parlons d'actions puisque le type d'écran est décrit selon les actions à réaliser selon la tâche .

propres connaissances. Ensuite, lors de la première analyse (I), nous avons vu que l'appel à l'onglet Aide s'intègre dans la démarche de résolution du problème : il peut être avant ou après la demande de validation d'une réponse. Enfin, nous avons supposé que la sélection d'une ressource peut être liée à la prise de conscience d'un besoin d'informations, à une difficulté de compréhension de la consigne, à la nature de la tâche, etc.

A la troisième question dont l'intérêt est de savoir si, *via* les données recueillies à partir de la trace, il est possible d'identifier les tâches qui posent des difficultés, il nous semble que la réponse ne peut être catégorique. En effet , les données sur lesquelles nous nous appuyons pour déterminer ces tâches sont peu nombreuses et peuvent être réductrices de l'activité réelle des élèves : la durée, le nombre de réponses inexactes et le nombre d'appels aux ressources. Cependant, cette première étude donne l'occasion de cibler les tâches dont les caractéristiques sont communes aux 20 dyades. Cela permet de montrer au moins que certaines tâches posent des problèmes aux élèves. De plus, au cours des deux études (I, II), nous retrouvons les tâches que nous avons estimées difficiles :

- tâches qui demandent de mettre en œuvre pour la première fois un modèle (T3 et T8 du TP1, T13 du TP3) ,
- tâches dont le savoir en jeu doit être mis en œuvre à partir de systèmes sémiotiques différents (T21 et T22 TP4),
- tâches qui nécessitent de décrire l'évolution de la perception sonore selon la position d'un récepteur (T14b2 du TP2, T20 TP4).

La question suivante "*En quoi les informations sélectionnées dans l'onglet Aide sont liées à la tâche à réaliser ?*" a été développée lors de la première partie de l'analyse (I.2). Nous avons constaté que les informations principalement sélectionnées correspondent au savoir en jeu. De ce fait, le lien entre la tâche et la sélection est le savoir que les élèves sont censés mettre en œuvre pour réaliser la tâche. En revanche, les informations que les élèves sélectionnent le moins se réfèrent principalement aux tâches réalisées auparavant. Cela signifierait que les élèves se seraient appropriés le savoir en question. Enfin, nous avons proposé différentes manières de sélectionner les informations en fonction de la tâche :

- Une sélection par traits de surface en fonction des termes contenus dans la consigne.
- Une sélection pouvant donner lieu à une nouvelle stratégie pour résoudre le problème.

Elles indiquent que d'une part les termes fournis dans la consigne peuvent guider les élèves dans leurs sélections et que d'autre part les informations contenues dans l'onglet Aide peuvent donner lieu à de nouvelles stratégies pour réaliser la tâche.

A la dernière question, à propos de la relation entre la place du modèle dans la séquence et l'activité des élèves, nous avons recueilli les trois types de données suivantes :

- Au cours du TP0, TP1, TP2 nous nous sommes rendus compte que les tâches, dont l'objet est de réinvestir le modèle présenté juste avant, mettent les élèves en situation de difficulté. En effet, nous avons relevé que le nombre de réponses inexactes ainsi que le nombre d'appels à l'onglet Aide sont les plus élevés dans ces cas là.
- Au cours du TP3, nous avons constaté que de ne pas proposer de tâches de réinvestissement du modèle proposé mène les élèves à réaliser difficilement la tâche de fin de séquence (T13).

- Au cours du TP4, dont le savoir en jeu est connu des élèves puisque principalement introduit lors du TP1, il semble que la réalisation des tâches est plus aisée car les durées de réalisation et le nombre de réponses inexactes n'atteignent plus les valeurs obtenues lors du TP1.

Ainsi, il nous semble que la réalisation d'une tâche donnée est différente selon sa position par rapport au modèle. En d'autres termes ce que les élèves feront entre le moment où ils découvriront le modèle et le moment où ils le réinvestiront paraît être crucial.

Nous considérons que cette analyse, réduite aux critères durées, nombre de réponses inexactes, nombre d'appels à l'onglet Aide, sélection des informations dans l'onglet Aide, est limitée. En effet, elle ne permet pas d'expliquer l'origine des difficultés des élèves et des appels à une ressource, les durées particulièrement longues selon la tâche. En fait, cette analyse s'attache à pointer des fonctionnements communs ou distincts des différentes dyades selon la tâche à réaliser et ne peut donner une interprétation précise de leur fonctionnement.

IV. Sélection de quatre dyades

IV.1. Critères de sélection des quatre dyades

La sélection des quatre dyades à partir desquelles nous allons réaliser l'analyse locale repose sur trois points. D'abord, nous souhaitons une hétérogénéité au niveau du nombre de réponses erronées, des navigations effectuées, du temps mis à réaliser certaines tâches. Ensuite, nous devons choisir un même nombre de dyades réalisant l'expérimentation avec ou sans matériel expérimental, provenant de lycées différents afin d'avoir des données qui ne "stigmatisent"pas un type d'élèves selon leur environnement scolaire et social. Enfin, d'un point de vue plus "pratique", nous souhaitons que la verbalisation soit soutenue et que les mêmes élèves soient présents lors des trois séances de TP (environ six semaines).
Les quatre dyades choisies selon ces critères sont les dyades 8, 12, 16 et 20.

IV.2. Résumé de l'activité des quatre dyades durant les trois séances de TP

IV.2.1. Dyades pouvant utiliser du matériel expérimental placé sur la paillasse

IV.2.1.1. Dyade 16

La dyade et son investissement

Cette dyade est composée de deux filles. L'une de ces caractéristiques est de s'investir dans la réalisation de chacune des tâches à condition que les informations proposées ne leur semblent pas déjà connues. Par exemple, lors de l'introduction des grandeurs caractéristiques de la vibration où nous considérons que l'activité observable des élèves est réduite à la lecture et l'observation des animations, l'élève B pose la question suivante :

> T3 TP1 N°TdP 5 B *"En fait c'est quoi là"*
>
> T3 TP1 N°TdP 6 A *"He bein en fait regarde c'est la fréquence de vibration donc c'était avant c'est vas y remet fréquence"*

Ensuite, c'est le seul groupe parmi les quatre qui tentent de réinvestir les savoirs de la séance du TP3 dans le TP4 :

T5 TP4 N°TdP 63 B *"Quand l'amplitude / on augmente l'amplitude / le son est de plus en plus fort / l'amplitude virgule le son est de plus en plus fort"*

T5 TP4 N°TdP *64 A "Pourquoi ?"*

T5 TP4 N°TdP 65 B *"Aucune idée / attend quand on augmente l'amplitude le son est de plus en plus fort / met réponse / ça ne sert à rien si on met quelque chose si on en connaît rien +(...) "*

T5 TP4 N°TdP 68 A *"Oui bon d'accord / c'est ce que l'on a trouvé depuis tout à l'heure"*

T5 TP4 N°TdP 72 A *"Heu l'amplitude / l'amplitude de la tension ça ça fait / ça augmente l'amplitude de la source de son et le son il devient de plus en plus fort / ce n'est pas expliqué pourquoi le son il devient de plus en plus fort"*

T5 TP4 N°TdP 78 B *"Regarde / t'as un tambourin tu tapes un tout petit coup, tu n'entend pas fort / parce que tu tapes un tout petit coup et la membrane elle ne va pas beaucoup bouger"* (réinvestissement du TP¨1)

T5 TP4 N°TdP 79 A *"Mais ce n'est pas en fonction de l'air qui est qui déplacé plus vite / en fonction des particules qui seront"* (réinvestissement du TP3)

La dyade et le matériel

Elles utilisent rarement le matériel expérimental. Cela est surtout dû au manque d'enthousiasme de l'élève B que l'on peut noter à deux reprises dans le TP1 et le TP4 :

T12 TP4 N°TdP 10 A "*Faut la faire l'expérience / on est obligé ou pas ?"*

T12 TP4 N°TdP 11 B "*On ne peut pas la faire à la fin "*

T12 TP4 N°TdP 12 A "*Quoi"*

T12 TP4 N°TdP 13 B "*C'est bon on a compris"*

Les interactions entre les élèves

L'élève A joue une rôle essentiel pour l'élève B. Par un jeu de questions, elle donnera les moyens à l'élève B de mettre en doute ses stratégies (TP1 tâche 1 "Activité expérimentale", tâche 3 "mesure de la fréquence"). De plus, elle reprend régulièrement l'élève B lorsque cette dernière mobilise une connaissance qui lui paraît inexacte. Enfin, c'est l'un des seuls groupes parmi les quatre qui tentent de réinvestir les savoirs de la séance du TP3 dans le TP4 :

Nombres de réponses inexactes et appels de l'onglet Aide

Enfin, elle est l'une des dyades dont le nombre de réponses inexactes et d'appels à l'onglet Aide sont les moins nombreux (Tableau 75). En outre, en ce qui concerne la navigation, nous n'avons pas remarqué de réels problèmes si ce n'est lors de la dernière séance où les tâches sont proposées parfois sur les trois onglets de la demi-page-écran de gauche.

N° TP	Intitulé de la Tâche	Nombre de réponses erronées de la Dyade 16	Nombre de dyades réalisant au moins une réponse erronée	Nombre d'appels à l'aide lors de chacune de ces tâches	Nombre d'appels maximal à l'aide sur l'ensemble des dyades
TP1	La chanteuse (chaîne sonore)	1	13		
TP1	Mesure de la fréquence	2	15	1	14
TP1	Mesure de l'amplitude	0	7	1	7
TP1	Test (1)	1	7	0	4
TP2	réalisation du vide (chaîne sonore)	1	10	0	0
TP3	Questions (propagation du son dans l'air)	2	18	1	8
TP4	Etude des grandeurs caractéristiques à l'oscilloscope	1	3	0	
TP4	Reproduire le même son	1	10	0	1

Tableau 75 : Présentation globale des réponses de la dyade 16

IV.2.1.2. Dyade 12

La dyade et son investissement

Cette dyade est composée de deux garçons. Leur investissement se traduit sous la forme de l'utilisation régulière de l'onglet Aide, de réalisations successives d'une même tâche lorsque l'un des deux élèves semblent ne pas avoir "compris" (T5 TP1) :

> T5 TP1 N° TdP 41 B *"Pas la même fréquence et pas la même amplitude bein je pense vas y mets ce que tu veux toi"*
> T5 TP1 N° TdP 42 A *"Oui c'est ça non"*
> T5 TP1 N° TdP 43 B *"Pourquoi"*
> T5 TP1 N° TdP 44 A *"Je ne sais pas c'est très bien vous pouvez continuer le TP qu'est ce que l'on fait on continue ou on le refait j'aimerai comprendre moi"*
> T5 TP1 N° TdP 45 B "*Oui bien refai le"*

La dyade et le matériel

Ils utilisent le matériel expérimental à plusieurs reprises sur l'ensemble des séquences afin de "vérifier" (terme qu'ils utilisent) ce qu'ils observent à partir de la vidéo ou de la simulation :

> T12 TP4 N°TdP 39 B *"Attends l'amplitude c'est / Je ne me rappelle plus / ah" (utilisation matériel)*
> T12 TP4 N°TdP 40 A *"C'est ça l'amplitude* (il regarde aussi l'oscillo) */ plus il y a d'amplitude / donc celui là il est plus faible / c'est sur / mais il est // il est plus aigu / ah voilà ça y est j'ai compris / c'est bon bon vas y reéteinds le j'ai compris"*

Nombres de réponses inexactes et appels de l'onglet Aide

Elle réalise régulièrement des réponses erronées lors des trois séquences TP1, TP3 et TP4 qui sont dans 50% des cas accompagnées de l'appel à l'onglet Aide[49].

N° TP	Intitulé de la Tâche	Nombre de réponses erronées de la Dyade 12	Nombre de dyades réalisant au moins une réponse erronée	Nombre d'appels à l'aide pour la dyade 12	Nombre de dyades faisant appels à l'aide
TP1	Mesure de la fréquence	3	15	1	14
TP1	Mesure de l'amplitude	2	9	1	7
TP1	Test (1)	1	7	1	4
TP1	Test Lien vibration perception	1	18	1	11
TP3	Expérience des deux tambourins (chaîne sonore)	1	13		
TP3	Questions (propagation du son dans l'air)	4	18	1	8
TP4	Première expérience (mesure1)	2	10		
TP4	Première expérience (mexure2)	2	6		
TP4	Expérience (grandeurs caractéristiques du son)	1	9	1	4
TP4	Expérience (grandeurs caractéristiques de la vibration)	1	10		0
TP4	Création de l'oscillogramme	5	13		1
TP4	Reproduire le même son (Question)	1	11		1
TP4	Expérience 1	1	13		3
TP4	Expérience 2	2	1		

Tableau 76 : Présentation globale des réponses de la dyade 12

Nous avons noté une certaine désorientation (du pont de vue de la navigation) des élèves lors de "l'activité expérimentale" du TP1. En fait, suite à la sélection de l'une des expériences, ils réalisent uniquement l'étape "Observation", puis s'en retournent à la page-écran de choix des expériences.

[49] Nous ne nous intéressons pas ici à la situation de cet appel avant ou après la demande de validation de la réponse.

T1 TP1 N°TdP 53 B *"Eh bein c'était quoi et bein met suivant"*
T1 TP1 N°TdP 54 A *"C'est plutôt comme ça observer et décrire le comportement de la source de son"*
T1 TP1 N°TdP 55 B *"Le comportement de la source de son " (reviennent à page d'introduction)*
T1 TP1 N°TdP *56 A "Hé bein c'est bon alors déterminer la source de son on l'a vu observer et décrire le comportement de la source"*
T1 TP1 N°TdP 58 A *"On marque où monsieur que ça vibre par exemple"*
T1 TP1 N°TdP 59 I *"Comment"*
T1 TP1 N°TdP 60 A *"Parce que là il nous dit observer et décrire le comportement de la source de son"*

IV.2.2. Dyade utilisant uniquement l'hypermédia

IV.2.2.1. Dyade 20

La dyade et son investissement

Cette dyade est composée de deux filles. Leur engagement dans la réalisation de certaines tâches est remarquable : elles passent plus de vingt minutes dans la tâche 3 du TP1. Cependant, lors la réalisation de certaines tâches du TP3 (T6 ou T13) elles explicitent peu leurs raisonnements et c'est l'une des seules dyades qui ne donne pas de réponses erronées à ces deux tâches et qui possèdent l'un des temps les plus courts pour réaliser ce TP.

Nombres de réponses inexactes et appels de l'onglet Aide

Nous pouvons noter un faible nombre d'appels à l'onglet Aide, même lorsque cette dyade donne une réponse erronée ce qui correspond à un comportement opposé à la dyade 12.

N°TP	Intitulé de la Tâche	Nombre de réponse erronée de la Dyade 20	Nombre de dyades réalisant au moins une réponse erronée	Nombre d'appels à l'aide pour la dyade 20	Nombre de dyades faisant appel à l'aide
TP1	Mesure de la fréquence	14	15	7	14
TP1	Mesure de l'amplitude	1	9	1	7
TP1	Test (1)	1	7		4
TP1	Test Lien vibration perception	1	18		11
TP2	Chaîne sonore (réalisation du vide)	2	10		
TP3	Expérience des deux tambourins (chaîne sonore)	1	13		
TP4	Première expérience (Mesure 1)	1	10		
TP4	Expérience (grandeurs caractéristiques de la vibration)	1	10		
TP4	Création de l'oscillogramme	4	13		
TP4	Expérience 1	1	13		3
TP4	Expérience 3	1	14	1	3

Tableau 77 : Présentation globale des réponses de la dyade 20

IV.2.2.2. Dyade 8 Lycée Branly

La dyade et son investissement

Cette dyade est composée de deux garçons. L'une des particularités de cette dyade est qu'elle réalise les tâches avec des durées soit très faibles (T4, T5 du TP1) soit très importantes (T8 TP1, T13 TP3) par rapport aux trois autres dyades. Cependant, lors du TP4, dont l'objectif est d'amener les élèves à réinvestir à partir de nouvelles représentations, le savoir du TP1 ne semble pas leurs poser de réelles "difficultés".

Nombres de réponses inexactes et appels de l'onglet Aide

Nous remarquons que cette dyade produit peu de réponses inexactes (sauf pour la tâche 8) sur l'ensemble des tâches et d'appels à l'onglet Aide.

N°TP	Intitulé de la Tâche	Nombre de réponses erronées de la dyade 8	Nombre de dyades réalisant au moins une réponse erronée	Nombre d'appels à l'aide	Nombre de dyades faisant appel à l'aide
TP1	La chanteuse (chaîne sonore)	1	13		
TP1	Test Lien vibration perception	28	18	2	11
TP2	Choc intersidéral (Prévoir)	1	4	1	3
TP3	Expérience des deux tambourins (chaîne sonore)	1	13		
TP3	Interprétation microscopique (question)	1	10	1	4
TP3	Expérience de la bougie (observation)	2	8		
TP3	Questions (propagation du son dans l'air)	3	18	1	8
TP4	Première expérience (Mesure1)	1	10		
TP4	Etude des grandeurs caractéristiques à l'oscilloscope (Question)	1	3		
TP4	Expérience 1	2	13	1	3
TP4	Expérience 3	0	14	1	3

Tableau 78 : Présentation globale des réponses de la dyade 8

Chapitre 9
Analyse locale des données recueillies

Dans ce chapitre, il s'agit d'étudier l'influence de la structuration des contenus des tâches selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques sur la construction du savoir par les élèves. Cette analyse est réalisée à partir des codages successifs présentés dans le chapitre précédent. Les résultats proposés tiendront compte à la fois de la conception de l'hypermédia et de l'activité observable des élèves.

I. Y-a-t-il des relations entre les niveaux de savoir des contenus des tâches et ceux effectivement mis en œuvre par les élèves?

L'objet de cette question est de répondre à l'un de nos objectifs de recherche qui est d'identifier les connaissances mobilisées par les élèves et la manière dont ils les font fonctionner compte tenu des caractéristiques des tâches.

La méthodologie d'analyse (chapitre 6) amène, suite à la catégorisation des connaissances verbalisées des élèves selon les niveaux de savoir[50], à comparer l'activité effective des élèves à celle attendue.

Cette comparaison rend alors possible de découvrir les écarts entre ce qui a été prévu et ce qui est réalisé (Crozier et Friedberg, 1977).

Notre hypothèse de structuration des contenus selon les niveaux de savoir en jeu dans la tâche suppose que les niveaux de savoir présents dans la page-écran, ainsi que ceux relatifs au but de la question sont censés favoriser leur mise en œuvre et leur mise en relation. Cette hypothèse est liée à celle qui considère que la construction, par l'élève, des concepts de physique relève de la mise en œuvre de différents niveaux de savoir et de leurs relations, les mises en relations constituant l'une des difficultés des élèves.

En référence à ces deux hypothèses, nous étudions les points communs entre l'activité effective des élèves et celle prévue et les écarts :

- Les points communs : l'activité des élèves correspond à l'analyse *a priori*

Pour avoir un point de vue général à propos de l'influence de la structuration des contenus des tâches selon les niveaux de savoir, nous déterminons à la fois le nombre de tâches durant lesquelles les

[50] Nous rappelons que ces niveaux de savoir sont les descripteurs à la fois de l'activité de modélisation des élèves et des contenus présentés dans chacune des pages-écrans de l'hypermédia.

dyades mobilisent explicitement au moins une connaissance correspondant à un niveau de savoir de la page-écran et le nombre de tâches donnant lieu aux relations attendues (Tableau 79 et Tableau 80). Ce résultat (quantitatif) donne une première réponse à nos hypothèses de conception et d'apprentissage. Pour affiner ce résultat, nous allons étudier comment les élèves construisent du sens, en fonction des caractéristiques des tâches dans les deux cas suivants (I.1.1 et I.1.2) :

- les tâches qui donnent lieu à la mise en œuvre des niveaux de savoir attendus mais non présents dans la page-écran. Cette analyse rend compte de l'accommodation des systèmes explicatifs des élèves selon les contenus des tâches (voir l'accommodation des structures cognitives des élèves Chapitre 2).
- les tâches qui donnent lieu aux relations attendues mais dont les connaissances mobilisées lors de la construction de ces relations ne correspondent pas aux connaissances attendues, c'est-à-dire, ne sont pas appropriées du point de vue du savoir en jeu. Cette analyse donne l'occasion d'apprécier l'évolution des connaissances mises en œuvre par les élèves au cours de la réalisation des différentes tâches.

• Les écarts : l'activité des élèves ne correspond pas à l'analyse *a priori*

La comparaison entre l'activité effective des élèves et celle prévue conduit à découvrir principalement deux types d'écarts qui présentent les spécificités suivantes :

- certaines tâches amènent ni à la mise en œuvre de niveaux de savoir, ni aux relations attendues. Ce premier écart à l'hypothèse liée à la structuration des contenus des tâches selon niveaux de savoir nous amènera à caractériser ces tâches et à donner des éléments d'explications relatifs au fonctionnement des élèves.
- diverses tâches donnent lieu à la mise en œuvre de niveaux de savoir et de relations non attendus. Cette découverte est intéressante car elle indique que les élèves sélectionnent des éléments constitutifs ou non de la tâche (onglet aide, matériel, simulation, …) en cours et construisent du sens, même s'il n'est pas attendu.

Les deux tableaux suivants présentent le nombre de tâches associées aux points communs et aux écarts décrits ci-dessus. Cette estimation est réalisée sur les 79 tâches pour les quatre dyades (D16, D12, D20, D8).

	Points communs avec l'analyse *a priori*					**Ecarts avec l'analyse *a priori***								
	Nombre de tâches durant lesquelles les dyades (D) mobilisent explicitement au moins une connaissance qui correspond à un niveau de savoir de la page-écran					Nombre de tâches durant lesquelles les dyades (D) ne mobilisent pas explicitement de connaissance qui correspond à un niveau de savoir de la page-écran					Nombre de tâches durant lesquelles les dyades (D) mobilisent explicitement des connaissances qui ne correspondent pas aux niveaux de savoir de la page-écran			
N° dyade	D16	D12	D20	D8	*Moyenne*	D16	D12	D20	D8	*Moyenne*	D16	D12	D20	D8
TP0	4/5	2/3	4/5	4/5	*78%*	1/5	1/3	1/5	1/5	*22%*	0	0	0	0
TP1	8/8	7/8	7/8	7/8	*91%*	0	1/8	1/8	1/8	*9%*	3	3	3	5
TP2	10/17	14/17	11/13	11/17	*70%*	7/17	3/17	6/13	6/17	*30%*	3	6	2	3
TP3	10/14	11/14	9/14	11/14	*73%*	4/14	3/14	5/14	3/14	*27%*	1	1	1	2
TP4	22/25	21/23	23/25	22/25	*90%*	3/25	2/23	2/25	3/25	*10%*	1	1	0	0

Tableau 79 : Détermination selon le TP et la dyade (D) du nombre de tâches durant lesquelles les connaissances mobilisées explicitement correspondent ou non aux niveaux de savoir de la page-écran

La dyade 12 n'a réalisé que 3 tâches sur les 5 lors du TP0 et 23 tâches sur les 25 lors du TP4. La dyade 20 a réalisé que 13 tâches sur les 14 lors du TP2.

	Points communs avec l'analyse *a priori*					**Ecarts avec l'analyse *a priori***								
	Nombre de tâches donnant lieu aux relations attendues					Nombre de tâches ne donnant lieu à aucune relation					Nombre de tâches donnant lieu à des relations non attendues			
N° dyade	D16	D12	D20	D8	*Moyenne*	D16	D12	D20	D8	*Moyenne*	D16	D12	D20	D8
TP0	4/4	2/2	4/4	4/4	*100%*	0	0	0	0		0	0	0	0
TP1	5/6	5/6	5/6	3/6	*75%*	1/6	1/6	1/6	3/6	*25%*	4	4	2	3
TP2	5/7	7/7	3/4	6/7	*84%*	2/7	0	1/4	1/7	*16%*	0	2	0	0
TP3	4/7	3/7	4/7	2/7	*46%*	3/7	4/7	3/7	5/7	*54%*	3	1	1	1
TP4	11/17	10/15	8/17	8/17	*56%*	6/17	5/15	9/17	9/17	*44%*	5	3	4	1

Tableau 80 : Description des relations mises en œuvre explicitement par les quatre dyades selon l'analyse *a priori*

Les résultats donnés dans ces deux tableaux confortent nettement la première partie de l'hypothèse 2 (la conception de l'hypermédia) : les niveaux de savoir contenus dans la page-écran ainsi que ceux relatifs au but de la question sont censés favoriser la mise en œuvre des niveaux attendus. En effet, nous observons à partir du Tableau 79 que les élèves mobilisent pour au moins 80% des tâches des connaissances qui correspondent à des niveaux de savoir de la tâche proposée. Ensuite, nous notons que la seconde partie de l'hypothèse est vérifiée uniquement pour les TP0, TP1, TP2 : les niveaux de savoir contenus dans la page-écran ainsi que ceux relatifs au but de la question sont censés favoriser leurs mises en relation. En effet, lors du TP3, même si les dyades mettent en œuvre au moins l'un des niveaux contenus dans la page-écran, nous constatons que le nombre de tâches donnant lieu aux relations attendues est particulièrement faible et homogène pour les quatre dyades. L'une des explications tient compte de l'analyse globale à partir de laquelle nous avions identifié une relation entre la manière dont le modèle est introduit durant le TP et l'activité des élèves. Lors des trois premiers TP, le modèle que les élèves sont censés réinvestir durant la séance est introduit au cours d'une tâche qui précède celle qui conduit à son utilisation ; lors du TP3, le modèle est présenté suite à une première tâche de découverte (du modèle) et aucune des tâches qui suivent ne demande explicitement son réinvestissement. Enfin, lors du TP4, le savoir en jeu est connu des élèves puisque principalement introduit lors du TP1, il est alors possible que les élèves mettent en œuvre le modèle en jeu sans passer par l'articulation des niveaux de savoir attendus. Cela expliquerait la valeur moyenne obtenue.

Nous allons maintenant étudier en détail les points communs et les écarts entre l'activité effective des élèves et celle prévue.

I.1. Concordance entre l'activité effective des élèves et l'analyse a priori

I.1.1. Tâches donnant lieu à la mise en œuvre de niveaux de savoir attendus mais non présents dans la page-écran

Cette étude repose sur l'une des hypothèses de conception de l'hypermédia qui considère que la présence des niveaux de savoir en jeu dans la page-écran, ainsi que ceux relatifs au but de la question, favorisent leur mise en œuvre lors de la réalisation de la tâche. L'objectif de ce questionnement est d'identifier les caractéristiques des tâches qui favorisent la mise en œuvre par les élèves de niveaux de savoir attendus mais non présent dans la page-écran.

I.1.1.1. Présentation des tâches

Les tâches correspondantes (5 sur les 79) sont présentées dans le Tableau 81. Elles sont décrites en fonction de leur objectif, des niveaux de savoir (NS) présents dans la page-écran et des niveaux de

savoir attendus (ceux que les élèves doivent mettre en œuvre). Nous précisons aussi le nombre de dyades qui mettent en œuvre les niveaux de savoir attendus et non présents dans la page-écran.

N° TP	N° tâche	Intitulé des tâches	Nbre et N° de D	Objectif de la tâche	NS but	NS tâche	NS attendus
TP1	T1d	Activité expérimentale Conclusion	4	Distinguer le phénomène en jeu lors de l'émission d'un son	TM	CE	TM
TP2	T5	Prévoir le résultat de l'expérience (cloche à vide)	2 (D12-D20)	Confirmer ou infirmer une prédiction à partir d'une expérience	TM	CE	TM
	T9	Prévoir le résultat de l'expérience (dihydrogène)	4		TM	CE	TM
	T14c	Prévoir collision intersidérale	3 (D16-D12-D8)	Réinvestir un modèle pour interpréter une situation de la vie quotidienne	TM	CE	TM
	T14d	Prévoir collision sous l'eau	2 (D16-D12)		TM	CE	TM

Tableau 81 : Nombre de dyades mettant en jeu les niveaux de savoir attendus et non présents dans la page-écran

Légende
TM : théorie-modèle
CE : champ expérimental
NS : niveaux de savoir

L'analyse comparée de ces tâches conduit à relever les caractéristiques suivantes. D'abord, les contenus qu'elles proposent se réfèrent au champ expérimental. Ensuite, ces tâches ont pour principal objectif d'aider les élèves à réaliser des mises en relation entre la théorie et les objets et événements observables en prédisant et en interprétant des situations expérimentales ou de la vie quotidienne (Chapitre 4 § I.3.1.1 L'importance des activités expérimentales dans le processus de modélisation). Enfin, la plupart de ces tâches s'inscrivent dans une mise en scène créée à cet effet. La mise en scène consiste en un scénario constitué de diverses tâches dont l'objectif est d'amener progressivement les élèves à donner sens à un même savoir en jeu. Le Tableau 82 décrit les mises en scène rencontrées dans les TP1 et TP2.

Mise en scène lors de la tâche 1 du TP1	Mise en scène lors des tâches T5 à T8 du TP2
T1a Observation de l'expérience T1b Détermination de la source de son T1c Description de l'expérience T1d Conclusion	T4 Présentation du modèle T5 Prédiction T6 Réalisation de l'expérience T7 Exploitation de l'expérience (chaîne sonore) T8 En résumé
Réalisation de diverses expériences à partir de la même mise en scène	Réalisation d'une nouvelle expérience à partir de la même mise en scène entre les tâches T9 et T12

Tableau 82 : Présentation des mises en scènes dans le cadre du TP1, TP2

Dans le cas du TP1, les élèves réalisent d'abord diverses expériences (au maximum sept) à partir de mêmes questions posées dans les tâches T1a, T1b et T1c. Ensuite, ils doivent conclure en élaborant une réponse qui repose sur celles proposées précédemment *"A ce stade êtes-vous en mesure d'indiquer le comportement commun à l'ensemble des sources de son étudiées"*. Nous supposons que la réalisation successive des diverses expériences aident les élèves à identifier le phénomène associé à la perception sonore et à généraliser leurs différentes réponses.

Lors du TP2, la mise en scène est différente. Suite à l'introduction du modèle[51], enjeu de la séquence du TP, à partir d'une situation connue (l'indien voir TP0), les élèves répondent à des questions

[51] Il s'agit du modèle de la chaîne sonore mettant en évidence la nécessité d'un milieu matériel pour percevoir un son.

différentes à partir d'une même expérience (la cloche à vide). Ils vont successivement prévoir le résultat de l'expérience, l'observer, puis l'expliquer à partir d'un modèle présenté lors du TP0 (la chaîne sonore). Nous faisons l'hypothèse qu'à la fois la prédiction et l'explication de l'expérience à partir d'un modèle familier donne la possibilité aux élèves de prendre conscience des informations qu'ils ont sélectionnées lors de la présentation du modèle. Ils peuvent ainsi se rendre compte des informations qui sont nécessaires pour interpréter l'expérience proposée. Regardons maintenant l'activité des élèves lors de la réalisation de ces deux mises en scènes.

Dans le cadre du TP1 "Activité expérimentale", suite à la réalisation d'aux moins trois expériences à partir de la mise en scène présentée dans le Tableau 82 ("Observation de l'expérience", "Détermination de la source de son" et "Description de l'expérience"), les élèves vont conclure. Ils doivent alors indiquer le comportement commun à l'ensemble des sources de son. Lors de la rédaction de leur réponse, les quatre dyades mettent en œuvre le niveau de la théorie-modèle.
Pour les trois dyades (8, 12, 20), ce niveau correspond à la mise en relation du son émis avec le mouvement de la source.
Dyade 12

N° TdP 158 B *"c'est que le son est émis par des vibrations émis prend un t non je ne sais pas"*

Dyade 8

N° TdP 151 A *"L'ensemble des sources de son vibrent"*
152 B *"Vibrent et font du bruit dans l'air et font"*
153 A *"Provoquent / oui provoquent"*
154 B *"Oui"*
155 A *"Provoquent un son dans l'air qui se propage dans l'air /(...)"*

Dyade 20

N° TdP 150 A *"Eh bein vibrent toutes c'est la vibration qui fait le son"*

Dans le cas de la dyade 16, le niveau de la théorie-modèle est mis en œuvre par l'élève A pour expliquer à l'élève B que les sources sont des objets tels que le diapason (TdP 201) et non le son.

N° TdP 195 A *"Alors toutes les sources de son"*
196 B *"Sont crées à partir d'une vibration"*
197 A *"Heu"*
198 B *"Sont produites"*
199 A *"Non toutes les sources de son heu"*
200 B "Toutes les sources de son sont produites par"
201 A *"Bein non parce que les sources de son c'est ça le diapason la guitare"*
202 B *"Bein toutes les sources de son produisent* (un son)*"*
203 A *"En faisant vibrer l'air / ça va tenir"*

Déjà au cours de la réalisation des différentes expériences, certaines dyades élaborent la relation entre la perception sonore et le mouvement de la source de son. Nous présentons succinctement, par exemple, l'évolution des différentes réponses données par la dyade 12 lors de la tâche "Description". Nous supposons que cette dyade a construit la relation entre la perception sonore et le mouvement de la source à partir de l'expérience de la guitare car elle réalise régulièrement cette relation.
Expérience du diapason. La dyade met en œuvre une connaissance non attendue : elle considère que le son est la cause de la vibration et non l'inverse.

N° TdP 67 A *"Je mets le son fait vibrer la membrane c'est bon ça"*

68 B *"Ouais ça fait vibrer la la ouais c'est bon attends vibrer t'as fait t'as fait une petite faute là"*

69 A *"Ouais fait vibrer"*

Expérience du tambourin. La dyade réalise pour la première fois la relation entre le son et le mouvement de la source.

N° TdP 94 B *"A faire vibrer + (...)"*(la baguette sert à faire vibrer)

95 A *"La membrane"*

96 B *"La membrane du tambourin pour que ça émette un son"*

Expérience de la guitare. La dyade considère à nouveau que la source de son vibre et émet un son. Lors de l'expérience de la lame de scie, elle formule le même type de réponse.

N° TdP 131A *"Bein tu marques la corde vibre / tu marques la corde vibre ce qui ce qui fait des ce qui émet un son* (B tape)*"*

132 B *"Et émet un son"*

133 A *"Ouais et émet un son / ouais c'est bon"*

Expérience de la lame de scie

N° TdP 143 A *"(...) / décrire le comportement tu mets quand la lame vibre /"*

144 B *"Je mets ça"*

145 A *"Ouais quand la lame vibre elle émet un son / d'accord on va faire la conclusion"*

La réalisation successive des expériences, à partir d'une même mise en scène, semble favoriser la reconnaissance du phénomène[52] en jeu : la vibration de la source de son lors de l'émission d'un son. Le fonctionnement des élèves observés lors de la "Conclusion" ne semble pas être dû uniquement à la question posée mais à l'activité réalisée à partir de la mise en scène proposée lors des différentes expériences.

Dans le cas du TP2, il semble que nous retrouvons un résultat similaire. L'objectif de cette séquence est d'amener les élèves à prendre consciences que la présence d'un milieu de propagation est l'une des conditions pour qu'un son existe. Le modèle est présenté à partir d'une situation de la vie quotidienne déjà connue des élèves "L'indien"[53] (voir TP0) modélisée à partir de la chaîne sonore. Ce modèle est introduit avant les deux expériences, "La cloche à vide" et "Rajoutons du dihydrogène". Nous rappelons que ces deux expériences sont présentées à partir d'une même mise en scène (Tableau 82) : "Prévoir", "Réaliser l'expérience", "Exploiter l'expérience" (utilisation de la chaîne sonore) et "En résumé". Lors de la tâche de prévision de la première expérience "la cloche à vide", uniquement deux dyades (12 et 20) mettent en œuvre explicitement le niveau du modèle.

La dyade 12 précise qu'il n'y a plus de milieu de propagation :

T5 N° TdP 3 B *"Puisqu'on enlève l'air on n'entend rien"*

4 A "ouais"

5 B "Il y a plus de milieu de propagation"

[52] L'invariant parmi l'ensemble des expériences observées

[53] La situation présente une voie de chemin de fer à laquelle nous avons retiré une partie du rail. Cela doit permettre aux élèves de prendre conscience que "l'absence du milieu de propagation" mène à ne plus percevoir le son émis par le train.

La dyade 20 déclare que les vibrations (de la source) ne se transmettent plus.

T5 N° TdP 1 A *"Un réveil est dans une cloche à vide et sonne / (?) / et bein on ne l'entendra pas parce qu'il n'y aura pas d'air pour transmettre les vibrations"*

3 A "Pas de son"

4 B "Pas de propagation / non non non c'est page suivante"

Lors de la prédiction dans l'expérience suivante "Rajoutons du dihydrogène" et des deux exercices d'applications (T14c et T14d), les dyades réinvestissent le modèle alors que les questionnements se situent au niveau du champ expérimental. Nous donnons un exemple à partir de la tâche T14d "collision sous l'eau": *"Imaginons que vous soyez dans les profondeurs de l'océan Atlantique. Tout à coup, un sous-marin heurte un rocher. Entendez-vous le bruit du choc ?"*.

Dyade 16. Elle se réfère au modèle de la source de son : une source de son vibre et ses vibrations se propagent dans le milieu de propagation et à son expérience propre.

N° TdP 20 A *"Pareil à quoi que il y a peut être des vibrations sous l'eau oui parce que tu t'entends quand tu cries sous l'eau"*

21 B *"Oui c'est vrai"*

Dyade 12. Elle se rapporte au milieu de propagation en tant que condition pour qu'un son existe.

N° TdP 47 A *"Bein si parce que tu entends sous l'eau"*

48 B *"Bein oui"*

49 A *"Parce qu'il y a les vibrations sous l'eau"*

50 B *"Bein oui c'est un milieu de propagation il y a"*

Nous faisons l'hypothèse que la réalisation successive des deux expériences "cloche à vide" et "rajoutons du dihydrogène" favorise la construction du modèle en jeu et son réinvestissement lors des exercices d'applications.

I.1.1.2. En résumé

Nous avons montré que les élèves mettent en œuvre des niveaux de savoir non contenus dans la page-écran dans le cas où les tâches :

- se réfèrent au champ expérimental,
- sont insérées dans une mise en scène. La position de la tâche dans le scénario est essentielle pour aider les élèves par exemple à estimer le phénomène en jeu (TP1), à mettre en œuvre leur modèle et à l'adapter par rapport à celui qui est en jeu (TP2),
- demandent de réinvestir un même savoir depuis le début de la séance (TP2).

Il semble que cette mise en œuvre ne résulte pas uniquement du but de la question posée et des niveaux de savoir présents dans la page-écran (hypothèse d'apprentissage), mais aussi de la mise en scène des tâches dans laquelle les élèves vont évoluer.

I.1.2. Tâches conduisant à la mobilisation de connaissances non attendues

L'analyse des connaissances verbalisées des élèves selon les niveaux de savoir a permis d'identifier diverses *relations attendues* construites par les élèves durant la réalisation des tâches. Nous rappelons

que les relations sont "attendues" car elles coïncident avec celles qui sont prévues dans l'analyse a priori et qu'elles constituent un indice de l'appropriation du savoir par les élèves.
Dans cette section, nous étudions les connaissances mises en œuvre par les élèves lors de l'élaboration de ces relations attendues. Nous allons spécifier l'écart entre les connaissances appropriées du point de vue du savoir en jeu (c'est-à-dire les connaissances attendues) et celles que les élèves mobilisent lors de l'élaboration de ces relations. Nous identifions donc les relations entre les niveaux de savoir qui ne correspondent pas à une *connaissance attendue*. Les connaissances non attendues peuvent être représentatives des difficultés des élèves à s'approprier le savoir en jeu.
Cette analyse a aussi permis de caractériser les tâches durant lesquelles nous avons relevé ces connaissances non attendues.
Nous présentons d'abord une analyse des relations mises en œuvre par les quatre dyades à partir des tâches du TP0, puis nous décrivons les caractéristiques des tâches relatives aux cinq TP qui conduisent à la mobilisation de connaissances non attendues.

I.1.2.1. Exemple d'analyse à partir du TP0 "Introduction de la chaîne sonore"

Cette séquence comporte cinq pages-écrans. La première (T1), qui introduit le modèle de la chaîne sonore, est suivie de quatre pages contenant chacune un exercice (de T2 à T5). La caractéristique commune des quatre tâches à partir desquelles nous identifions des connaissances non attendues est la suivante : elles sont précédées d'une tâche introductrice du modèle de la chaîne sonore (T1) et sont construites de la même manière. Le tableau suivant (Tableau 83) donne les différentes tâches au cours desquelles les élèves ont mis en œuvre une ou plusieurs connaissances non attendues.

Dyade, N° Tâche et Intitulée	Niveaux de savoir de la tâche	Nombre de relation entre les niveaux attendus (analyse *a priori*)	Nombre de relations ne correspondant pas à une *connaissance attendue*
Dyade 16			
T2 La chanteuse	TM CE	7	3
Dyade 12			
T4 l'indien	TM CE	5	2
Dyade 20			
T4 l'indien	TM CE	5	3
Dyade 8			
T2 La chanteuse	TM CE	8	4
T3 le public	TM CE	4	1
T4 l'indien	TM CE	4	1

Tableau 83 : Nombre de relation entre les niveaux attendus et ne correspondant pas à une connaissance attendue

Niveaux de savoir
TM : théorie-modèle CE : champ expérimental
OES : objets événements simulés Re : relation

D'après le Tableau 83, nous constatons que les élèves mobilisent des connaissances non attendues à différents moments :

- Lors de la réalisation du premier exercice d'application.

Les deux dyades (16 et 8) mobilisent des connaissances non attendues dès le premier exercice (T2). Elles apparient le milieu de propagation à un élément visible de la situation (la salle) au lieu de l'air (élément invisible). Nous donnons ici un exemple à partir de la dyade 16.

T2 TP0 N° TdP 60 A *"Ensuite heu / ah il faut faire chaîne sonore / ouais la chanteuse ensuite moi je dirai air non ou salle"*

61 B *"Air ou salle"*

62 A *"Je ne sais pas"*

63 B *"Moi sur mon truc* (feuille de préparation) *j'avais mis salle"*

- Durant les trois exercices d'application et dans des "proportions" qui diminuent.

Les connaissances non attendues mobilisées par la dyade 8 relèvent d'une même difficulté : celle de déterminer le milieu de propagation. En fait, il semble que cela soit uniquement l'élève A qui ne parvienne pas à donner sens au milieu de propagation.

T3 TP0 N° TdP 45 A *"Chapeau on va mettre"*

46 B *"Non c'est l'air"*

47 A "Oui allez vas y / vas-y / c'est pas l'air / mais bon"

C'est seulement lors de l'exercice T4, que l'élève A prendra conscience du rôle joué par le milieu de propagation.

T4 TP0 N° TdP 55 A *"Train / ah non pas sur / c'est peut être le rail / parce que c'est le rail qui émet"*

56 B *"Le rail c'est le moyen"*

57 A *"Ah oui c'est le moyen / donc rail l'émetteur / oui train émetteur / rail milieu / et récepteur c'est l'indien"*

- Lors du troisième exercice (T4).

Les dyades 12 et 20 mobilisent des connaissances non attendues en appariant la source de son au milieu de propagation "le rail". Nous donnons un exemple (dyade 20) :

T3 TP0 N° TdP 92 B *"Ensuite planches / non rail"* (à propos de l'émetteur)

93 A *"Oui mais c'est le train qui"*

94 B *"Oui mais c'est par les rails qu'il entend"*

95 A *"Oui mais ça fait train rail / et et l'indien"*

En résumé

Nous retrouvons l'un des résultats de l'analyse globale : la mise en œuvre successive d'un même modèle dans diverses situations semble favoriser l'évolution des élèves face à des difficultés (le nombre de relations correspondant à des connaissances non attendues diminue ou s'estompe). Ainsi, donner l'occasion aux élèves de réinvestir à plusieurs reprises un même modèle participe à l'appropriation du modèle en jeu. De plus, l'absence de réponse inexacte (comme par exemple la dyade 8 lors des tâches T3 et T4) n'indique pas que les élèves mobilisent des connaissances non attendues, c'est-à-dire, qu'ils ont des difficultés à réaliser la tâche. Ce dernier point montre d'une part la complémentarité entre les deux analyses, globales et locales. D'autre part, cela souligne que le fait de donner une réponse "exacte" n'est pas totalement significatif de l'appropriation du savoir en jeu.

Dans la suite de cette section nous présentons une synthèse des analyses réalisées lors des quatre autres séquences de TP (voir Annexe F).

I.1.2.2. Caractéristiques des tâches qui conduisent à des connaissances non attendues

Dans la suite, nous présentons les principales difficultés des élèves en distinguant les caractéristiques principales de ces tâches.

Tâches précédées de celle introduisant le modèle

Deux tâches relèvent de cette caractéristique : les tâches T3, "Mesure de la fréquence" et T8 "Test 2 relation entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la vibration" du TP1. Elles donnent lieu à la mise en œuvre de connaissances non attendues pour au moins la moitié des dyades et

parfois dans des proportions particulièrement élevées. Par exemple, la dyades 20 lors de la tâche T3 et la dyade 8 lors de la tâche T8 mobilisent respectivement 16 et 10 fois des connaissances non attendues.

De plus, au cours de la réalisation de ces tâches, les élèves se réfèrent à plusieurs reprises à l'onglet Aide et effectuent des demandes de validation répétées de leurs réponses. Nous faisons l'hypothèse que de telles actions sont significatives des difficultés des élèves à prendre conscience de l'écart entre leurs connaissances et celles qui sont attendues : cette prise de conscience n'est pas "immédiate"[54] et nécessite d'élaborer, par exemple, différentes solutions à partir d'informations recueillies dans l'onglet Aide.

Tâches se rapportant à un modèle introduit dans une séquence précédente

Différentes tâches demandent aux élèves de réinvestir lors d'une nouvelle séquence de TP, un modèle déjà introduit que nous considérons, de ce fait, *"connu"*. Nous avons relevé trois modèles "connus" : le modèle de la chaîne sonore (introduit lors du TP0), le modèle vibratoire de la source de son (introduit lors du TP1) et le modèle interprétatif de la perception sonore en fonction des grandeurs caractéristiques de la vibration (introduit lors du TP1). Le réinvestissement de ces modèles conduit les élèves à mobiliser des connaissances non attendues. Il est donc essentiel de proposer de nouvelles situations à partir desquelles les élèves s'assurent de la reproductibilité de leurs connaissances (Chapitre 3). Par exemple, au cours de la tâche T1b du TP1 "détermination de la source de son", la dyade 16 associe la source à l'objet qui provoque le son tel que la main, la baguette alors que cette difficulté n'est pas apparue lors de lors de la réalisation des quatre exercices du TP0 :

> T1 TP1 N° TdP 33 B *"Déterminer directement la source de son en cliquant sur l'image / êtes vous sûr de votre réponse"*
>
> 34 A *"Non c'est la baguette"*
>
> 35 B "Ah bein non bein oui je n'avais pas compris que c'était ça bon / non la baguette frappe la peau du tambourin c'est la peau qui est la source du son (lecture du feed-back)"

Nous avons supposé que le réinvestissement d'un modèle connu dans un contexte différent favorise l'émergence de nouvelles difficultés des élèves ; ces difficultés pouvant s'estomper par la suite. Nous considérons alors que le contexte de la tâche constitue un élément perturbateur (ce qui peut être positif du point de vue de l'apprentissage) des connaissances des élèves et est lié :

- au dispositif expérimental proposé *via* une vidéo, une image, une animation,

Par exemple, lors de réalisation de la tâche 12 du TP3, qui consiste à interpréter l'expérience de la bougie[55], la dyade 16 considère que lorsque la source de son émet un son ni la source ni le milieu de propagation ne vibrent (N° TdP 57). Les élèves semblent interpréter l'expérience principalement à partir de ce qu'ils perçoivent sur la vidéo sans se référer aux connaissances construites durant le TP1 à propos de la vibration de la source de son.

> T12 TP3 N° TdP 49 B *"Lorsqu'on est / à basse fréquence / non à basse fréquence / comme ça ça non parce que sinon après c'est trop court / A basse fréquence la membrane bouge"*
>
> 50 A *"J'allais mettre l'air vibre"*

[54] Nous soulignons que la dyade 8 ne parvient pas à réaliser la tâche 8.

[55] On augmente la fréquence de la tension électrique alimentant un haut-parleur et on observe le mouvement de la flamme de la bougie qui est placée devant le haut-parleur.

57 B "*Bon (?) à partir de trente Hz la membrane ne bouge plus le son est audible / à partir de trente Hz la membrane / b r / ne bouge plus le son est audible*"

58 A *"Et l'air non plus"*

- à l'objectif de la tâche qui est d'amener les élèves à réinvestir le modèle connu et à élaborer le modèle en jeu durant la séquence.

Par exemple, la tâche 7 du TP2 a pour objectif la construction par les élèves de la chaîne sonore de l'expérience (la cloche à vide) afin de les amener à prendre conscience que lorsque le vide est réalisé, il n'y a "aucun" milieu de propagation, "aucun" récepteur[56] et le son ne se propage pas.

Nous considérons aussi que la mobilisation de ces connaissances non attendues peut être due à la difficulté d'acquérir un savoir. Par exemple, la dyade 20 va apparier, lors du TP1 et du TP3, la source de son à l'objet qui provoque le son, la baguette.

Tâches demandant de modéliser un événement sans indiquer le modèle à mettre en oeuvre

Lors de la tâche 12 du TP3, "Interprétation de l'expérience de la bougie", les élèves sont supposés mettre en œuvre le modèle particulaire introduit auparavant sans que la consigne n'indique aux élèves de le faire. Cette absence de questionnement explicite conduit les élèves à privilégier le modèle qu'ils ont déjà proposé dans une tâche précédente. Par exemple, la dyade 8 interprète la vibration du milieu de propagation en tant qu'une "onde" qui vibre (N° TdP 42-46) transporté par l'air : modèle qu'elle a proposé lors de la tâche 4 "Interprétation de l'expérience des deux tambourins".

T4 TP3 N°TdP 26 B *"L'air il vibre pas il transporte c'est les ondes qui vibrent"*

T12 TP3 N°TdP 49 B *"L'air fait transporter les ondes émises par le haut-parleur + et font bouger la bougie +"*

50 A *"Mais oui mais ça on l'avait dit ça + aller hop valide / mais bon"*

Tâches nécessitant de se référer à une situation expérimentale pour mettre en œuvre un modèle

Lors des tâches 21 et 22, les élèves doivent déterminer les caractéristiques de l'onde sonore selon la position du récepteur par rapport à celle de l'émetteur respectivement à partir d'une situation de la vie quotidienne et d'un dispositif expérimental. Lors de la réalisation de ces deux tâches, la dyade 12 à mobiliser des connaissances non attendues dans des proportions non négligeables. Nous supposons que le fonctionnement des élèves relève de deux types de difficultés. D'une part, les élèves paraissent éprouver des difficultés à faire des allers-retours entre le modèle (niveau de la réponse) et le champ expérimental associé à la situation proposée (Tâche 21 et 22 du TP4) lorsque initialement ils ne parviennent pas à décrire la situation dans les termes du champ expérimental (Tâche 20 du TP4). D'autre part, il semble que les élèves ont des difficultés à s'écarter du niveau de la réponse à donner (Bécu-Robinault, 1997).

I.1.2.3. En résumé

Cette étude a permis de cibler les différentes difficultés des élèves relatives à divers savoirs et caractéristiques des tâches.

[56] Un récepteur sonore est un dispositif qui transforme un bruit ou un son en un signal observable. Ce dispositif est un récepteur qu'à condition qu'il reçoive un son.

D'abord, nous avons noté que la réalisation répétée de tâches par rapport à un même savoir, au sein d'une même séquence (TP0 à propos de la chaîne sonore) de TP ou au cours des différentes séquences (T8 du TP1 avec T12 du TP4), favorise le dépassement de certaines difficultés des élèves. Nous retrouvons ici, d'une part l'importance de l'erreur dans le processus d'apprentissage et d'autre part, l'une des contraintes relatives à construction des situations d'apprentissage (Brousseau, 1998) : proposer de nouvelles situations à partir desquelles les élèves s'assurent de la reproductibilité de leurs connaissances.

Ensuite, nous avons remarqué que certains savoirs sont semble-t-il plus difficiles à acquérir que d'autres : la propagation du son (TP3) et la relation entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la vibration (TP1). En ce qui concerne la propagation du son, l'analyse des connaissances non attendues au cours du TP3 a montré une certaine "continuité" du modèle des dyades durant la réalisation des différentes tâches proposées. Cette continuité semble être dû à la construction de la consigne qui ne demandent pas explicitement la mise en œuvre du modèle particulaire. Comment alors le point de vue de l'élève peut-il être perturbé ? Quant au savoir relatif à la relation entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la vibration, introduit dès le TP1, même si le nombre de connaissances non attendues diminuent au cours du TP3 et TP4, trois dyades sur quatre en mobilisent encore lors du TP4.

Enfin, certaines difficultés des élèves semblent résulter d'une résolution contextualisée de la tâche. En effet, nous avons montré qu'un nouveau dispositif expérimental présenté *via* des vidéos et des animations et, l'objectif de la tâche amenant les élèves à réinvestir à la fois un modèle "connu" et à élaborer le modèle en jeu, peuvent contribuer à perturber les systèmes explicatifs des élèves. Par exemple, les élèves semblent ne plus prendre en compte les connaissances mises en œuvre dans les tâches précédentes ou lors d'une même séquence (Dyade 16 et 20 T11 et T12 du TP3). Il paraît important de rappeler parfois les réponses déjà formulées par les élèves afin qu'ils construisent de nouvelles réponses à partir de ce qu'ils ont réalisé auparavant.

I.2. Différence entre l'activité effective des élèves et l'analyse a priori

I.2.1. Tâches n'amenant ni à la mise en œuvre de niveaux de savoir, ni aux relations attendues

D'abord, nous allons identifier les tâches pour lesquelles nous n'avons pas pu catégoriser selon notre grille d'analyse (chapitre 7) les verbalisations des quatre dyades. Il s'agit de rechercher, de notre point de vue, les tâches qui ne donnent pas lieu à la mise en œuvre de connaissance verbalisée. Cette première analyse tient compte de l'hypothèse de conception (1) suivante : l'organisation des contenus selon les niveaux de savoir est censée faciliter leur reconnaissance et leur mise en œuvre : c'est un moyen pour acquérir du sens.

Puis, nous déterminerons les tâches pour lesquelles les relations attendues ne sont pas élaborées en comparant l'activité des élèves à celle qui est prévue dans l'analyse *a priori*. Cette étude se réfère principalement à l'hypothèse d'apprentissage (1) qui considère que les concepts de physique prennent leur sens dans la mise en relation entre les niveaux du modèle et du champ expérimental : ce processus de modélisation étant une difficulté des élèves. Ainsi, nous tenterons de décrire les conditions qui ne favorisent pas la mise en œuvre des relations attendues.

I.2.1.1. Tâches ne donnant pas lieu à la mise en œuvre de connaissances verbalisées

Pour caractériser ces tâches, nous les identifierons selon les niveaux de savoir présents dans la page-écran et les actions que les élèves sont censés y mener (type d'écran).

I.2.1.1.1. Présentation des tâches et analyse du fonctionnement des quatre dyades

Les quatre tableaux suivants (Tableau 84, Tableau 85, Tableau 86, Tableau 87) sont construits à partir du tableau donné en annexe (voir annexe F).

Pour la dyade 16 Tâches durant lesquelles la dyade ne mobilise pas de connaissance catégorisable avec notre grille	TP0 (5 tâches)	TP1 (8 tâches)	TP2 (14 tâches)	TP3 (14 tâches)	TP4 (25 tâches)
	N°de la tâche	N°de la tâche	N°de la tâche	N°de la tâche	N°de la tâche
	T1		T2-T4-T6-T8-T12-T13	T1-T5-T7-T14	T9-T14-T23

Tableau 84 : N° des tâches conduisant à aucune mise en œuvre de niveaux de savoir pour la dyade 16

Pour la dyade 12 Tâches durant lesquelles la dyade ne mobilise pas de connaissance catégorisable avec notre grille	TP0 (5 tâches)	TP1 (8 tâches)	TP2 (14 tâches)	TP3 (14 tâches)	TP4 (25 tâches)
	N°de la tâche	N°de la tâche	N°de la tâche	N°de la tâche	N°de la tâche
	T1	T2	T2-T4-T12	T5-T7-T14	T14-T23

Tableau 85 : N° des tâches conduisant à aucune mise en œuvre de niveaux de savoir pour la dyade 12

Pour la dyade 20[57] Tâches durant lesquelles la dyade ne mobilise pas de connaissance catégorisable avec notre grille	TP0 (5 tâches)	TP1 (8 tâches)	TP2 (14 tâches)	TP3 (14 tâches)	TP4 (25 tâches)
	N°de la tâche	N°de la tâche	N°de la tâche	N°de la tâche	N°de la tâche
	T1	T2	T2-T4-T8-T10-T12-T13	T2-T5-T6-T10-T14	T14-T23

Tableau 86 : N° des tâches conduisant à aucune mise en œuvre de niveaux de savoir pour la dyade 20

Pour la dyade 8 Tâches durant lesquelles la dyade ne mobilise pas de connaissance catégorisable avec notre grille	TP0 (5 tâches)	TP1 (8 tâches)	TP2 (14 tâches)	TP3 (14 tâches)	TP4 (25 tâches)
	N°de la tâche	N°de la tâche	N°de la tâche	N°de la tâche	N°de la tâche
	T1	T2	T2-T4-T8- T12-T13	T5-T7-T14	T6-T14-T23

Tableau 87 : N° des tâches conduisant à aucune mise en œuvre de niveaux de savoir pour la dyade 8

Ces quatre tableaux montrent en particulier que :

- Lors de la tâche 1 du TP0, aucune des dyades ne met en œuvre un niveau de savoir ;
- Lors du TP1, seule la dyade 16 met en œuvre des niveaux de savoir lors de la tâche 2 ;
- Lors du TP2, les trois dyades 8, 16, 20 ont un même fonctionnement et ne mettent pas explicitement en œuvre de niveau de savoir pour presque la moitié des tâches de la séquence ;
- Lors du TP3, les quatre dyades ont un même fonctionnement pour les trois tâches (T5, T7, T14). Toutefois, la dyade 20 est la seule dont il n'a pas été possible de catégoriser les verbalisations durant des tâches T6 et T10 ;
- Lors du TP4, aucune des dyades ne met en œuvre un niveau de savoir lors de tâches T14 et T23. Seules les dyades 16 et 8 ont des verbalisations non catégorisables dans le cadre d'une autre tâche (T9 et T6).

Cette analyse nous amène à considérer que les dyades ont globalement des fonctionnements comparables durant les cinq séquences de TP. Nous soulignons que, pour ces différentes tâches, le nombre de tours de parole est particulièrement réduit.

[57] Nous précisons que cette dyade n'a pas eu le temps de faire la tâche 14 Application du TP2.

A partir des quatre tableaux précédents, nous relevons que 19 tâches (sur les 79) ne donnent pas lieu à la mise en oeuvre de connaissances verbalisées. Il s'agit pour 12 d'entre-elles des tâches avec une consigne implicite dont les actions à mener sont lire un texte, ou observer une vidéo ou une animation (type d'écran IP3). Les 7 autres correspondent à des tâches avec consigne dont les actions à réaliser sont par exemple "cocher une case" et/ou "taper du texte" (type d'écran PI1), actionner une simulation (type d'écran PI2) et lire un texte et/ou observer une vidéo (type d'écran PI3). Nous présentons successivement ces deux groupes.

Tâches avec consignes implicites donnant lieu à la lecture et/ ou à l'observation d'une vidéo (type d'écran IP3)

Le Tableau 88 indique, pour chaque tâche, les niveaux de savoir (NS) présents à l'écran et le nombre de dyades pour lesquelles nous n'avons pas pu catégoriser les verbalisations.

	TP0			TP1			TP2			TP3			TP4		
	N° T	NS tâche	Nbre de dyade	N° T	NS tâche	Nbre de dyade	N° T	NS tâche	Nbre de dyade	N° T	NS tâche	Nbre de dyade	N° T	NS tâche	Nbre de dyade
Page-écran contenant des définitions, un résumé, etc. (IP3)	T1	TM	4	T2	TM, OES Re(TM-CE)	3	T2	TM Re(TM-CE)	4	T5	CE	4	T14	TM	4
							T4	TM CE	4	T7	TM OES	3	T23	TM	4
							T8	CE	3	T14	TM	4			
							T12	CE Re(TM-CE)	4						
							T13	Re(TM-CE)	3						

Tableau 88 : Nombre de dyades et tâches pour lesquelles les verbalisations ne sont pas catégorisables

légende

TM	Théorie-modèle	CE	Champ expérimental
OES	Objets événements simulés	NS	Niveaux de savoir
Re(TM-CE)	Relation externe entre théorie-modèle et champ expérimental		

Globalement, pour chacune de ces tâches, les verbalisations des quatre dyades sont non catégorisables et les savoirs :

- se référent aux tâches que les élèves viennent de réaliser (par exemple T8, 12, 13 du TP2, T5, T7, T14 du TP3, T14 et T23 du TP4) : tâches intitulées "En résumé",
- sont introduits pour la première fois : T1 TP0 "Introduction" (de la chaîne sonore), T2 TP1 "définitions" (fréquence et amplitude),
- se rapportent principalement aux niveaux de la théorie-modèle et celui du champ expérimental.

A titre d'exemple, nous comparons ci-dessous les verbalisations de la dyade 16 à celles de la dyade 12 lors de la réalisation de la tâche 8 du TP2, intitulée "En résumé". Seules les verbalisations de la dyade 12 ont pu être catégorisées selon notre grille. Cette tâche résume l'expérience de la cloche à vide, précédemment prévue par les élèves, puis modélisée à partir du modèle de la chaîne sonore.

Dyade 16

T8 TP2 N° TdP 25 B *"(...) / quand le réveil sonne on entend bien la sonnerie ensuite quand on fait le vide on entend plus rien enfin si on laisse entrer l'air nous l'entendons à nouveau à ce moment là il semble donc que la présence de l'air soit nécessaire à l'existence de ce son (lance l'animation) / ok* (page suivante)*"* (l'élève B lit)

Dyade 12

T8 TP2 N° TdP 28 A *" (...) / en résumé c'est quoi ça"*

29 B *"bein lit"* (lance l'animation)

30 A *"Et bein"*

31 B *"Attend attend il va remettre il va remettre l'air"* (on entend la sonnerie)

32 A *"Ah en fait c'est l'air qui sans air y a rien ouais"*

33 B *"Vas-y ok sans milieu il ne peut pas y avoir de récepteur / (...)"*

L'activité de la dyade 16 se réduit à lire le texte et à observer l'animation. Par contre, les élèves de la dyade 12 semble interpréter collectivement ce qu'ils sont en train d'observer. Ils mobilisent des connaissances verbalisées relatives aux niveaux de la théorie-modèle (N° TdP 33) et celui du champ expérimental (N° TdP32).

Remarque

Une page-écran présentant simultanément un texte (des définitions) et une simulation (l'élève interagit avec des boutons) semble être propice à la mobilisation de connaissances et à la collaboration entre les élèves par rapport à une page-écran présentant un texte (définitions) et des animations. Nous illustrons ce point à partir des tâches T7 et T2 du TP1.

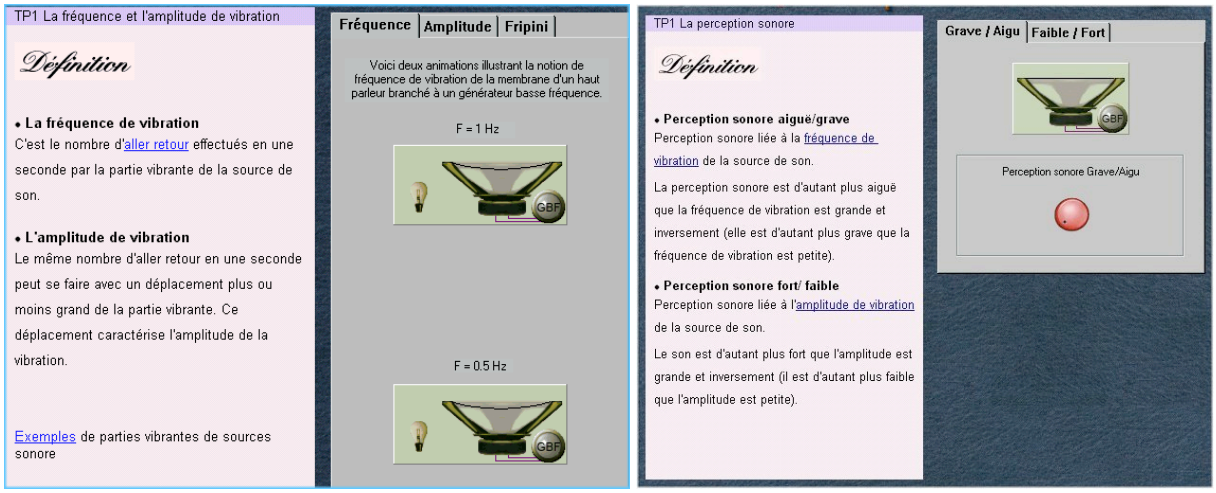


Figure 44 : Tâche 2 et tâche 7 du TP1

La tâche 7 intitulée "Perceptions sonores" (type d'écran IP2) introduit les définitions de la perception sonore en fonction des grandeurs fréquence et amplitude et sont illustrées par deux simulations. La tâche 2 présente les définitions de la fréquence et de l'amplitude illustrées par deux animations. Comparons ci-dessous les verbalisations de la dyade 12 lors de la tâche 7 et de la tâche 2 du TP1.

T2 TP1 N° TdP 1 A *"Voici deux animations ++ c'est bon"*

2 B *"Hum"*

3 A *"Donc là c'est la fréquence ok (page suivante) / à l'aide du chronomètre compter le nombre d'aller du"*

T7 TP1 N° TdP 38 B *"Mais vas au fond"*

41 A *"Mais baisse"*

42 B *"Mais va à fond pour voir"*

43 A *"Perception* (A change et se met perception fort faible) *baisse le son ah c'est les aigus ça / aller faible fort"*

44 B *"Vas-y à fond"*

45 A *"Moi je dirais que ça fait pareil* (ils sont dans perception aiguë/grave) */ donc en fait"*

46 B *"Bon quand quand la fréquence est petite le son est grave quand l'amplitude est petite le son est faible ok (changement de page) / en comparant le son émis par le haut-parleur de référence et le haut-parleur à étudier déterminer les caractéristiques du son ah ouais bon bein faut déjà qu'ils mettent"*

Le fait de proposer aux élèves d'interpréter les définitions à partir de la simulation semble favoriser leur implication dans une activité commune ("on dirait de la clarinette", "Regarde attends plus la fréquence elle va vite"). Les interactions avec l'interface *via* la simulation semblent conduire les élèves à mettre en relation les différentes présentations du savoir en jeu : l'action n'ayant pas pour unique finalité "le jeu". Ainsi, ne faudrait-il pas transformer les vidéos ou animations par des simulations que les élèves peuvent actionner ?

Tâches avec consigne (type d'écran PI1, PI2 et PI3)

Le tableau suivant indique pour chaque tâche l'intitulée, le nombre de dyades pour lesquelles nous n'avons pas pu catégoriser les verbalisations, le type d'écran, les actions à y mener et le résumé de l'activité des élèves.

N° TP	N°	Intitulée de la tâche	Nbre de dyades (D)	Type d'écran	Les actions à y mener	Résumé de l'activité des élèves
TP2	T6	Réalisation de l'expérience	1 (D16)	PI3	Vérification d'une prédiction en observant une animation	Lecture du texte et observation de l'animation
TP2	T10	Réalisation de l'expérience	1 (D20)	PI3	Vérification d'une prédiction en observant une animation	Observation de la vidéo
TP3	T1	Introduction	1 (D16)	PI3	Introduction de la problématique du TP3	Lecture du texte et observation de la vidéo
TP3	T2	Réalisation de l'expérience	1 (D20)	PI3	Observation d'une expérience à partir d'une vidéo	Observation de l'expérience
TP3	T6	Interprétation microscopique	1 (D20)	PI1	Sélection d'une réponse parmi plusieurs	Réponse commune sans discussion
TP3	T10	Prévoir	1(D20)	PI1	Sélection d'une réponse parmi plusieurs	Réponse commune sans discussion
TP4	T6	Deuxième expérience (Onglet expérience)	1 (D8)	PI2	Action sur une simulation pour réaliser une expérience	Action sur la simulation sans aucune discussion
TP4	T9	Interprétation de l'expérience	1 (D16)	PI1	Rédaction d'une réponse	La réponse est rédigée par une seule des élèves sans concertation

Tableau 89 : Tâche donnant lieu à une réponse sans verbalisation catégorisable selon les niveaux de savoir

Lorsque la consigne est présente dans la page-écran, nous constatons, qu'il est possible de catégoriser les verbalisations de trois dyades sur les quatre ce qui est l'inverse dans le cas où la consigne est implicite. La prescription d'une activité par exemple *"observer ce qui va se passer (...)"*, *"A partir des animations ci contre et de leurs explications respectives, choisissez celle qui rend le mieux compte de la propagation du son dans l'air"* semble alors impliquer les élèves dans la réalisation de la tâche.
Cependant, au vu de l'activité des dyades (Tableau 89), nous faisons les hypothèses suivantes :

- les élèves ne réalisent pas la "tâche ensemble",
- le savoir en jeu leur est déjà connu,
- la solution est obtenue sans vraiment savoir pourquoi.

Les verbalisations de la dyade 20 lors de la tâche 6 du TP3 illustre ce dernier point. La tâche 6 consiste à déterminer parmi quatre énoncés illustrés respectivement par quatre animations le modèle particulaire qui rend le mieux compte de la propagation du son dans l'air.

T 6 TP3 N° TdP 1 A *"Le son est causé par une vibration il est alors transporté de particules en particules de l'émetteur au récepteur ++++++"*(+ durée)
2 B *"La deux déjà c'est pas celle là / je dirai la quatre"*
3 A *"Moi je dirai la quatre"*
4 B *"Oui moi aussi"* (validation)

I.2.1.1.2. En résumé

Les tâches, qui donnent lieu à des verbalisations non catégorisables, sont majoritairement constituées d'une consigne implicite et les actions à mener sont limitées à lire un texte et à observer une vidéo (ou une animation). Leurs objectifs sont d'introduire les savoirs à mettre ensuite en œuvre (par exemple les tâches T0 TP0, T2 TP1), ou de résumer les savoirs présentés au cours de tâches précédemment réalisées à partir d'un texte et/ou d'une vidéo (T2, T4 TP2, T7 TP3). Nous avons supposé que lors de la réalisation de telles tâches, les élèves :

- ont une activité personnelle (voir dyade 16 TP2 tâche 8, dyade 8 tâche 2 TP1). Pour remédier à ce fonctionnement, nous avons suggéré de remplacer les animations et les vidéos par des simulations nécessitant de la part des élèves une interaction prolongée avec les informations proposées à l'écran,
- ont l'impression que les informations proposées leurs sont déjà "connues" (dyade 16 T8 TP2),
- sont dans l'attente possible de la tâche qui va suivre (dyade 16 T8 TP2).

Par contre, dans le cas de tâches avec consigne, il est peu fréquent que les dyades ne mobilisent pas de connaissances (une dyade sur les quatre). Nous avons alors fait l'hypothèse que l'implication des élèves dans une activité commune peut être favorisée à condition que la consigne soit explicite et que les élèves aient la possibilité d'agir dans la page-écran à partir d'une simulation (type d'écran IP2), en tapant du texte, etc.

I.2.1.2. Tâches ne donnant pas lieu aux relations attendues entre les niveaux de savoir

Nous rappelons que pour réaliser cette analyse nous avons recherché les tâches durant lesquelles les élèves n'élaborent pas les relations attendues (d'après l'analyse *a priori*) entre les niveaux de savoir. Par contre, il est possible qu'ils en aient construit d'autres ce qui est le sujet de la question suivante.

I.2.1.2.1. Présentation des tâches et analyse du fonctionnement des quatre dyades

Le Tableau 90 précise pour chaque tâche le nombre de dyades ne réalisant les relations attendues, le type d'écran et les niveaux de savoir présents dans la page-écran. Nous relevons au total 25 tâches.

TP1				TP2				TP3				TP4			
N° T	Nbre D	Type d'écran	NS tâche	N° T	Nbre D	Type d'écran	NS tâche	N° T	Nbre D	Type d'écran	NS tâche	N° T	Nbre D	Type d'écran	NS tâche
T4	1	PI1	TM OES	T5	1	PI1	CE	T6	4	PI1	TM OES	T2	3	PI2	TM Re(TM-OES)
T5	1	PI1	TM OES	T9	1	PI1	CE	T9	4	PI2	TM OES	T3	3	PI1	Re(TM-OES) OES
T6	4	PI2	TM Re(TM-OES)	T14d	1	PI1	CE	T10	4	PI1	TM CE	T4	3	PI1	Re(TM-CE) CE
								T11	2	PI1	TM CE	T6	4	PI2	TM Re(TM-OES)
								T13	1	PI1	TM CE	T7	3	PI1	Re(TM-OES) OES
												T9	1	PI1	TM CE
												T12	1	PI1	TM OES
												T13	1	PI1	TM OES
												T15	2	PI2	TM OES
												T16	2	PI1	TM CE
												T18	2	PI2	TM OES
												T22	1	PI1	Re(TM-OES) OES
												T24	2	PI2	TM OES
												T25	3	PI1	TM CE

Tableau 90 : Nombre de dyades n'élaborant pas les relations attendues selon la tâche

Légende

Type d'écran	Niveaux de savoir
PI1 : page avec consigne où la tâche amène à glisser et lâcher un mot, taper du texte, etc.	TM : théorie-modèle
PI2 : page avec consigne où la tâche amène à actionner une simulation	OES : objets événements simulés
	CE : champ expérimental
	Re : relation

L'analyse des caractéristiques des tâches conduit à les regrouper selon les deux types d'écran :

- type d'écran PI2 : page avec consigne où la tâche amène à actionner une simulation,
- type d'écran PI1 : page avec consigne où la tâche amène à glisser et lâcher un mot, taper du texte, etc.

Tâches de type d'écran PI2

Nous allons étudier le fonctionnement des élèves dans le cadre de deux tâches : la tâche 6 du TP1 où aucune des quatre dyades n'élaborent les relations attendues et la tâche 18 du TP4 où deux dyades sur les quatre construisent les relations. L'objectif de la tâche 6 du TP1 est d'amener les élèves à construire, *via* une expérience "simulée", une première relation entre les grandeurs caractéristiques de la vibration (la fréquence et l'amplitude) et la diversité des phénomènes sonores et mécaniques associés : *"En modifiant les valeurs de la fréquence de l'amplitude à votre guise, faites varier le mouvement de la membrane du haut-parleur. Que voyez vous et qu'entendez-vous : Entre 0 et 3 Hz et pour diverses amplitudes"*. La tâche 18 du TP4 demande de reproduire un son à l'aide des boutons fréquence et amplitude d'un générateur basse fréquence simulé et de l'oscilloscope simulé. Le résultat du codage des verbalisations des quatre dyades est donné dans le tableau ci-dessous.

Tâche 6 TP1						
	TM	OES	Re(TM-OES)	Re(TM-CE)	Re(OES-CE)	CE
Dyade 16		7				
Dyade 12		9				
Dyade 20		6				
Dyade 8	1	9				

Tâche 18 TP4					
TM	OES	Re(TM-OES)	Re(TM-CE)	Re(OES-CE)	CE
	4				
		1			
1	9				
2	2	1			

Tableau 91 : Niveaux de savoir mis en œuvre durant la tâche T6 du TP1 et la tâche T18 du TP4

Légende	
Niveaux de savoir	
TM : théorie-modèle	CE : champ expérimental
OES : objets événements simulés	Re : relation

Nous constatons que les connaissances verbalisées des élèves se réfèrent principalement au niveau des objets événements simulés correspondant à l'utilisation la simulation. Nous donnons un exemple de verbalisation lors de la tâche 6 du TP1 pour la dyade 20 et la tâche 18 du TP4 pour la dyade 16 :

Dyade 20

T6 TP1 N° TdP 2 B *"En modifiant les valeurs de la fréquence et de l'amplitude"* (lecture de la consigne)

3 A *"Bon"*

4 B *"Monte le truc* (bouton fréquence) */ fréquence augmente la un peu oui mais la fréquence* (réglage du bouton fréquence)*"*

5 A *"On entend rien"*

6 B *"Lève là encore* (réglage de la fréquence)*"*

7 A *"Entre 5 et 20 Hz attends"* (lecture de la consigne)

8 B *"Monte"*

9 A *"Attends parce qu'après c'est entre 5 et 20"*(lecture de la consigne)

Les verbalisations des élèves renvoient globalement au réglage de la fréquence : un seul tour de parole (TdP) sur les 8 concerne la perception sonore (TdP 5). Nous rappelons qu'à ce stade de la séquence, les élèves ont étudié uniquement la vibration en termes de fréquence et d'amplitude : c'est la première fois qu'ils mettent en relation les grandeurs caractéristiques de la vibration et la perception à l'aide d'une simulation.

Dyade 16

T18 du TP4 N° TdP 40 A *"(...)/ reproduire le son entendu à l'aide des boutons fréquence et amplitude et de / des boutons fréquence et amplitude et de l'oscillogramme que vous allez construire au fur et à mesure"* (lecture de la consigne et lancement du son)

41 B *"Arrête le* (le son) */ voilà / donc ok"*

42 A *"Il faut régler ça / plus aigu / beaucoup plus aigu"*

43 B *"Bein on a qu'à se repérer au truc* (oscillogramme)*/"*

44 A *"Alors attend ça fait / un deux trois (compte les carreaux de l'oscillogramme) / il faut qu'il y ait trois carreaux entre le / c'est bon c'est le même* (oscillogramme) */ c'est bon"*

Les élèves semblent avoir identifié le problème et mobilisé "implicitement" le savoir en jeu : deux sons sont identiques si la fréquence et l'amplitude de vibration des deux hauts-parleurs sont respectivement les mêmes. En effet, leurs actions paraissent être pertinentes par rapport au problème posé.

Ainsi, lors de la réalisation de telles tâches, les verbalisations des élèves se réfèrent principalement aux objets constitutifs de la simulation ("truc", "ça", "les carreaux"), et aux actions réalisées à partir de ces objets ("monte le truc", "augmente", "lève", "régler", "se repérer"). Cependant, selon les connaissances des élèves les actions menées semblent être associées aux savoirs en jeu. En effet, en comparant le fonctionnement des élèves lors des deux tâches précédentes, il semble que lors de la tâche 18, les connaissances mobilisées par les élèves sont directement transformer en actions. Par exemple, l'élève A demandant à l'élève B d'augmenter la fréquence, ce dernier souligne que pour vérifier si les deux fréquences sont similaires ils peuvent comparer les deux oscillogrammes. Ils utilisent les différentes représentations du savoir pour réaliser la tâche.

42 A *"Il faut régler ça / plus aigu / beaucoup plus aigu"*

43 B *"Bein on a qu'à se repérer au truc* (oscillogramme)*/"*

Tâches de type d'écran PI1

D'après le Tableau 90, nous remarquons que les élèves construisent peu les relations attendues surtout lors du TP4 et aussi lors du TP3. Nous rappelons que le TP4 reprend le savoir introduit durant le TP1 et le TP3 propose un nouveau savoir.

Pour comprendre cette absence de relations attendue, nous faisons l'hypothèse suivante : *Ce n'est pas parce que les élèves n'articulent pas les niveaux de savoir attendus qu'ils ne mobilisent pas le modèle en jeu*. Par exemple, lors du TP4, puisque le savoir en jeu est déjà connu des élèves, il est alors possible qu'ils mettent en œuvre le modèle sans passer par l'articulation des niveaux de savoirs attendus. Nous montrerons aussi que l'absence de relation peut être un indicateur de la difficulté des élèves à mettre en œuvre le modèle en jeu. En effet, nous considérons que l'une des difficultés des élèves concerne la modification de leur modèle ou l'acquisition d'un nouveau modèle (hypothèse d'apprentissage).

A titre d'exemple, nous comparerons le fonctionnement des élèves réalisant la tâche 3 du TP4 et la tâche 10 du TP3.

L'objectif de la tâche 3 est d'amener les élèves à différencier les deux grandeurs fréquence et amplitude en étudiant le mouvement de la membrane d'un haut-parleur. Il est demandé de déterminer parmi cinq animations celle qui rend compte de l'augmentation de l'amplitude à une fréquence constante. Le contenu de cette page-écran se réfère aux objets événements simulés (les animations) et au niveau de la théorie-modèle en relation avec le niveau des objets événements simulés.

Lors de la tâche 10 du TP3, il est demandé aux élèves de prévoir le résultat de l'expérience[58] en sélectionnant l'une des propositions données. Chacune des propositions se rapporte au champ expérimental. L'intérêt de cette tâche est d'observer si, à ce stade de la séquence, les élèves ont commencé à modifier leur modèle explicatif de la propagation du son en réinvestissant le modèle particulaire introduit dans le cadre des tâches 6 et 7.

Le Tableau 92 présente le codage des verbalisations des élèves lors de ces deux tâches.

[58] On augmente la fréquence de vibration de la membrane du haut-parleur près duquel est placée une bougie

Tâche 3 TP4						
	TM	OES	Re(TM-OES)	Re(TM-CE)	Re(OES-CE)	CE
Dyade 16	5	6	1			
Dyade 12	2	3		1		
Dyade 20	1	6		1		
Dyade 8	10	3				

Tâche 10 TP3					
TM	OES	Re(TM-OES)	Re(TM-CE)	Re(OES-CE)	CE
1					5
					3
1					
					2

Tableau 92 : Codage des verbalisations des élèves selon les niveaux de savoir lors des tâches 3 et 16 du TP4

Légende	
Niveaux de savoir	
TM : théorie-modèle	CE : champ expérimental
OES : objets événements simulés	Re : relation

Dans le cas où le modèle à utiliser est présent dans la page-écran et est connu des élèves (tâche 3 TP4), ces derniers le mettent régulièrement en œuvre pour décrire chacune des animations proposées. Nous donnons un exemple à partir de la dyade 8

Dyade 8 : les connaissances des élèves relatives à la fréquence et à l'amplitude leurs permettent de réaliser la tâche sans passer par la description du mouvement de la source de son.

T3 TP4 N° TdP 7 A *"(...) alors au cours des 5 expériences + pour laquelle de ces 5 expériences le manipulateur ne fait qu'augmenter le bouton d'amplitude (?) / cliquez ci-dessous ++ ah non là il bouge pas là il bougeait fréquence / ah si il bouge l'amplitude aussi"*

8 B *"Ouais il bouge l'amplitude / ouais là il diminue la fréquence aussi"*

9 A *"Ouais mais ne fait qu'augmenter donc non / il fait pas que ça +"*

10 B *"La fréquence c'est la fréquence /"*

11 A *"L'autre / non c'est la fréquence qui augmente /"*

12 B *"L'amplitude aussi /"*

Par contre, lors de la tâche 10 du TP3, nous remarquons que les connaissances verbalisées des élèves se réfèrent principalement au niveau du champ expérimental comme les propositions de réponses. Ils ne se réfèrent ni au modèle macroscopique (la vibration de la source se propage dans le milieu de propagation) introduit précédemment, ni au modèle microscopique (propagation du mouvement vibratoire des particules de proche en proche) présenté en début de séance. Nous donnons un exemple des verbalisations de la dyade 8.

T10 TP3 N° TdP 3 A *"Attends attends attends attends / ben moi je pense que qu'elle va s'éteindre"*

4 B *"Parce que"*

7 A *"Elle va s'éteindre / moi je pense qu'elle va s'éteindre / ouais ou alors ou peut-être elle va bouger"*

L'absence de mise en relation entre les niveaux et/ ou de mise en œuvre de l'un des modèles respectivement le modèle particulaire et macroscopique peut être expliquée de la manière suivante :

- il n'est pas spécifié dans la tâche d'utiliser le modèle particulaire ou macroscopique pour prévoir le résultat de l'expérience,
- cette tâche est assez éloignée des tâches introductrice des modèles macroscopique et microscopique. De ce fait, il est plus facile pour les élèves de mettre en œuvre leur propre modèle et/ou d'utiliser les réponses déjà proposées dans la tâche pour en construire une nouvelle.

I.2.1.2.2. En résumé

Les tâches qui reposent principalement sur l'utilisation d'une simulation donnent rarement lieu à la mise en œuvre du niveau du modèle et à l'articulation du niveau de la théorie-modèle avec celui des

objets-événements simulés : les verbalisations des élèves se réfèrent principalement aux objets composant la simulation et aux actions réalisées. Toutefois, nous avons supposé que les actions des élèves sont significatives de leurs connaissances lors de la réalisation de la tâche (voir tâche T 18 du TP4).

L'absence de mise en relation peut être significative d'une part des difficultés des élèves à réinvestir un modèle introduit bien avant la tâche à réaliser sans que la consigne incite les élèves à le prendre en compte. D'autre part, il est possible que les élèves n'aient pas le besoin d'élaborer les relations attendues pour mettre en œuvre le niveau du modèle : nous considérons alors que les élèves se sont appropriés le modèle.

I.2.2. Tâches donnant lieu à la mise en œuvre de niveaux de savoir et de relations non attendus

L'analyse de l'écart entre l'activité effective des élèves et celle qui est prévue (analyse *a priori*) conduit aussi à identifier des niveaux de savoir ou des relations entre les niveaux qui sont non attendus. Il va donc s'agir de montrer ce qui a pu déclencher leurs mises en œuvre en tenant compte de l'ensemble des éléments constitutifs des tâches.

I.2.2.1. Présentation des caractéristiques des tâches et analyse de l'activité des élèves

Nous présentons successivement les différentes caractéristiques des tâches qui ont donné lieu à la mise en œuvre de niveaux ou de relations non attendues.

La place de la tâche dans une mise en scène

N° TP	N° tâche	Intitulé de la tâche	N° Dyade	Type d'écran	Niveaux de savoir de la page-écran	Niveaux de savoir non attendus	Relations attendues	Relations non attendues
TP1	T1a	Observation de l'expérience	D12 , D8	PI3	CE	TM		Re(TM-CE)
	T1c	Description de la source de son	D16,D12, D20, D8	PI1	CE			Re(TM-CE)
	T8	Test 2 (relation entre perception sonore et vibration)	D16, D12, D20, D8	PI1 IR3	TM OES		Re(TM-OES)	Re(TM-OES)
TP2	T6	Réalisation de l'expérience (cloche à vide)	D12	IP3	CE			Re(TM-CE)

Tableau 93 : Tâches donnant lieu à la mise en œuvre de relations non attendues

Légende

Type d'écran	Niveau de savoir
PI1 : page avec consigne où la tâche amène à glisser et lâcher un mot, taper du texte, etc. IP3 : page avec consigne implicite où la tâche amène à lire et à observer IR3 : informations proposées dans un onglet Aide	TM : théorie-modèle OES : objets événements simulés CE : champ expérimental Re : relation

Nous considérons que la mise en œuvre des relations ou niveau non attendues dans le cas de ces quatre tâches résulte principalement de la place de la tâche dans une mise en scène proposée. Nous entendons par mise en scène une succession de tâches qui vise à favoriser la construction d'un savoir donné. Les tâches T1a, T1c et T6 s'inscrivent dans deux mises en scène présentées au début de ce chapitre (I.1) dont les objectifs sont d'aider les élèves à :

- désigner un phénomène (tâches T1a et T1c) en réalisant au moins trois expériences au cours desquelles ils vont observer un événement, déterminer la source de son et décrire l'événement observé. Dans ce cadre là, certaines des relations non attendues correspondent à la désignation du

phénomène en jeu (principalement pour la dyade 12), ou à la mobilisation d'autres connaissances relatives aux sources de son (Dyade 8), à la vibration (Dyade 16 et 20). Nous donnons ci-dessous un exemple de la dyade 20 discutant à propos de "vibrer" et "bouger" :

Dyade 20

T1 N° TdP 68 A *" Le col du ballon bouge au passage de l'air"*

69 A *"Vibre"*

70 A *"Non il bouge / vibre et bouge / parce qu' il fait comme ça"* (A mime de la main le mouvement)

71 B *"Oui bon c'est vibrer il ne bouge pas vraiment tellement / il bouge lorsque l'air"*

72 A *"Lorsque l'air passe par"*

- s'approprier un modèle (tâche T6 du TP2) introduit succinctement en début de séance à partir d'une situation connue, en le réinvestissant pour prévoir le résultat d'une nouvelle expérience que les élèves visualisent ensuite (tâche T6) et enfin l'interprètent. Dans le cas de la tâche T6, les élèves mettent en œuvre le niveau du modèle lors de l'observation de l'expérience en interprétant la disparition de la perception sonore (lorsque le vide est réalisé) parce qu'il n'y a plus de milieu de propagation de son.

Lors de la tâche 8 du TP1, les élèves semblent reformuler les définitions lues dans la tâche précédente (tâche 7) avant de donner leur première réponse : ils mettent en œuvre le modèle sans l'appliquer à la tâche à réaliser. Cette reformulation donne lieu parfois à des connaissances non attendues. Ce point est illustré à partir de la dyade 20 :

Dyade 20

T8 TP1 N° TdP 15 B *"Une amplitude"*

16 A *"plus"*

17 B *"plus grande moi je dirai"*

18 A *"Plus petite / non plus c'est grand plus c'est fort / c'est bien ça + et plus c'est grave plus c'est petit / ah non c'est"*

La navigation à partir d'une tâche

Deux cas de figures se présentent : ils utilisent les onglets ou ils vont dans une autre tâche.

1. Utilisation d'informations via le multi-fenêtrage à onglets.

N° TP	N° tâche	Intitulé de la tâche	N° Dyade	Type d'écran	Niveaux de savoir de la page-écran	Niveaux de savoir non attendus	Relations attendues	Relations non attendues
TP1	T3	Mesure de la fréquence	D12	PI1 IR3	TM OES	CE	Re(TM-OES)	Re(TM-CE)
TP1	T8	Test 2 (relation perception sonore et vibration)	D12, D8	PI1 IR3			Re(TM-OES)	Re(TM-CE)
TP4	T4	Etude de la perception sonore	D16	PI1	TM CE	OES	Re(TM-CE)	

Tableau 94 : Tâches donnant lieu à mise en œuvre de niveaux de savoir non attendus lors d'une navigation à partir des onglets

Légende

Type d'écran	Niveau de savoir
PI1 : page avec consigne où la tâche amène à glisser et lâcher un mot, taper du texte, etc. IR3 : informations proposées dans un onglet Aide	TM : théorie-modèle OES : objets événements simulés CE : champ expérimental Re : relation

Nous avons ici deux cas de figure concernant la prise de conscience de l'écart entre la connaissance de l'élève et celle qui doit mobiliser. Le premier concerne l'élaboration de relations non attendues en sélectionnant des informations dans l'onglet Aide. Par exemple, les élèves reformulent les informations

sélectionnées (Tâche 8 du TP1). Dans le second cas, avant de répondre à la question posée dans la tâche 4 du TP4 (onglet Mesure 2), *"En quoi le son est différent lorsque vous augmentez l'amplitude ?"*, la dyade retourne dans le premier onglet (tâche 2) pour réaliser à nouveau l'expérience proposée (onglet Expérience). Les deux figures ci-dessous présentent les deux onglets "Expérience" et " Mesure 2".

Figure 45 : Tâche 2 du TP4

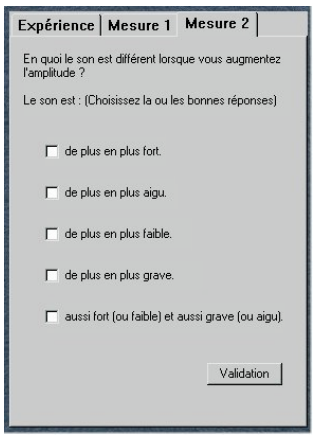


Figure 46 : Tâche 4 du TP4

Les élèves mettent ainsi en œuvre le niveau des objets événements simulés en utilisant la simulation.

Dyade 16

T4 TP4 N° TdP 46 B *"(...) En quoi le son est différent lorsque vous augmentez l'amplitude / le son est // plus fort plus faible"* (Tâche Mesure 2)

47 A *"Vas y remet / remet l'expérience // oui mais il faut mettre sur 500 pour entendre le son "* (Retour Tâche Expérience 1)

48 B *"Moins fort / mais c'est toujours la même intensité / c'est toujours le même son / mais + plus fort en fait / de plus en plus fort"* (elles augmentent l'amplitude)

2. Mise en œuvre de relations en utilisant les informations présentées dans une tâche précédente

N° TP	N° tâche	Intitulé de la tâche	N° Dyade	Type d'écran	Niveaux de savoir de la page-écran	Niveaux de savoir non attendus	Relations attendues	Relations non attendues
TP3	T11	Observation de l'expérience	D16	PI1	TM CE	OES	Re(TM-CE)	Re(TM-OES)

Tableau 95 : Tâches donnant lieu à mise en œuvre de niveaux de savoir non attendus lors d'une navigation dune tâche précédente

Légende

Type d'écran	Niveau de savoir
PI1 : page avec consigne où la tâche amène à glisser et lâcher un mot, taper du texte, etc.	TM : théorie-modèle OES : objets événements simulés CE : champ expérimental Re : relation

La tâche 11 du TP3 a pour objectif d'amener les élèves à mettre en relation le mouvement de la flamme de la bougie, représentant le milieu de propagation à un endroit donné, avec celui de la membrane du haut-parleur. Il est demandé aux élèves de préciser si la membrane et la flamme de la bougie bougent lorsqu'on se situe dans le domaine des infrasons. L'observation est réalisée à partir d'une vidéo. En répondant à cette question, les deux élèves n'étant du même avis (N° TdP 24-25),

l'élève B décide de manipuler à nouveau la simulation proposée dans la tâche 9. Il élabore la relation entre le niveau de la théorie-modèle et celui des objets événements simulés (N° TdP 27).

T11 N° TdP 23 B *"Oui / à très basse fréquence le son est inaudible / la membrane ne bouge pas"*

24 A *"Si la membrane bouge /"*

T9 N° TdP 25 B *"Il y a un endroit où je sais qu'elle bouge la membrane / on a l'impression en fait qu'elle ne bouge pas / je peux revenir en arrière deux secondes"*

26 A "Oui"

27 B "On peut observer / ah si très basse fréquence / c'est ça (elle vérifie avec l'animation) / la membrane bouge / non le son est inaudible la membrane bouge // et elle bouge?"

Le matériel expérimental

N° TP	N° tâche	Intitulé de la tâche	N° Dyade	Type d'écran	Niveaux de savoir de la page-écran	Niveaux de savoir non attendus	Relations attendues	Relations non attendues
TP3	T13	Question (Interprétation microscopique)	D16	PI1 IR3 IF3	TM CE		Re(TM-OES) Re(TM-CE)	Re(TM-CE)
TP4	T12	Etude des grandeurs caractéristiques du son	D12	PI1 IR3	TM OES	CE	Re(TM-OES)	Re(TM-CE)

Tableau 96 : Tâches donnant lieu à mise en œuvre de niveaux de savoir non attendus en utilisant le matériel

Légende

Type d'écran	Niveau de savoir
PI1 : page avec consigne où la tâche amène à glisser et lâcher un mot, taper du texte, etc.	TM : théorie-modèle
IP3 : page avec consigne implicite où la tâche amène à lire et à observer	OES : objets événements simulés
IR3 : informations proposées dans un onglet Aide	CE : champ expérimental
IF3 : feed-back contenant des informations pouvant aider à la réalisation de la tâche	Re : relation

Lors de la réalisation des deux tâches (T13 du TP3 et T12 du TP4), les dyades 16 et 12 vont respectivement utiliser le matériel expérimental dans l'objectif :

- d'interpréter l'une des propositions données dans la consigne (T13 TP3, dyade 16) et reconstruire en même temps la relation entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la vibration,
- de reconstruire le savoir en jeu dans la tâche à réaliser (T12 TP4, dyade 12) relatif aux grandeurs caractéristiques des tensions électriques alimentant un haut-parleur visualisée à partir d'un oscilloscope.

Par exemple, la dyade 12 manifeste qu'elle ne sait pas reconnaître à partir de l'oscilloscope l'amplitude de la tension électrique (N° TdP 39). Elle utilise alors l'oscilloscope posé sur la paillasse.

T12 TP4 N° TdP 39 B *"Attends l'amplitude c'est / Je ne me rappelle plus / ah* (utilisation du matériel)*"*

40 A *"C'est ça l'amplitude* (il regarde aussi l'oscilloscope) */ plus il y a d'amplitude / donc celui là il est plus faible / c'est sur / mais il est // il est plus aigu / ah voilà ça y est j'ai compris / c'est bon bon vas y reéteinds le j'ai compris"*

La consigne et la simulation présentée dans la tâche

N° TP	N° tâche	Intitulé de la tâche	N° Dyade	Type d'écran	Niveaux de savoir de la page-écran	Niveaux de savoir non attendus	Relations attendues
TP1	T3	Mesure de la fréquence	D16	PI1 IR3	TM OES	CE	Re(TM-OES)

Tableau 97 : Tâche donnant lieu à mise en œuvre de niveaux de savoir non attendus à lecture de la consigne

Légende

Type d'écran	Niveau de savoir
PI1 : page avec consigne où la tâche amène à glisser et lâcher un mot, taper du texte, etc. IR3 : informations proposées dans un onglet Aide	TM : théorie-modèle OES : objets événements simulés CE : champ expérimental Re : relation

Lors de la réalisation de la tâche T3 du TP1 dont l'objectif est de mesurer la fréquence de vibration de la source de son, les élèves identifient l'un des problèmes en jeu : compter le nombre d'allers-retours. Ainsi, avant d'élaborer leur stratégie de résolution, ils recueillent des informations à propos de l'aller-retour ce qui conduit à la mise en œuvre du champ expérimental (N° TdP 29). Ce recueil s'effectue dans le cadre d'une discussion au sein de la dyade. L'élève A propose une première "définition" en la mettant en relation avec la simulation (N° TdP 30) que l'élève B semble s'approprier difficilement (N° TdP 31-34). L'accommodation de la connaissance de l'élève B paraît être réalisée à partir du moment où les deux élèves comptent ensemble (N° TdP 34-35).

T3 TP1 N° TdP 27 A et B *"Un deux trois quatre cinq six sept"*

28 A *"Et on avait dit pendant dix secondes voilà recommence"* (retour à l'énoncé)

29 B *"Et en plus c'est un aller-retour non ?"* (Questionnement sur aller retour)

30 A *"Donc c'est à chaque fois qu'il monte vas y remet le à 0"* (signification de l'aller-retour avec la simulation)

31 B *"Non à chaque fois qu'il monte"*

32 A *"Je compte un"*

33 B *"Qu'il monte et qu'il redescend"*

34 A *"Non / un deux"*

35 A et B *"trois quatre cinq"*

La réponse donnée par le système

N° TP	N° tâche	Intitulé de la tâche	N° Dyade	Type d'écran	Niveaux de savoir de la page-écran	Niveaux de savoir non attendus	Relations attendues
TP4	T5	Interprétation de l'expérience	1 (D16)	PI1	TM CE	OES	Re(TM-CE)

Tableau 98 : Tâches donnant lieu à mise en œuvre de niveaux de savoir non attendus à partir de la réponse fournie par le logiciel

Légende

Type d'écran	Niveau de savoir
PI1 : page avec consigne où la tâche amène à glisser et lâcher un mot, taper du texte, etc. IR3 : informations proposées dans un onglet Aide	TM : théorie-modèle OES : objets événements simulés CE : champ expérimental Re : relation

La tâche 5 du TP4 a pour objectif d'aider les élèves à mettre en relation la perception sonore avec les grandeurs caractéristiques de la tension électrique en répondant. La question posée est la suivante : *"Qu'entend-on quand on fait varier l'amplitude de la tension électrique"*.

Suite à la rédaction de leur réponse, les élèves lisent celle qui est fournit par l'hypermédia. Cependant, cette dernière ne satisfait pas l'élève A (N° TdP 75). Il va alors tenter d'interpréter la perception sonore résultante de l'augmentation de l'amplitude de la tension électrique en se référent au modèle particulaire (N° TdP 79). La mobilisation de cette connaissance conduit à la mise en œuvre des objets événements simulés.

T5 TP4 N°TdP 74 B *"Ah d'accord plus l'amplitude elle va être grande / plus la membrane elle va bouger et plus le son il va fort"*

75 A *"Oui mais ça n'explique pas pourquoi le son va être plus fort"*

79 A *"Mais ce n'est pas en fonction de l'air qui est qui déplacé plus vite / en fonction des particules qui seront"*

80 I *"Les particules vont être déplacer avec une amplitude plus grande"*

La simulation

N° TP	N° tâche	Intitulé de la tâche	N° Dyade	Type d'écran	Niveaux de savoir de la page-écran	Niveaux de savoir non attendus	Relations attendues	Relations non attendues
TP3	T9	Etude du son émis par le haut-parleur	D16, D12, D20	PI1 PI2	TM OES	CE	Re(TM-OES)	Re(TM-CE)

Tableau 99 : Tâches donnant lieu à mise en œuvre de niveaux de savoir non attendus en utilisant une simulation

Légende

Type d'écran	Niveau de savoir
PI1 : page avec consigne où la tâche amène à glisser et lâcher un mot, taper du texte, etc. PI2 : page avec consigne où la tâche amène à actionner une simulation	TM : théorie-modèle OES : objets événements simulés CE : champ expérimental Re : relation

Lors de la tâche T9 du TP3, les élèves sont censés prendre conscience que la perception d'un son est aussi liée aux caractéristiques physiologiques de notre oreille. Dans cet objectif, on demande aux élèves de déterminer la valeur de la fréquence à partir de laquelle ils perçoivent un son. Pour cela, ils réalisent une expérience à partir d'une simulation.

Dans ce cadre là, nous avons constaté que l'utilisation de la simulation favorise la mobilisation de la connaissance relative à la perception sonore et la grandeur amplitude vue lors du TP1.

Nous donnons un exemple ci-dessous à partir de la dyade 16 :

T9 TP3 N° TdP 2 A *"Vas y il faut bouger ça"*

3 B *"Hum / bon"*

4 A*"<u>Non non ce n'est pas ça c'est parce qu'il n 'y a pas d'amplitude /</u>* (on entend un son) *voilà tu mets l'amplitude au maximum et après tu baisses / encore encore / encore"*

Remarque

Lors de la tâche 6 du TP1, les élèves doivent réaliser la relation entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques à partir de la même simulation. Or, nous avons noté qu'ils n'élaborent pas les relations attendues. Nous supposons que la réalisation des tâches entre le TP1 et le TP3 a permis aux élèves d'acquérir la relation entre l'amplitude de vibration et la perception d'un son.

I.2.2.2. En résumé

Cette analyse a permis de remarquer que la mise en œuvre de relations et/ou de niveaux non attendus par les élèves est liée à :

- à la place de la tâche à réaliser dans une succession de tâches (tâches T1, T8 TP1 et T6 du TP2),
- à l'utilisation de ressources diverses constitutives de la tâche telles que le matériel expérimental, les onglets Aide, les tâches précédemment réalisées, la consigne, la simulation, la réponse retournée par l'hypermédia,

Il faut souligner que ces tâches proposent des informations qui se rapportent à des niveaux de savoir différents. Cette "richesse" peut rendre la réalisation plus difficile car les élèves vont être amenés à différencier ces différentes informations puis les mettre en relation. Ainsi, il semble important de proposer différentes ressources aidant les élèves à mobiliser les connaissances attendues et à identifier et à acquérir les informations présentent dans la tâche.

I.3. Conclusion

L'analyse des connaissances verbalisées des quatre dyades a permis de mettre en évidence l'influence de caractéristiques des tâches sur la construction du savoir :

- Des contenus structurés selon les niveaux de savoir. Nous avons relevé que les élèves mettent en œuvre d'une part, pour au moins 80% des tâches, les niveaux de savoir présents dans les contenus et d'autre part pour trois séquences sur les cinq les relations attendues.
- La place de la tâche dans une mise en scène. Nous avons constaté que la mise en œuvre de niveaux de savoir attendus et non présents dans page-écran ne résulte pas uniquement du but de la question (hypothèse d'apprentissage), mais aussi de son positionnement par rapport aux autres tâches.
- La répétition de tâches relative à un même modèle dans une même séquence de TP et lors de différentes séquences de TP. Cette répétition peut aider les élèves à prendre conscience de l'écart entre leurs connaissances et celles qui sont attendues et favoriser l'appropriation du modèle en jeu
- L'intégration d'une simulation dans une page-écran proposant des définitions par exemple. La simulation favorise une réalisation commune de la tâche et la reformulation des définitions proposées.
- Des accès divers à des informations sélectionnées. Nous avons relevé que de donner la possibilité de retourner à une tâche déjà réalisée, de proposer des informations "contextualisées" par rapport à la tâche en cours dans l'onglet Aide favorise la construction du savoir en jeu.

Ensuite, nous avons pointé que certaines difficultés des élèves relatives à l'acquisition du savoir peuvent être liées aux types d'écrans. Lors de la réalisation de tâches contenant une consigne implicite et où les actions à mener sont lire un texte et/ou observer une vidéo (type d'écran IP3), il nous a été impossible dans la plupart des cas de catégoriser les verbalisations des élèves ce qui nous empêchent d'avoir des indices de l'acquisition du savoir en jeu. Nous avons supposé que lors de la réalisation de telles tâches, les élèves ont une activité "personnelle", ils ont l'impression que les informations proposées leurs sont déjà connues et/ou ils sont dans l'attente de la tâche qui va suivre. Nous avons suggéré alors qu'il serait opportun de remplacer les animations ou vidéos par des simulations qui favorisent dans ce cadre là (voir T7 TP1) l'implication des dyades dans une activité commune.

Puis, nous avons relevé que les tâches qui reposent principalement sur l'utilisation de la simulation (types d'écran PI2) favorisent peu les mises en relation entre les niveaux de savoir : les verbalisations des élèves se réfèrent principalement aux objets composant la simulation et aux actions réalisées.
Enfin, nous avons constaté que les difficultés des élèves à s'approprier un modèle peuvent être liées à la construction de la consigne. Si cette dernière n'incite pas les élèves à utiliser le modèle attendu, ils privilégient le leur.

II. La structuration des contenus des tâches à partir de différents systèmes sémiotiques favorise-t-elle la construction du savoir ?

L'objet de cette seconde question est de repérer, à partir de l'analyse de l'activité des élèves dans différentes situations, des conditions qui sembleraient favoriser la coordination de différentes représentations relatives à un même savoir (Duval, 1995, p 61) dans l'objectif de lui donner sens. En tenant compte de l'analyse a priori des différentes séquences de TP, nous avons pris le parti de nous intéresser au fonctionnement des élèves dans les situations suivantes :

1. Lors de la réalisation d'une tâche dont le savoir a été présenté dans la page-écran précédente à partir de différentes représentations ;
2. Lors de la réalisation d'une tâche dont le savoir en jeu est présenté au moins deux pages-écrans avant et est rappelé dans l'onglet Aide à partir de différentes représentations ;
3. Lors de la réalisation de deux tâches successives qui demandent de mettre en œuvre un même savoir en s'appuyant sur des représentations différentes ;
4. Lors de la réalisation de deux tâches situées dans des séquences de TP différentes qui demandent de mettre en œuvre un même savoir en s'appuyant sur des représentations différentes.

Le fait de tenir compte du temps, lors de l'analyse de l'activité des élèves, a l'avantage de montrer comment les connaissances des élèves peuvent devenir opérantes (ou non) lors de situations ou seul le représentant est modifié par exemple, et d'identifier les difficultés qui semblent être "persistantes". De plus, les tâches choisies se situent soit dans une même séquence, soit dans des séquences éloignées ce qui nous permettra de distinguer divers fonctionnement des élèves dont l'objectif commun est de mettre en relation des représentations différentes pour donner sens au savoir en jeu.

Rappelons brièvement les principales hypothèses d'apprentissage et de conception de l'hypermédia qui sous-tendent cette analyse :

- Les hypothèses d'apprentissage
  - Hypothèse 1 : La diversité des systèmes sémiotiques nécessite pour chacun un apprentissage spécifique.
  - Hypothèse 2 : *"L'activité conceptuelle ne peut plus être isolée de l'activité sémiotique parce que la compréhension conceptuelle apparaît liée à la découverte d'une invariance entre des représentations sémiotiquement hétérogènes"* (Duval, 1995, p.61).
  - Hypothèse 3 : La différenciation du représentant et du représenté permettra à l'apprenant de prendre conscience du sens de la représentation proposée. L'accession à cette différenciation est favorisée lors de la conversion d'une représentation en une autre.

- Les hypothèses de conception de l'hypermédia
  - Hypothèse 1 : La représentation d'un même savoir à l'aide de divers systèmes sémiotiques peut favoriser l'activité conceptuelle de l'élève.
  - Hypothèse 2 : la disposition dans des fenêtres différentes des représentations relatives à un même savoir est censée favoriser la coordination de ces dernières.

II.1. En quoi les différentes représentations d'un savoir peuvent favoriser son réinvestissement lors d'une nouvelle tâche ?

Répondre à cette question nécessite d'analyser le fonctionnement des élèves lors de la réalisation de deux tâches qui se succèdent (point 1). La première tâche propose différentes représentations pour un même savoir telles que les deux tâches "Définitions" du TP1 (tâches T2 et T7), la tâche T3 du TP2 "Une partie du rail est enlevée". L'objet de la seconde tâche est d'amener les élèves à mettre en œuvre le savoir présenté dans la première tâche.

Nous avons choisi d'analyser et de comparer le comportement des deux dyades 16 et 20 lors de la réalisation des tâches T2 et T3 du TP1 (Figure 47). La tâche T2 présente les définitions de la fréquence et de l'amplitude (langage naturel) qui sont illustrées respectivement par deux animations (représentation dynamique). La tâche T3 consiste en la mesure de la fréquence[59] à partir d'une simulation d'un haut-parleur branché à un générateur basse fréquence (représentation dynamique).

Le choix des dyades et des tâches reposent sur les points suivants :

- Seule la dyade 16 met en œuvre les niveaux de savoir contenu dans la page-écran de la tâche 2 et les articule. Cela nous donne l'occasion d'observer d'une part comment elle donne sens au savoir en jeu et d'autre part la manière dont elle réinvestit ce savoir lors de la tâche 3.
- Entre les trois dyades (8, 12, 20), nous avons choisi la dyade 20 car c'est celle qui donne le plus de réponses inexactes (8) et fait le plus appel à l'onglet Aide (5 fois). De plus, cette dyade est celle qui a mobilisé le plus de connaissances non attendues au cours de la mesure.
- La fréquence de vibration est présentée pour la première fois lors de la tâche 2. Cette tâche est essentielle pour que les élèves construisent un sens à la fréquence de vibration en mettant en relation la définition et les animations proposées afin qu'ils prennent conscience ensuite, lors de la tâche 3, de la nécessité de compter le nombre d'allers-retours effectués par la membrane du haut-parleur pour déterminer la valeur de la fréquence.

Ci-dessous, sont données les deux pages-écrans associées aux tâches 2 et 3.

[59] Nous limitons l'étude à la mesure 1 de la fréquence. La mesure 2 donne la possibilité aux élèves de choisir à partir d'un bouton la fréquence qu'ils souhaitent mesurer.

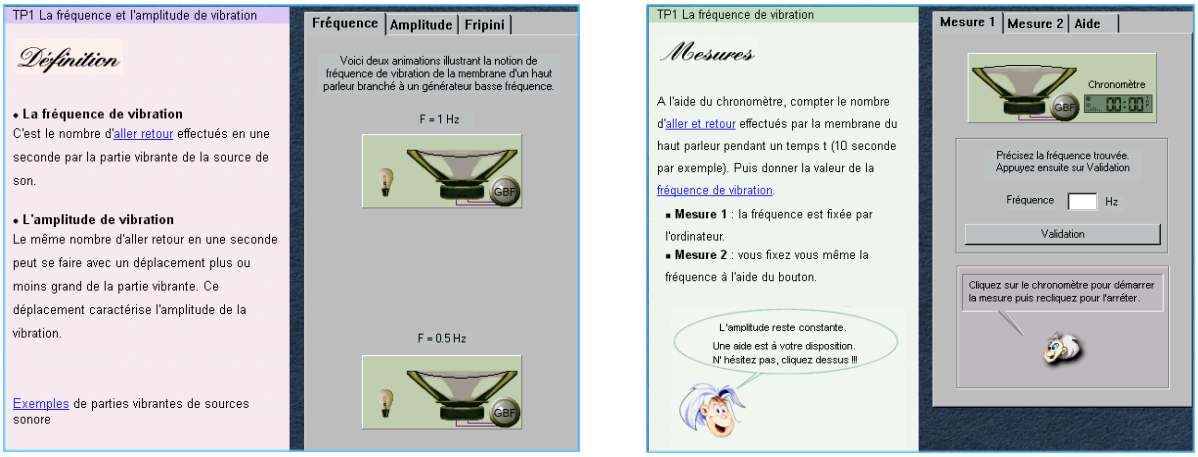


Figure 47 : Tâche 2 et tâche 3 du TP1

II.1.1. Comparaison du fonctionnement des dyades 16 et 20 lors de la tâche 2

Cette analyse va se dérouler en deux étapes : la première décrit l'activité des élèves du point de vue des connaissances mises en œuvre, la seconde présente simultanément l'analyse des verbalisations des élèves selon les niveaux de savoir (c'est-à-dire les connaissances mises en œuvre) et selon les systèmes sémiotiques utilisés. Cette seconde étape montrera de quelle manière les élèves donnent sens au savoir en jeu *via* l'utilisation des différentes représentations associées à ce savoir : la fréquence de vibration.

II.1.1.1. Analyse selon les niveaux de savoir

Le Tableau 100 présente le nombre de niveaux de savoir mis en œuvre par les dyades 16 et 20.

	TM	OES	Re(TM-OES)	Re(TM-CE)	Re(OES-CE)	CE
Dyade 16 (nbr)	1	2	4	0	0	0
Dyade 20 (nbr)	0	0	0	0	0	0

Tableau 100 : Niveaux de savoir mis en oeuvre lors de la réalisation de la tâche 2

Légende

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

A partir du Tableau 100, nous constatons que seules les verbalisations de la dyade 16 ont pu être catégorisées. En effet, les verbalisations de la dyade 20 sont courtes, peu partagées et ponctuelles : bribes de phrases se rapportant au contenu de la page-écran. Nous donnons ci-dessous un exemple des verbalisations de la dyade 20.

T2 TP1 N° TdP 1 A *"C'est pas grave / fréquence de vibration"*

2 B *"Illustrant la notion de"*

3 A *"C'est où la / ouais en fait c'est comme un oscilloscope"* (point de vue sur l'animation de la fréquence de vibration)

4 B *"Mets amplitude"* (clique sur l'onglet Amplitude)

5 A *"La fréquence c'est le nombre d'aller-retour"* (lecture de la définition)

6 B *"Et Fripini ah non c'est le mec qui présente"* (regarde l'onglet Fripini)

7 A *"C'est quoi Fripini +"*

En revanche, la dyade 16 élabore des relations entre les niveaux de la théorie-modèle et des objets événements simulés. Le Tableau 101 donne le détail des différentes relations construites.

Niveau de savoir	Signification	Codage dans la transcription	Dyade 16
Théorie-modèle	La fréquence	1(F)	1
Relation externe entre la théorie-modèle et les objets événements simulés	Relation externe entre la fréquence et la mesure des allers-retours	Re(1(F)-2b(AR))	2
	Relation externe entre l'amplitude et la mesure des graduations	Re(1(A)-2b(grad))	2
Relation interne aux niveaux des objets événements simulés	Relation interne entre le clignotement de la lampe et l'aller retour effectué par la membrane du haut-parleur.	Ri(2a(lampe)-2c(AR))	1
	Relation interne entre la graduation et le déplacement de la membrane	Ri(2b(grad)-2c(déplacement))	1

Tableau 101 : Niveaux de savoir et relations entre les niveaux durant la réalisation de la tâche 2 du TP1 par la dyade 16

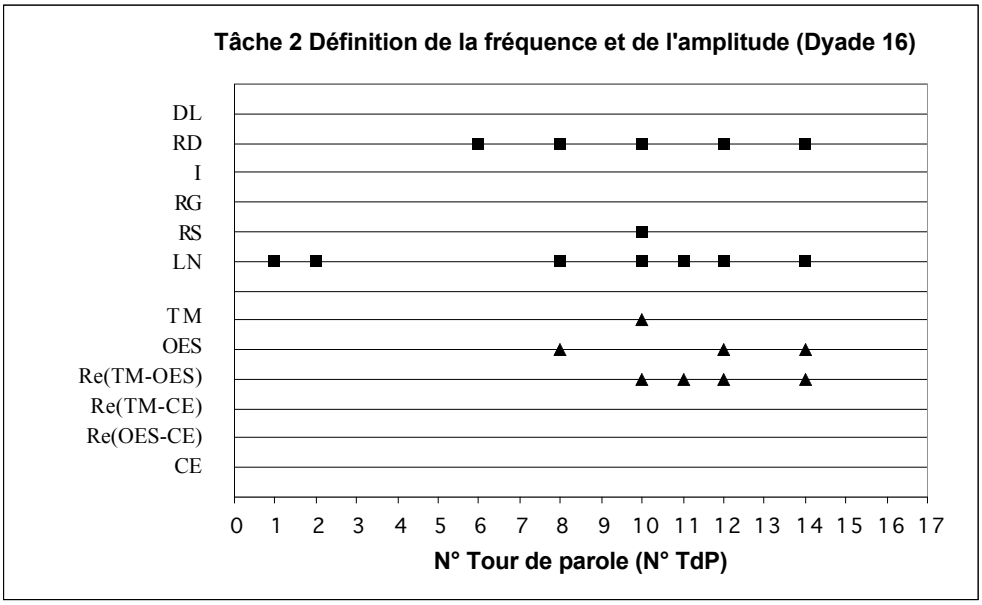
Les différentes relations construites par les élèves sont issues de l'utilisation simultanée des définitions (fréquence et amplitude) et des animations associées. En effet, suite au questionnement de l'élève B (numéro de tour de parole 5 (N° TdP 5)), les élèves tentent de décrire les animations en se référant à la définition de la fréquence.

T2 TP1 N° TdP 5 B *"En fait c'est quoi là"* (en désignant les animations associées à la fréquence)

Regardons maintenant, comment les différentes représentations de la fréquence et de l'amplitude ont étayé l'activité de modélisation relevée.

II.1.1.2. Analyse selon les systèmes sémiotiques et les niveaux de savoir

A partir du codage des verbalisations selon les systèmes sémiotiques et les niveaux de savoir, nous obtenons le Graphique 3. Il permet de présenter à la fois l'activité de modélisation et "l'activité sémiotique" (utilisation d'une représentation) des deux élèves.



Graphique 3 : Systèmes sémiotiques et niveaux de savoir mis en œuvre par la dyade 16 durant la tâche 2

Légende

Abréviation	Signification	Abréviation	Signification
TM	Théorie-modèle	LN	Langage naturel
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 champ expérimental	RD	Représentation dynamique
CE	Champ expérimental	DL	Dessin légendé

Suite à la lecture des deux définitions (N° TdP 1 et 2) et la question de l'élève B (N° TdP° 5), les élèves utilisent principalement les deux systèmes sémiotiques physiquement présents dans la page-écran (N° TdP 8, 10, 12, 14) tout en articulant des connaissances relatives aux niveaux de la théorie-modèle et aux objets événements simulés (N° TdP 8, 10, 11, 12, 14). Les deux systèmes sémiotiques sont : le langage naturel (LN) associé aux définitions de la fréquence et de l'amplitude et la représentation dynamique (RD) associée aux simulations illustrant ces deux grandeurs. La représentation symbolique étant mise en œuvre lorsque la dyade compte le nombre d'allers-retours réalisé par la membrane du haut-parleur (N° TdP 10 A : *"(...) ça fait un deux"*).
Les relations réalisées entre les systèmes sémiotiques (LN et RD) peuvent être interprétées comme une reformulation des définitions de la fréquence et de l'amplitude à partir des simulations.

N° TdP 8 A *"Voilà c'est la lampe en fait elle calcule à chaque fois qu'elle s'éclaire c'est que la membrane elle fait un aller-retour"*

10 A *"Là la fréquence c'est un Hertz et la fréquence c'est le nombre d'allers-retours effectués en une seconde par la partie vibrante de la source donc en une seconde ça fait un deux"*

11 B *"Donc là c'est le nombre en une seconde en Hertz ok après l'amplitude"*

Ainsi, nous supposons que la dyade 16 est en train de construire ou de modéliser la vibration en termes de ses propriétés physiques qui sont la fréquence et l'amplitude : hypothèse que nous essaierons de valider durant la tâche 3 "Mesure de la fréquence" en comparant son fonctionnement à celui de la dyade 20.

II.1.2. Comparaison de l'activité de la dyade 16 et 20 lors de la tâche 3

Le Tableau 102 reprend les principales caractéristiques des dyades 16 et 20 lors de la réalisation de la tâche 3 "Mesure 1 de la fréquence ". Il met en évidence des fonctionnements distincts des dyades.

Dyade 16				Dyade 20			
Nombre d'appels à l'aide	Nombre de réponses inexactes	Nombre de relations correspondant à une connaissance non attendue	Durée	Nombre d'appels à l'aide	Nombre de réponses inexactes	Nombre de relations correspondant à une connaissance non attendue	Durée
0	0	0	2:01	5	8	13	14:51

Tableau 102 : caractéristiques des dyades 16 et 20 lors de la mesure1 de la fréquence

Légende : 2:01 signifie deux minutes et une seconde.

La dyade 16 qui ne s'est pas limitée à lire et à observer uniquement les simulations durant la tâche 2 donne la réponse attendue rapidement (durée 2'01) et sans faire appel à l'onglet Aide.
Par contre, la dyade 20 qui réalise la tâche en une durée bien plus importante (durée 14'51), se réfère régulièrement à l'onglet Aide, et met en œuvre un nombre important de relations ne correspondant pas

à une connaissance attendue. Par exemple, la première connaissance non attendue mise en œuvre à propos de la fréquence de vibration est de considérer qu'elle est équivalente au nombre d'aller retour compté (N° TdP27).

N° TdP 27 B *"Donc attends ça fait douze onze* (aller-retour)*/ parce que moi j'ai compté combien de fois il descend et il remonte / il faut compter"*

28 A "Bein non d'aller ça fera onze alors" (La fréquence est égale au nombre d'aller-retour)

29 B "Oui c'est ce que je te dis" (demande de validation F = 11)

30 A "D'accord"

L'échec de cette première mesure conduit les élèves à faire appel à l'onglet Aide et à sélectionner la définition de la fréquence et la formule de la fréquence. Il s'ensuit que les élèves mettent en œuvre "à tour de rôle" la connaissance relative à la fréquence de vibration à partir de la définition et de la formule :

- La connaissance relative à la définition de la fréquence est non attendue puisque les élèves considèrent que le nombre d'aller-retour consiste à compter chaque fois que la membrane monte et descend (N°TdP 49-51) ;
- La connaissance relative à la formule de la fréquence est aussi non attendue puisque les élèves identifient la période (T) à la durée durant laquelle ils comptent le nombre d'allers-retours (N° TdP 55-58,137) et au nombre d'allers-retours comptés (N° TdP 78, 84, 119) :

N° TdP 47 A *"Je compte c'est parti 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 voilà"*

48 B *"T'as vu c'est"*

49 A*"Voilà 10"*

50 B *"Donc c'est"*

51 A *"Un"* (réponse inexacte due à la connaissance non attendue de l'aller-retour)

52 B *"Oh / vas y rappuie sur aide"*

53 A et B *"F = 1/T"*

54 A *"T la période exprimée en seconde"*

55 B *"Donc on a compté dix allers-retours donc en dix secondes"*

56 A *"Dix oui c'est bien ça non non c'est 1 dixième + c'est 1sur dix c'est 1 sur T"*

57 B *"Hum"*

58 A *"Donc un dixième /"*(connaissance non attendue de la période)

La réponse à la première mesure est donnée au bout de 14 minutes. Toutefois les élèves, n'ayant pas pris conscience de l'écart entre leur connaissance et le savoir en jeu à propos de l'aller-retour, réinvestissent la même connaissance lors de la mesure 2.

Parmi les quatre dyades, les dyades 12, 20, 8 font appel à l'onglet Aide ou retournent dans la page-écran présentant la définition de la fréquence lors de la réalisation de la tâche 3. Cela renforce l'hypothèse que l'activité sémiotique et conceptuelle de la dyade 16 lors de la tâche 2 favorise la mise en œuvre du modèle durant la tâche de mesure. Nous donnons ci-dessous les passages où les dyades partent recueillir des informations.

Dyade 12 (retour à la tâche 2 "Définition de la fréquence" après avoir compté le nombre d'aller-retour)

N° TdP 10 B *"Préciser la fréquence trouvée / tu retournes ils disaient comment on faisait la fréquence"*

11 A *"Non non mais il faut c'est là que tu cherches / tu veux que je retourne là"*
12 B *"Je ne sais pas"*
13 A *"Bein oui (page précédente)"*

Dyade 8 (appel de l'onglet Aide à la suite de la lecture de la consigne)

N° TdP 8 B *"Heu je ne comprends pas comment il marche son truc"*
9 A *"Mais non ce n'est pas ça / je n'ai pas compris ce qu'il fallait faire là / mais aide pour voir / vas-y mais aide"*

Dyade 20 (appel de l'onglet suite à une première validation de la réponse)

N° TdP 31 B *"Alors attends / attends attends une aide est à votre disposition"*
32 A *"C'est où l'aide"*
33 B *"Je sais pas / aide mais si c'est là définition met"*
34 A et B *"Ah oui en une seconde"*

II.1.3. En résumé

Lors de la tâche 2, la dyade 16 tente de donner sens au savoir en jeu en utilisant les deux représentations présentes dans la page-écran : il semble que cela soit une interprétation commune de ce qu'ils sont en train d'observer. Quant à la dyade 20, elle se limite aux actions possibles de la page-écran qui sont lire et observer. Les verbalisations de cette dyade sont alors courtes, peu partagées, et ponctuelles. Cette étude met donc en évidence d'une part la difficulté des élèves à utiliser par eux-mêmes différentes représentations d'un même savoir et d'autre part l'apport d'une telle tâche pour aider les élèves à reformuler le savoir en jeu et à lui donner sens.
Nous avons aussi montré que l'activité sémiotique réalisée par la dyade 16 lors de la tâche 2 est aussi réalisé par les trois autres dyades dans la tâche 3 au cours de leurs navigations successives dans l'onglet Aide et dans la tâche 2.

II.2. En quoi les différentes représentations d'un même savoir, placées dans l'onglet Aide, peuvent favoriser la compréhension du savoir en jeu ?

Les résultats obtenus lors de l'analyse globale (Partie C chapitre 8) relatifs à la sélection des informations provenant de l'onglet Aide montrent que les informations choisies sont majoritairement celles, qui *a priori,* seraient censées favoriser la construction de la réponse attendue : elles sont généralement liées au savoir à mettre en œuvre. De plus, la sélection des informations étant rarement unique, nous avons supposé que les élèves ont besoin de différentes représentations d'un même savoir ou de diverses informations pour réaliser la tâche.

Dans cette section, nous analysons la manière dont les élèves résolvent la tâche 4 du TP1 intitulé "Mesure de l'amplitude" (Figure 48) qui se situe deux pages-écrans plus loin de la page-écran "Définition de la fréquence et de l'amplitude" (tâche 2). L'objectif de cette tâche est d'amener les élèves à donner un sens physique à l'amplitude de vibration à partir d'une simulation. Pour déterminer la valeur de l'amplitude, les élèves comptent, avec la règle graduée, le nombre de graduation correspondant à l'écart entre la position de repos de la partie vibrante et la position lorsque cette dernière a atteint son déplacement maximal.

L'avantage de cette tâche est de proposer un onglet Aide qui comporte trois représentations différentes de l'amplitude de vibration : une définition en langage naturel (LN), une animation en représentation dynamique (RD) et un dessin légendé (DL).

Il va s'agir ici d'analyser l'influence des informations sélectionnées dans l'onglet Aide sur l'acquisition et l'utilisation du savoir en jeu : l'amplitude de vibration. Nous donnons d'abord des résultats sur les quatre dyades (Etude quantitative), puis nous en choisirons deux pour approfondir l'analyse (Etude qualitative).

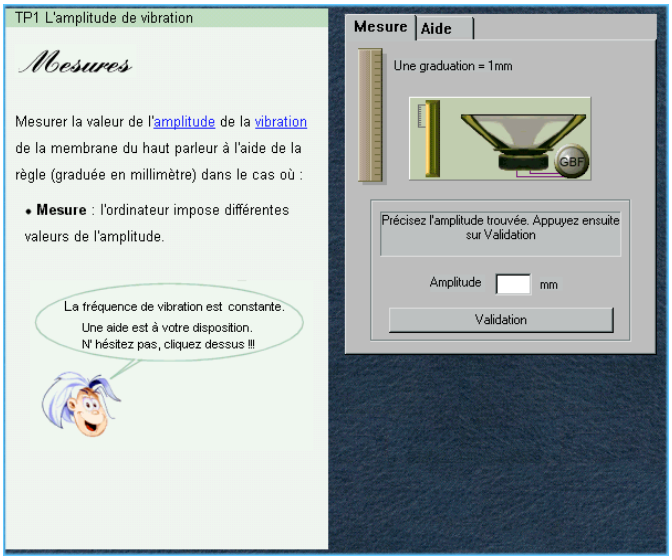


Figure 48 : Tâche 4 "Mesure de l'amplitude"

II.2.1. Etude quantitative

Relevons à partir du tableau ci-dessous les similitudes et les différences entre les 4 dyades.

	Dyade 16	Dyade 12	Dyade 20	Dyade 8
Durée	2:09	3:01	1:27	1:02
Nombre de réponses inexactes		2	1	
Nombre d'appels à l'onglet Aide	2	3	2	

Tableau 103 : Durée de réalisation de la tâche 4 du TP1, nombre de réponses inexactes et nombre d'appels à l'onglet Aide pour les quatre dyades

Légende : 1:02 signifie 1 minute et 2 secondes.

A partir du Tableau 103, nous remarquons d'abord, que trois dyades sur les quatre font appel à l'onglet Aide et sélectionnent au moins deux informations. Seules deux dyades donnent des réponses inexactes. Le Tableau 104 permet de noter que les élèves sélectionnent au moins deux informations de systèmes sémiotiques différents. Cela renforce notre hypothèse que les élèves ont besoin de différentes représentations d'un même savoir ou de diverses informations pour lui donner sens. L'objectif de l'étude qualitative est de vérifier cette hypothèse à partir de l'analyse des verbalisations de dyades 16 et 12.

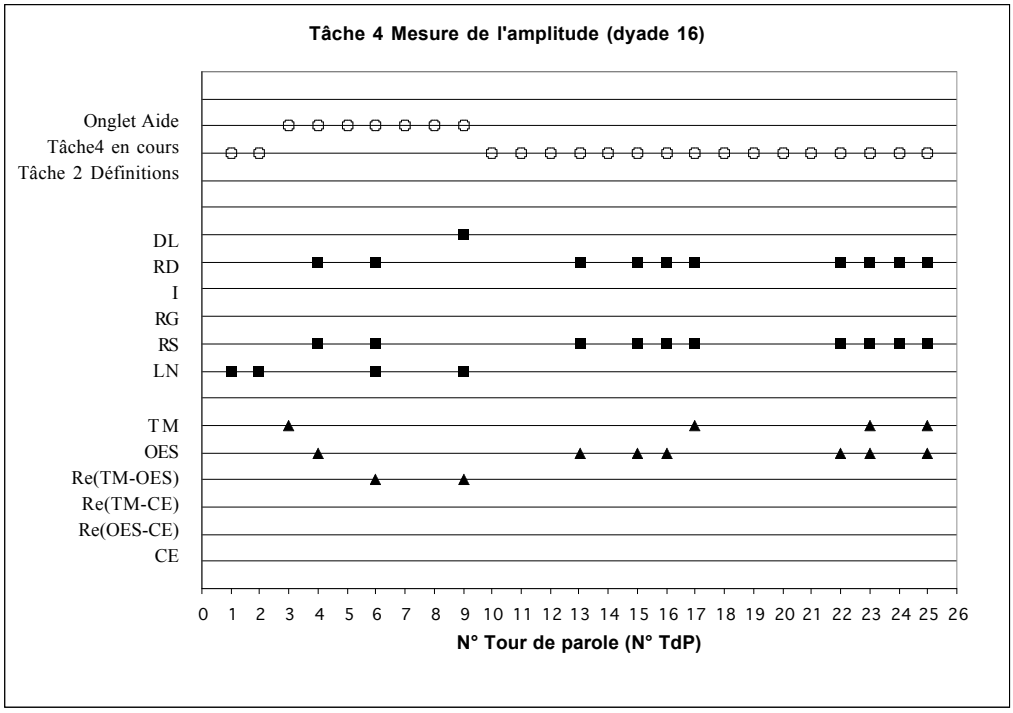
Aide sélectionnée	Dyade 16	Dyade 12	Dyade 20	Dyade 8
Définition (Amplitude)	1	1	1	0
Animation (Amplitude)		1		0
Dessin (Amplitude)	1	1	1	0

Tableau 104 : Ressources appelées par les quatre dyades à partir de l'onglet Aide

II.2.2. Etude qualitative

II.2.2.1. Exemple à partir de la dyade 16

Le Graphique 4 est obtenu à partir du codage des verbalisations des élèves selon les systèmes sémiotiques, les niveaux de savoir, et la navigation des élèves (onglet Aide, tâche 2, etc.).



Graphique 4 : Systèmes sémiotiques, niveaux de savoir et navigation de la dyade 16 durant la tâche 4 du TP1

Légende

Abréviation	Signification	Abréviation	Signification
TM	Théorie-modèle	LN	Langage naturel
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 champ expérimental	RD	Représentation dynamique
CE	Champ expérimental	DL	Dessin légendé

L'appel de l'onglet Aide préalable à la résolution de la tâche rend compte de la prise de conscience de la part des élèves d'un besoin d'informations (N° TdP 3) :

N° TdP 3 B *"Et l'amplitude comment on fait on va aller voir tout de suite avant la définition"*

Durant cette phase de prise d'informations, la dyade élabore deux relations attendues entre les niveaux de la théorie-modèle et des objets événements simulés (N° TdP 6 et 9) lesquelles sont associées à l'utilisation de systèmes sémiotiques différents.

La première (N° TdP 6) est liée à l'articulation des trois systèmes sémiotiques qui sont le langage naturel (l'amplitude), la représentation dynamique (la simulation) et la représentation symbolique (le nombre de graduation comptée correspondant à l'amplitude) : cela coïncide avec la proposition du résultat de la mesure. En effet, d'après l'analyse *a priori* (voir analyse *a priori* du TP1), la mesure de l'amplitude (représentation symbolique) consiste à articuler la définition de l'amplitude avec la simulation ou de coordonner les systèmes sémiotiques : le langage naturel et la représentation dynamique.

N° TdP 6 A *"Elle est à deux millimètres l'amplitude là"*

Les mesures successives conduisent les élèves à utiliser les deux systèmes sémiotiques suivants : la représentation dynamique (support de la mesure) et la représentation symbolique (le comptage des graduations pour déterminer l'amplitude). Le terme amplitude n'est plus explicité.

La seconde relation (N° TdP 9) est mise en œuvre lors de l'utilisation simultanée du dessin légendé et du langage naturel. En fait, nous notons que c'est à ce moment là que l'élève B paraît se représenter l'amplitude en l'identifiant sur le dessin légendé ce que la définition ne semble pas lui permettre (N° TdP 5) :

N° TdP 4 A *"Un deux elle"*

5 B *"L'amplitude est le déplacement plus ou moins grand de la partie vibrante de la source"* (lecture de la définition)

6 A *"Elle est à deux millimètres l'amplitude là"*

7 B *"Ok"*

8 A *"Je crois"*

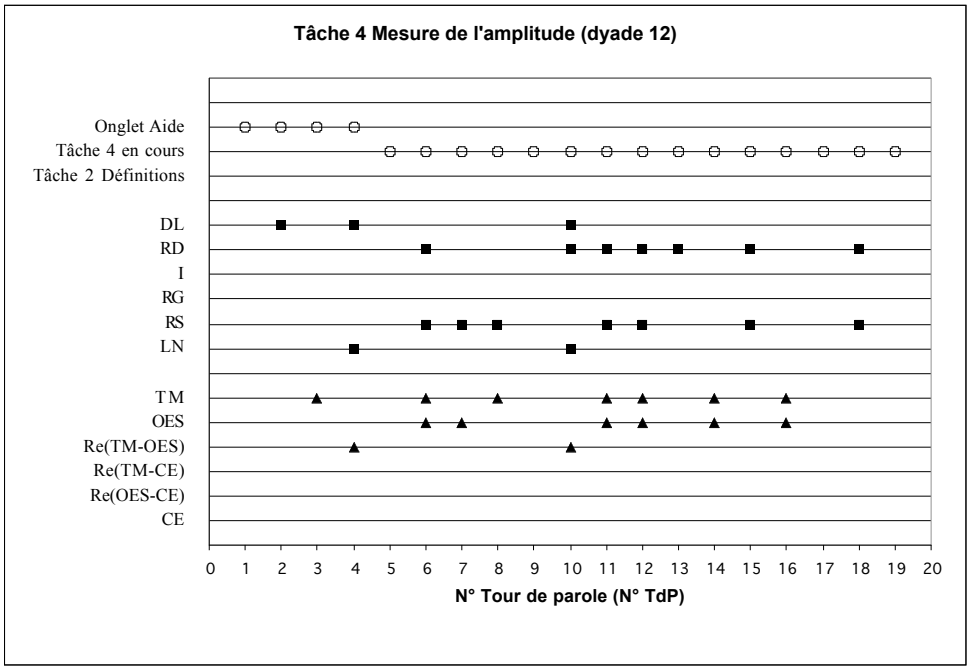
9 B *"Ah en fait cela sera ça* (désignant l'amplitude sur le dessin légendé) *ok et animation / d'accord"*

Ainsi, le dessin légendé permet à l'élève B d'une part de visualiser ce qui correspond à la grandeur amplitude et d'autre part de l'identifier directement sur la représentation dynamique proposée pour réaliser la mesure. Par contre, la définition "vague"[60] de l'amplitude (en langage naturel) ne semble pas être déterminante dans cette construction mais pourrait "l'amorcer". Nous rencontrons un fonctionnement similaire pour les dyades 12 et 20.

II.2.2.2. Exemple à partir de la dyade 12

Le graphique présente le codage des interventions de la dyade 12 selon les systèmes sémiotiques, les niveaux de savoir et la navigation dans l'onglet Aide.

[60] La définition donnée est : L'amplitude est un déplacement plus ou moins grand de la partie vibrante de la source de son.



Graphique 5 : Systèmes sémiotiques, niveaux de savoir et navigation de la dyade 12 durant la tâche 4 du TP1

Légende

Abréviation	Signification	Abréviation	Signification
TM	Théorie-modèle	LN	Langage naturel
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 champ expérimental	RD	Représentation dynamique
CE	Champ expérimental	DL	Dessin légendé

Comme la dyade 16, la sélection des informations dans l'onglet Aide (N° TdP 1-4) est antérieure à la résolution du problème. Nous relevons que l'utilisation simultanée du dessin légendé (DL) et du langage naturel (LN) coïncide avec l'élaboration de deux relations attendues (N° TdP 4 et 10).

La première est due à l'identification par les élèves de l'amplitude à partir du dessin légendé (n° TdP 4) et non de la définition :

T4 TP1 N° TdP 1 A *"Faut lui faire ça t'es sûr mais c'est ça que l'on est en train de faire / là maintenant / aide / définition / l'amplitude est un déplacement plus ou moins grand de la partie vibrante de la source* (lecture de la définition)*/* (animation) *ok / dessin amplitude"*

2 B *"Position maximale et repos"* (observation du dessin)

3 A *"Ah en fait l'amplitude c'est ça"*

4 B *"L'amplitude de déplacement oui / c'est la différence entre le machin là et le maximal"*

5 A *"Une graduation en mm"*

La deuxième relation est constitutive de l'explication fournie par l'élève B en s'appuyant sur le dessin légendé suite à la réponse inexacte donnée par A (N° TdP 10) :

T4 TP1 N° TdP 6 B *"Une deux trois quatre cinq /cinq"*

7 A *"Ça fait dix oui10 tu vas voir / oh purée ++"*

8 B *"Non c'est cinq"*

9 A *"oui"*

10 B *"C'est la différence / c'est à partir du point repos"*

II.2.3. En résumé

Nous avons montré que la présence de différentes représentations relatives à un même savoir dans l'onglet Aide est nécessaire pour que les élèves donnent sens à ce savoir : chacune jouant un rôle dans sa compréhension. Les élèves sélectionnent chacune des informations dans l'onglet Aide tant que l'information visualisée ne leur permet pas d'interpréter la situation expérimentale proposée. Le dessin légendé de la coupe du haut-parleur (Figure 49), qui ressemble à la simulation située dans la page-écran, aide les élèves à se représenter la grandeur amplitude.

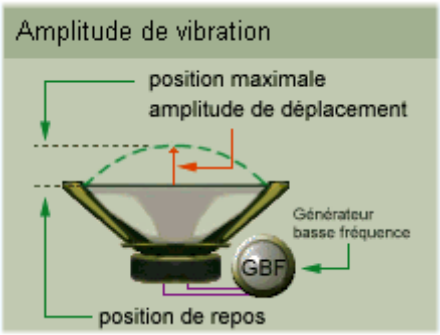


Figure 49 : Représentation iconique relative à l'amplitude

Nous faisons l'hypothèse que les représentations constituées d'au moins deux systèmes sémiotiques favorise la construction du sens du savoir en jeu à condition qu'elles explicitent des informations qu'une représentation élaborée à partir d'un seul système ne peut pas fournir. Cependant, cette représentation donne d'une certaine manière la solution au problème. Qu'en est-il alors de la compréhension du concept ?

Sans rentrer dans les détails, lors de la réalisation de la tâche 5 du TP1 intitulé "Test" dont l'objectif est d'amener les élèves à réinvestir le sens des grandeurs fréquence et amplitude en comparant (cinq fois de suite) le mouvement de deux membranes de haut-parleur, les quatre dyades la réalisent en donnant peu de réponses inexactes et en se référant peu à l'onglet Aide (Tableau 105). Nous pouvons supposer que cette tâche de mesure permet aux élèves de se représenter "physiquement" la grandeur amplitude.

	Dyade 16	Dyade 12	Dyade 20	Dyade 8
Nombre d'appels à l'onglet Aide	0	1	0	0
Nombre de réponses inexactes	1	1	1	0

Tableau 105 : Nombre d'appels à l'onglet Aide et nombre de réponses inexactes lors de la réalisation de la tâche 5

II.3. L'utilisation de représentations différentes peut-elle favoriser la construction d'un savoir donné ?

Pour répondre à cette question, nous allons nous placer à deux niveaux d'analyse. Dans un premier temps, nous étudierons le fonctionnement des élèves dans le cas où les tâches se suivent, puis dans le

cas où elles sont issues de deux séquences différentes. Lors de cette dernière étude, il nous faudra alors tenir compte des deux points suivants :

- des différentes tâches qu'ils auront réalisées entre-temps,
- de l'intervalle de temps écoulé entre les deux tâches réalisées.

II.3.1. Etude du fonctionnement des élèves dans le cas où les tâches se succèdent

Les tâches choisies sont les tâches T21 et T22 du TP4[61] dont l'objectif est de décrire, à partir de deux systèmes sémiotiques différents, 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. La tâche 21 (Figure 51) demande d'interpréter cette évolution, à partir d'une situation de la vie quotidienne, en utilisant le langage naturel. Les élèves doivent déterminer les grandeurs caractéristiques du son, émis initialement par une cloche, selon la position de deux récepteurs (Cardi et Polo) en sélectionnant l'une des réponses proposées telles que : *"l'amplitude de l'onde sonore sera plus petite chez Cardi qu'au niveau de la source de son"*. Nous rappelons que lors de la tâche 20 (Figure 50) les élèves explicitent à partir de la même situation de la vie quotidienne cette évolution en fonction de la hauteur et de l'intensité sonore comme par exemple *"le son de la cloche entendu chez Cardi sera plus faible que celui qui est émis"*. Lors de la tâche 22 (Figure 52), 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. 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 soulignons que lors des tâches précédemment réalisées dans cette séquence, les élèves se sont familiarisés d'une part à la représentation graphique (tâche 12 à 18) et d'autre part à mettre en relation la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la vibration (tâche 2 à 13). Nous donnons ci-dessous les pages-écrans associées à ces trois tâches.

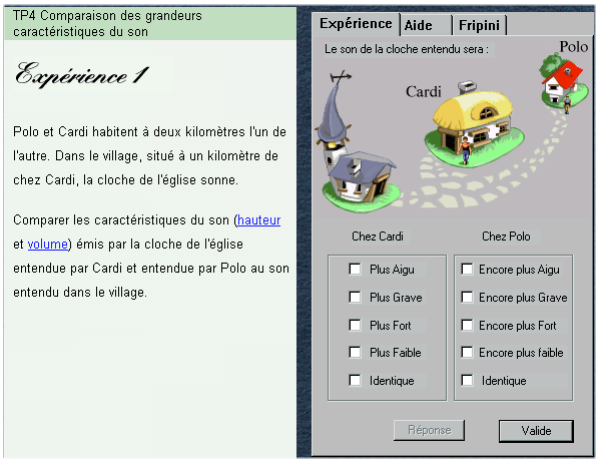


Figure 50 : Tâche 20 du TP4

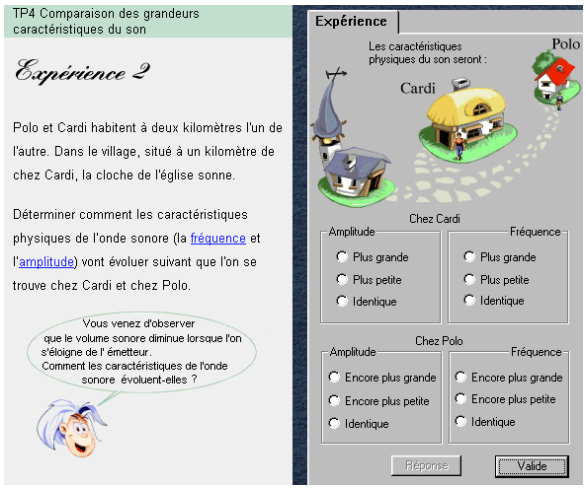


Figure 51 : Tâche 21 du TP4

[61] On aurait pu prendre à la rigueur les tâches T3, T4 et T5 du TP1.

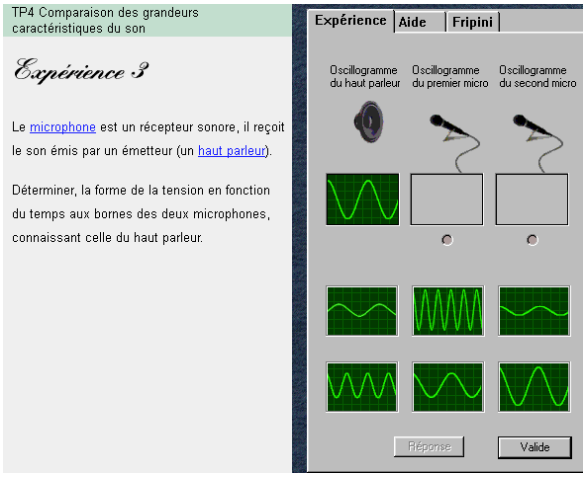


Figure 52 : Tâche 22 du TP4

II.3.1.1. Analyse quantitative

Dans un premier temps, regardons comment les 20 dyades évoluent lors des tâches 20, 21, 22 du TP4 selon les données durées de réalisation de la tâche, nombre d'informations sélectionnées dans l'aide et le nombre de réponses erronées.

	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Durée Moyenne
Tâche T20																				
Nbre de réponses erronées	2	9	17	15			2	1					3	1		5	1		1	
Nbre d'appel 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 T21																				
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 T22																				
Nbre de réponses erronées	2	1	1	1	2	1			1	1			2	5		1	1	1	1	
Nbre d'appel 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 106 : Comparaison de l'activité des élèves lors des tâches T21 et T22 du TP4

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

A partir de ce tableau (Tableau 106), 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 réalisant au moins une réponse inexacte augmente de nouveau entre la tâche 21 et 22.

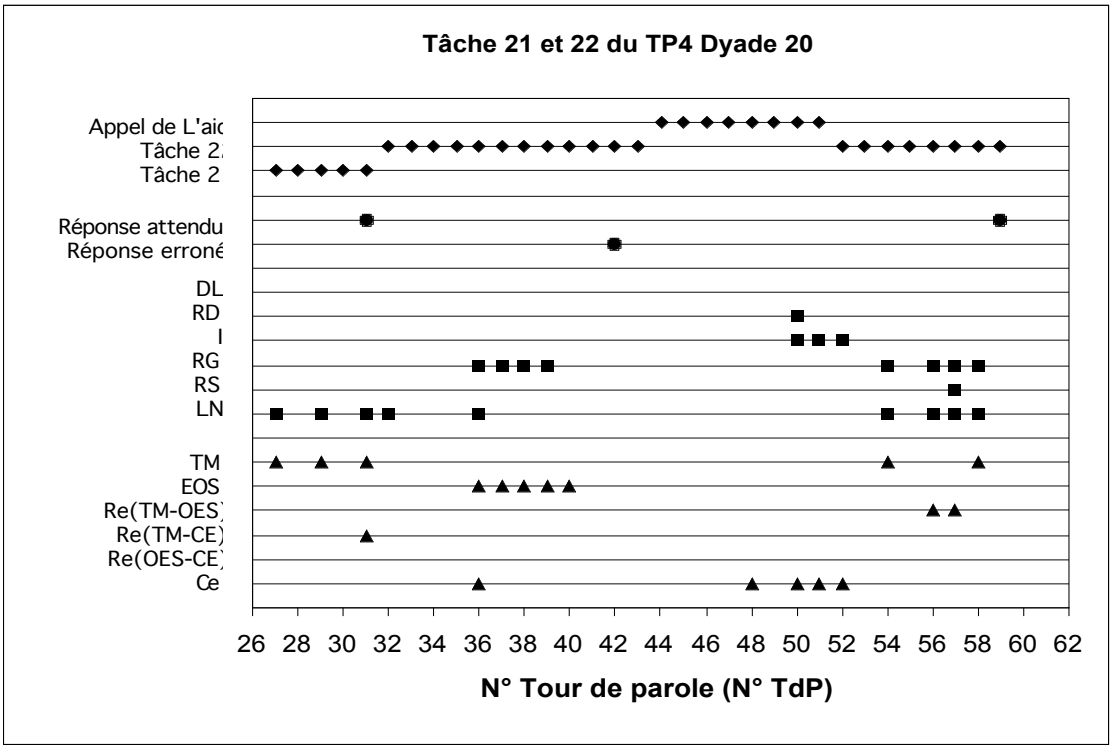
Nous supposons que la résolution successive de ces deux tâches (T21 et T22) qui demandent de réinvestir un "même savoir" à partir de deux représentations différentes et dans le cadre de deux dispositifs expérimentaux, favorise l'émergence des difficultés des élèves qui pourraient se situer soit au niveau :

- du savoir en jeu,
- des systèmes sémiotiques à utiliser pour donner la réponse : représentation graphique et langage naturel,
- de la représentation du dispositif expérimental.

II.3.1.2. Analyse qualitative

Nous allons observer la manière dont la dyade 20 fonctionne lors des tâches 21 et 22 à la fois du point de vue de l'activité sémiotique et du point de vue des connaissances mises en œuvre. Nous présenterons ensuite des observations communes aux trois autres dyades (12, 16 et 8).

Le graphique suivant (Graphique 6) permet de visualiser le résultat de l'analyse des verbalisations des élèves selon les niveaux de savoir, les systèmes sémiotiques au cours des tâches 21 et 22. Nous rajoutons la navigation réalisée et la nature des réponses des élèves.



Graphique 6 : Activité des élèves décrites à partir des niveaux de savoir, des systèmes sémiotiques de la navigation et des réponses fournies au cours des tâches 21 et 22 du TP4

Légende

Abréviation	Signification	Abréviation	Signification
TM	Théorie-modèle	LN	Langage naturel
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 champ expérimental	RD	Représentation dynamique
CE	Champ expérimental	DL	Dessin légendé

Lors de la tâche 21, nous constatons que les élèves utilisent uniquement le langage naturel lors de la construction de 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 terme 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"*

29 A *"Et / la fréquence est identique / non (?)"*

La seule relation mise en œuvre par les élèves semble être liée à une difficulté de l'élève B pour différencier l'amplitude de la fréquence du point de vue de la perception sonore (N° TdP 30-31).

N° TdP 30 B *"La fréquence c'est (?)"*

31 A *"La fréquence c'est euh aigu ou grave +c'est encore plus petit* (parle de l'amplitude)+ *aller ++"*

Lors de la tâche 22, la dyade 20 met en œuvre, en fin de réalisation de la tâche (N° TdP 54), les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques attendus. Cela est dû au fait que les élèves ne parviennent pas à se représenter le dispositif expérimental au sens de la compréhension du dessin composé du haut-parleur et des deux microphones. Ainsi, ils ne réinvestissent pas les connaissances issues de la tâche précédente et donnent une première réponse inexacte (N° TdP 43). Nous constatons à partir de l'extrait ci-dessous le peu de "cohérence" (de notre point de vue) dans les actions qu'ils mènent : les élèves s'intéressent principalement à bouger les oscillogrammes.

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 *"Ca se déplace"* (ça = oscillogramme)

39 A*"Tu peux mettre tu peux mettre n'importe lequel"*

40 B *"Ben oui mais faut voir parce que t'as déjà ça /"*

41 A *"Et ben (?)"*

42 B *"Non je sais pas* (rires)*"*

43 A *"Je comprends pas"*

44 B *"Hm hm hm ++Mets aide voir / arrêtes tu mets n'importe quoi"*

Le recueil d'information dans l'onglet Aide en particulier la sélection de l'animation relative au microphone (qui montre l'évolution au cours du temps de la tension électrique aux bornes du microphone) favorise la compréhension de la tâche (N° TdP 44-52) ce qui ouvre la phase de résolution du problème (N° TdP 54).

N° TdP 48 A *"On sait pas pourquoi / microphone /"*

49 B *"Non c'est pas ça"*

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"*

53 B *"Ouais"*

54 A *"Faut que se soit la même fréquence / attends enlève tes doigts je vois rien"*

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 (...) ") et élaborent ensuite une solution (N° TdP 52-54). Il s'ensuit qu'ils réinvestissent immédiatement le modèle construit lors la tâche 21 (N° TdP 54).

Nous retrouvons le même type de comportement avec la dyade 8 qui parvient à donner la réponse attendue à partir du moment où elle observe l'animation (N° TdP 91-95).

N° TdP 91 A *"J'ai pas compris là + déterminer la forme de la tension ++ en fonction du temps / aux bornes des microphones + pas compris / reste comme ça + c'est les mêmes / y a pas de raison /"*

92 B *"Oui y a oui ben oui ou alors c'est lui alors"*

93 A *"Ou alors comme ça comme ça +++++"*

94 B *"Non mais bon c'est bon ça + animation fais + attends / (... ?)"* (sélection des informations dans l'onglet Aide)

95 A *"Attends / oui + non j'ai pas vu ++ oh + ben ils ont la même euh fréquence / et la même amplitude non la même fréquence + ils ont la même fréquence mais ils ont"* (proposition de la réponse)

Quant à la dyade 12, nous constatons que la modification de la représentation les amène d'abord à mettre en œuvre des connaissances non attendues (N° TdP 43-45), puis, à décrire les différents oscillogrammes en terme de fréquence et amplitude (N° TdP 47-53). La dyade reste au niveau du modèle.

N°TdP 43 B *"Déterminer la forme de la tension en fonction du temps aux bornes des deux microphones / il faut en mettre une là-bas"* (lecture de l'énoncé)

44 A *"L'amplitude déjà elle ne change pas"* (connaissance non attendue)

45 B *"Bein non l'amplitude reste la même"*

46 A *"Donc il faut trouver deux qui ont la même amplitude/ même amplitude c'est ça"*

47 B*"C'est la même amplitude hein / regarde"*

48 A *"Oui / mais la fréquence elle est plus grande là"* (mettent un premier oscillogramme)

49 B *"Là cela veut dire que la fréquence elle est plus grande +++"*

50 A *"Alors qu'est ce que l'on vient de mettre / en plus on a oublié"* (A se demande qu'elle était la réponse donnée au cours de la tâche 21)

Pour parvenir à répondre à la question, les élèves retournent à la tache 21 où les réponses étaient données au niveau du modèle et en langage naturel (N° TdP 54-56).

N°TdP 55 B *"Je ne sais pas (retour page précédente) / identique"*

56 A *"Fréquence identique"*

57 B *"Ah bein c'est ces deux là alors"*

Ainsi, la dyade 12 est capable de passer d'une représentation à une autre pour les grandeurs fréquence et amplitude *via* les systèmes sémiotiques langage naturel et représentation graphique. Cependant, elle ne parvient pas à modéliser le dispositif expérimental en terme de fréquence et amplitude ce que les dyades 8 et 20 effectuent. De plus, la modélisation du dispositif expérimental permet, aux dyades 8 et 20, de passer de la représentation du savoir en langage naturel issue de la tâche 21 (terme du modèle) à la représentation graphique proposée dans la tâche 22.

En fait, seule la dyade 16 parvient à réinvestir le modèle mis en œuvre durant la tâche 21 sans difficulté (N° TdP 40-42) car elle ne semble pas être gênée par ce nouveau dispositif expérimental. Elle modélise la situation en faisant intervenir le champ expérimental issu de la tâche 20 (N° TdP 42).

N° TdP 37 B "*Un récepteur sonore il reçoit le son émis par l'émetteur le haut-parleur"*
38 A et B "*Déterminer la forme de la tension en fonction du temps"*
39 B "*Oui c'est fonction du temps"*
40 A "*Aux bornes de ces deux microphones / connaissant celle du haut-parleur +"*
41 B "*Ok"*
42 A "*He bein alors là / ça va être moins fort / donc l'amplitude elle va être plus basse"*

II.3.1.3. En résumé

Suite à cette étude, nous supposons que 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 à certains élèves :

- de se représenter le 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.

Etudions maintenant, le fonctionnement des élèves lorsque les tâches proviennent de séquences de TP différentes et demandent de mettre en œuvre un "même savoir" à partir de représentations différentes.

II.3.2. Etude du fonctionnement des élèves dans le cas où les tâches se situent dans des séquences de TP différentes

Les deux tâches choisies[62] sont la tâche 8 du TP1 intitulée "Test 2 Etude de la relation entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la vibration" et la tâche 12 du TP4 "Etude des grandeurs caractéristiques du son à l'oscilloscope". La réalisation de ces deux tâches nécessite d'élaborer la relation entre le phénomène sonore et le phénomène physique associé soit en partant de la perception sonore (tâche 8) soit en partant des grandeurs caractéristiques des tensions électriques observées à partir d'oscillogrammes (Tâche 12). Le savoir commun à ces deux tâches est donc la relation entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la vibration.
Comme précédemment, cette analyse va se découper en deux étapes. D'abord une analyse *quantitative*, à partir de laquelle nous soulignerons les points qui nous paraissent remarquables et nous choisirons la dyade étudiée. Puis une analyse *qualitative* dont l'objectif est de détailler l'activité des élèves selon les connaissances verbalisées et les systèmes sémiotiques utilisés. Nous présentons ci-dessous ces deux tâches (T8 et T12).

[62] Nous aurions pu aussi comparer la tâche 4 du TP1 "Mesure de l'amplitude" avec la tâche 3 du TP4 "Etude 1 Etude du mouvement de la membrane lorsque l'on augmente l'amplitude" ou la tâche 3 du TP1 "Mesure de la fréquence" avec la tâche 7 du TP4 "Etude 1 Etude du mouvement de la membrane lorsque l'on augmente la fréquence".

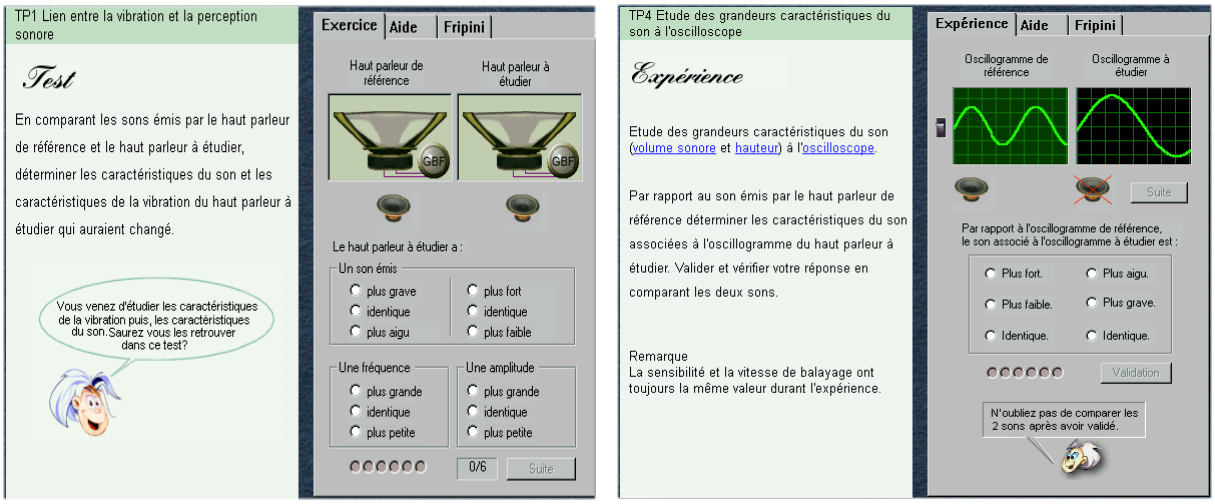


Figure 53 : Tâche 8 du TP1 et tâche 12 du TP4

II.3.2.1. Analyse quantitative

Dans un premier temps, regardons le fonctionnement des élèves lors des tâches 8 du TP1 et 12 du TP4 à partir des données durées de réalisation de la tâche, nombre de réponses inexactes, nombre d'appels à l'aide.

	N° Dyade																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
T8 TP1																				
Durée	10:23	rien	5:50	24:53	10:27	7:16	9:17	22:46	29:36	9:55	19:46	7:10	4:28	3:34	12:40	3:52	10:44	4:34	4:04	4:24
NRI	5		5	27	5	4	11	28	17	4	14	1	3	1	8		9	2	1	1
Nombre d'appels à l'Aide	1			3	2	1	1	1	3		3	1			1		2			
T12 TP4																				
Durée	7:22	3:42		rien	3:05	7:18	6:47	2:52	9:22	3:00	5:52	5:43	3:06	8:56	4:38	7:47	4:17	4:05	3:56	2:36
NRI	3					3	5		3		1	1		4	1		2			
Nombre d'appels à l'Aide	1					1						1			1					

Tableau 107 : Comparaison de l'activité des élèves lors des tâches T8 du TP1 et T12 du TP4

Légende

NRI : nombre de réponses inexactes

5:50 signifie : cinq minutes et cinquante secondes

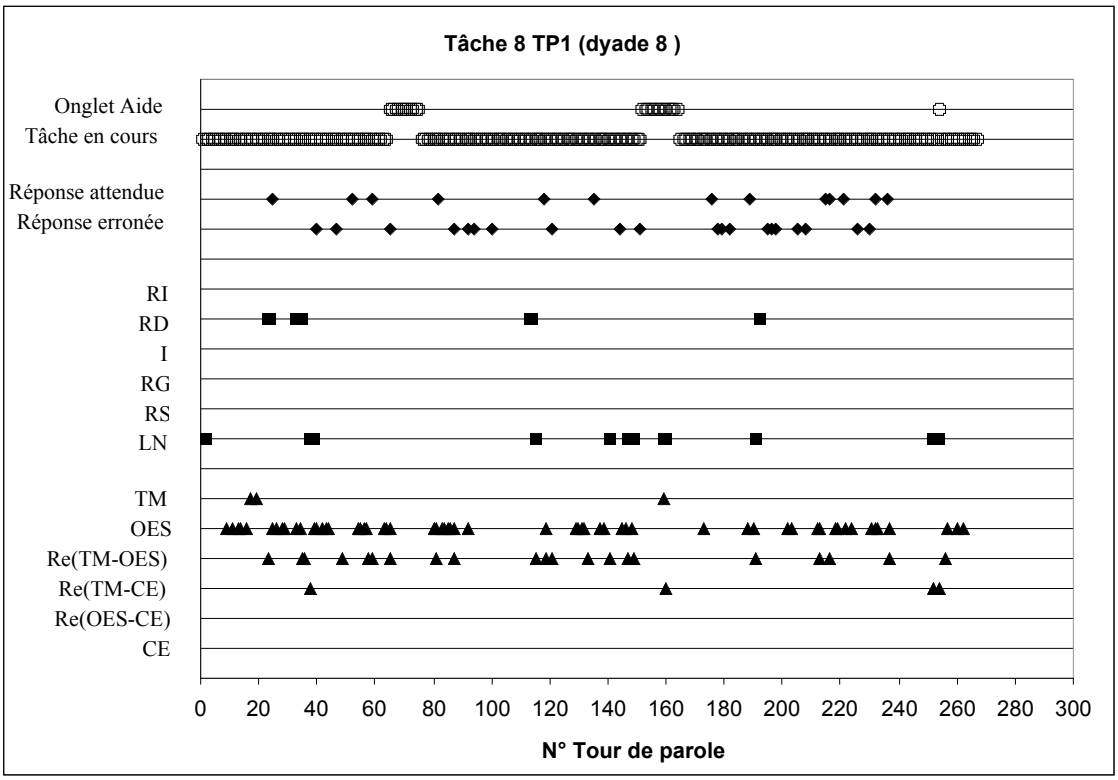
En comparant les données relatives à ces deux tâches, nous constatons, d'abord, que les durées de réalisation diminuent et n'atteignent plus des durées avoisinant la demi-heure (dyade 4, 8, 9). Cependant, pour la dyade 16 par exemple la durée de réalisation de la tâche 12 est deux fois plus longue et elle ne donne pas de réponse inexacte. Cela montre que les stratégies mises en œuvre par les dyades peuvent être différentes lors de la réalisation d'une tâche similaire. Il est important de noter que lors des tâches 21 et 22 du TP4, la durée de réalisation augmente (voir II.3.1). Ensuite, le nombre de dyades, réalisant au moins une réponse erronée, est divisé par deux (on passe de 18 à 9 dyades). Enfin, le nombre de dyades faisant appel à l'aide devient presque insignifiant.

Ainsi, à première vue, il semblerait qu'entre les tâches 8 du TP1 et 12 du TP4 les élèves auraient modifié leurs connaissances et construit le savoir attendu, ce qui laisserait supposer que la construction

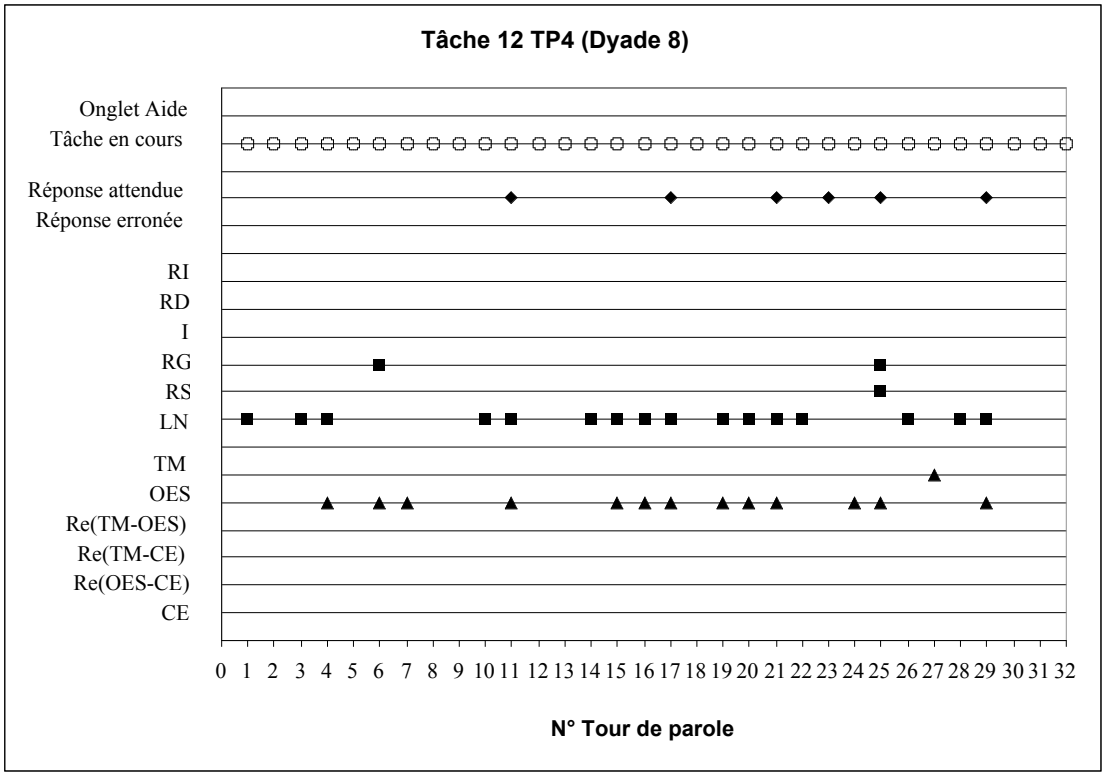
du savoir en jeu dans une tâche n'est pas immédiate : elle peut être réalisée en fin de tâche ou lors de la réalisation des tâches qui suivent.

II.3.2.2. Analyse qualitative

Pour cette analyse, nous prenons le cas de la dyade 8. Nous présentons successivement à partir des deux graphiques ci-dessous (Graphique 7 et Graphique 8) le résultat de l'analyse des verbalisations des élèves en fonction des niveaux de savoir et des systèmes sémiotiques utilisés. Nous ajoutons la navigation et le type de réponses données.



Graphique 7 : Activité des élèves au cours la tâche 8 du TP1 (durée 22'46)



Graphique 8 : Activité des élèves au cours de la tâche 12 du TP4 (durée 2'52)

Légende

Abréviation	Signification	Abréviation	Signification
TM	Théorie-modèle	LN	Langage naturel
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 objets événements simulés et champ expérimental	RD	Représentation dynamique
CE	Champ expérimental	DL	Dessin légendé

A partir du Graphique 7, nous notons que suite à la sélection des informations dans l'onglet Aide (entre les TdP 60-80 et 150-170), les élèves continuent à donner des réponses erronées qui sont corrélées à la mise en œuvre de relations entre les niveaux de savoir théorie-modèle et objets événements simulés qui correspondent parfois à des connaissances non attendues.

Ensuite, nous relevons qu'ils utilisent la représentation dynamique ce qui signifie qu'ils tentent d'identifier les grandeurs caractéristiques du son via le mouvement de la membrane du haut-parleur ce qui est impossible. D'après le nombre élevé de relations entre les niveaux de la théorie-modèle et des objets événements simulés (qui correspondent principalement à des connaissances non attendues), nous faisons l'hypothèse que cette "fréquentation" au savoir en jeu contribue d'une certaine manière à la construction de son sens. Par ailleurs, lors de la tâche 12 du TP4, les élèves fournissent les réponses attendues sans expliciter la relation entre la perception sonore et la vibration : ils se sont construits une représentation de la situation qui leur permet d'éviter d'expliciter les relations attendues.

En comparant les stratégies de réalisation de la tâche12 du TP4 mise en œuvre par la dyade 16 à celle de la dyade 8, nous constatons que la dyade 16 donne la réponse en deux phases, alors que la dyade 8 répond directement. La dyade 16 :

- détermine via la représentation graphique comment évolue les grandeurs caractéristiques de la tension électrique : elle compte les carreaux pour identifier l'amplitude et la période ;
- élabore la relation entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la tension électrique.

Nous donnons ci-dessous un exemple.

N° TdP 44 B *"L'amplitude elle est de combien / combien de carreaux"*
45 A *"L'amplitude elle est / c'est la même"*
46 B *"Deux carreaux oui"*
47 A *"Par contre la fréquence là elle est plus grande / non elle est plus petite là que là donc le son il va être plus grave"*
48 B *"Hé oui plus grave"*
49 A *"Non plus grave et identique / voilà"*

La dyade 8 identifie directement les grandeurs fréquence et amplitude à partir de la forme de l'oscillogramme :

N° TdP 4 B *"Il est plus aigu"*
5 A *"Euh*
6 B *"Parce qu'il va plus vite / il fait comme ça"*
7 A *"Non c'est lui qui va plus vite /"*
8 B *"Ouais"*
9 A *"Donc lui il est"*
10 B *"Donc plus grave"*
11 A *"Il est plus grave et moins fort et plus faible + validation /"*

II.3.3. En résumé

La comparaison de ces deux études successives (II.3.1 et II.3.2) met en évidence l'importance du temps d'apprentissage dans la construction du sens d'un savoir par les élèves. De plus, la fréquentation des élèves à un "même savoir" au cours d'une même tâche et de celles qui suivront favorisent la construction de ce savoir. Ensuite, tant que les connaissances des élèves à propos d'un savoir ne sont pas "stables", le contexte de la tâche (les représentations sémiotiques, la formulation de la consigne, les dispositifs expérimentaux...) semble être essentiel pour amener les élèves à prendre conscience de l'écart entre leur connaissance et le savoir en jeu. Cette stabilité est confortée par les graphiques précédents : la régularité de la mise en œuvre des niveaux de savoir et de l'utilisation des systèmes sémiotiques montre que les élèves n'élaborent pas diverses stratégies pour parvenir à donner la solution au problème. Cela s'expliquerait par le fait que les élèves se sont construit une représentation du problème, du dispositif expérimental et du savoir en jeu. Enfin, nous avons vu l'apport d'une tâche de réinvestissement (tâche 22 et tâche 12 du TP4) qui permet aux élèves soit de conforter leurs connaissances, soit de les déstabiliser ce qui peut provoquer une navigation en vue de parvenir à dépasser leurs difficultés.

II.4. Conclusion

Nous avons montré que l'intégration de différentes représentations d'un même savoir (quand cela est possible), dans une page-écran ou dans les onglets Aides, étaye l'activité de modélisation des élèves. Ainsi, lors de tâche 3 "mesure de la fréquence", la représentation qui aide les élèves est la définition de

la fréquence car elle "colle" avec la consigne, lors de la tâche 4 "mesure de l'amplitude" c'est le dessin légendé car il est proche de la représentation dynamique et indique physiquement en quoi consiste la mesure de l'amplitude.

Le second point porte sur la succession de tâches qui donnent lieu à la mobilisation d'un "même savoir" à partir de représentations différentes ; celle-ci s'avère judicieuse car elle permet aux différentes dyades :

- de vérifier la validité de leur connaissance dans un autre contexte (représentation du savoir, dispositif expérimental, etc.),
- de se représenter une nouvelle situation à partir de laquelle ce "même savoir" est censé fonctionner,
- de prendre conscience de l'écart entre leur connaissance et le savoir attendu,
- de mettre en œuvre des stratégies différentes soit en réalisant la tâche en passant du champ expérimental au modèle, soit en restant au niveau du modèle associé à ces différentes représentations.

Enfin, dans le cas où les deux tâches sont situées dans des séquences différentes, nous avons pu pointer que l'acquisition d'un savoir semble ne pas être "immédiate" et que la fréquentation à un même savoir au cours de séquences différentes peut favoriser sa construction.

Chapitre 10
En quoi le milieu créé favorise t-il la résolution d'un problème par les élèves ?

Cette dernière analyse a pour intérêt de montrer que le milieu, tel qu'il est organisé (Chapitre 3 et 4), en tant que "système *antagoniste du système enseigné* (les dyades)[63]*, ou précédemment enseigné"* (Brousseau, 1986, p. 89) conduit les élèves à des comportements "pertinents" *"indices de l'appropriation du savoir"* (Brousseau, 1998, p. 98). Nous organiserons l'analyse selon deux axes. Le premier porte sur les éléments de la situation qui peuvent aider les élèves à résoudre le problème posé que ces derniers soient dans une situation d'échec ou non. Le second axe s'attache à identifier l'existence d'un certain contrat entre les élèves et les éléments de la situation (c'est-à-dire une intentionnalité des élèves dans les actions réalisées).
Ainsi, nous serons amenés à répondre aux deux questions suivantes :
En quoi les éléments de la situation peuvent-ils favoriser la construction de la réponse attendue lors d'une situation "d'échec" ?
Existe-t-il un contrat implicite ou explicite entre les élèves et certains éléments du milieu ?

Les hypothèses de conceptions qui sous-tendent cette analyse (Chapitre 3) sont les suivantes :

- Hypothèse 1 : Les ressources proposées aux élèves sont censées favoriser la résolution du problème.
- Hypothèse 2 : Le système d'évaluation de la réponse ne donnant pas la réponse attendue est supposé entretenir la résolution du problème par les élèves.

I. En quoi les éléments de la situation peuvent-ils favoriser la construction de la réponse attendue ?

Les analyses du chapitre précédent (Chapitre 9) ont permis de mettre en évidence que les élèves mobilisent des connaissances en utilisant divers éléments de la situation :

- lors d'une explication entre les deux élèves à propos d'un terme de l'énoncé ;
- suite à une navigation (onglets, page-précédente, etc.) ;

[63] C'est nous qui rajoutons.

- lors de l'utilisation du matériel expérimental ;
- suite à la réalisation successive de tâches dont l'objet est d'étudier un même phénomène ;
- en coordonnant des informations relevant de systèmes sémiotiques différents.

Il s'agit maintenant de regarder comment les élèves s'appuient sur les éléments de la situation pour résoudre un problème. Nous nous intéresserons aux quatre éléments de la situation suivants : la consigne, le feed-back retourné lors de la demande de validation de la réponse, les ressources (en particulier l'onglet Aide), le bouton "validation". Comme nous l'avons vu dans le cadre théorique, ces éléments se réfèrent aux trois principaux axes de la théorie des situations (Chapitre 3) : la dévolution (le feed-back, les ressources), l'institutionnalisation (le bouton "validation" de la réponse), le milieu (la consigne, le feed-back, les ressources, le bouton "validation"). De plus, ces éléments résultent de la transformation "informatique" des éléments de la situation expérimentale en classe tels que la fiche de TP, l'enseignant, le matériel expérimental (Chapitre 4 II).

Pour répondre à la question posée dans cette partie, nous décrirons en parallèle la mise en œuvre des niveaux de savoir (descripteurs des connaissances des élèves), l'"état de la réponse" (inexacte, exacte), la lecture de la consigne et la navigation des élèves lors du recueil d'information. Nous analyserons ainsi la démarche d'une dyade lors de la réalisation des trois tâches qui posent le plus de difficultés aux élèves (Chapitre 8). Les raisons de ce choix sont les suivantes :

- Ces tâches proposent des feed-back différents suite à la demande de validation :
  - T3 du TP1 le feed-back retourne le message suivant : "*Attention !!! La fréquence saisie est incorrecte. Il est conseillé de consulter l'aide proposée puis de faire à nouveau la mesure*". Le message incite à utiliser les différentes informations placées dans l'onglet Aide.
  - T8 du TP1 le feed-back est un point lumineux pointant l'état de la réponse
  - T13 du TP3 le feed-back renvoie le message suivant : "*Vous souvenez-vous de ce que vous avez répondu lors de l'interprétation microscopique ? Vous pouvez utiliser l'aide dans la page ci-contre, le cours ou le dictionnaire de la bibliothèque avant de répondre à nouveau*". Le message incite à revenir au modèle permettant d'interpréter la propagation du son et à utiliser les différentes informations placées dans l'onglet Aide.
- Ces tâches donnent lieu à des propositions de réponses de natures différentes :
  - T3 du TP1 : la valeur de la mesure de la fréquence.
  - T8 du TP1 : la sélection de quatre réponses parmi 12 propositions.
  - T13 du TP3 : la sélection d'au moins l'une des propositions.
- Ces tâches sont plus ou moins proches de la page-écran introductive du modèle à mettre en œuvre:
  - Les tâches T3 et T8 du TP1 sont précédées de la page-écran présentant les modèles en jeu.
  - La tâche T13 du TP3 est la dernière tâche du TP et n'est pas précédée du modèle en jeu.

I.1. Analyse de la résolution du problème de la tâche T8 du TP1

Nous rappelons que cette tâche a pour objectif d'amener les élèves à mettre en relation les caractéristiques du son avec les grandeurs caractéristiques de la vibration en comparant les sons émis par le haut-parleur de référence et le haut-parleur à étudier. Il est proposé successivement six sons qui nécessitent à chaque fois une demande de validation de la part des élèves et dont le message retourné est un point coloré désignant l'état de la réponse. Au sixième coup, il est renvoyé soit un message qui

demande de recommencer le test "*Le nombre de bonnes réponses est insuffisant. Il est conseillé de consulter l'aide puis de faire à nouveau le test.*" soit de poursuivre la séquence "*Vous avez eu au moins cinq bonnes réponses sur six : c'est très bien. Vous pouvez soit refaire cette activité soit continuer le TP"*. La Figure 54 suivante présente la page-écran de la tâche.

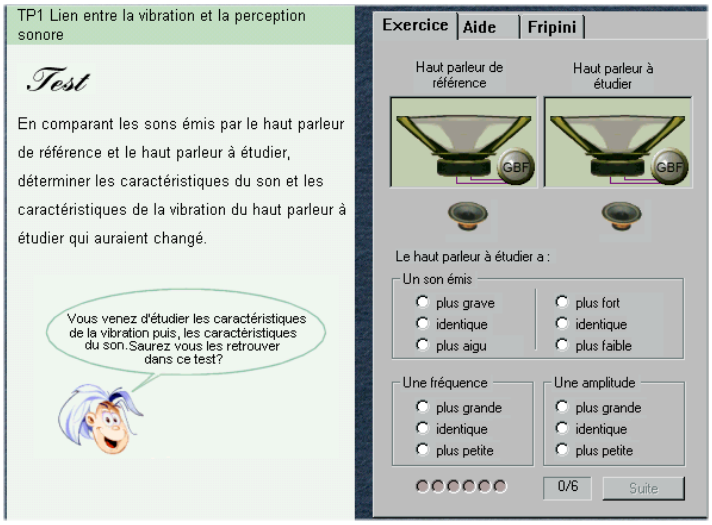


Figure 54 : Tâche 8 "Test" du TP1

Nous présentons successivement deux analyses : la première est quantitative, elle décrit les quatre dyades selon les données : durée, nombre de réponses inexactes, nombre d'appels à l'aide. La seconde présente une analyse qualitative et donne lieu à la description de l'activité d'une dyade en fonction des niveaux de savoir, de la navigation, de l'"état de la réponse", de la lecture (consigne, information, etc.).

I.1.1. Etude quantitative

Le tableau suivant (Tableau 108) présente les données associées aux quatre dyades.

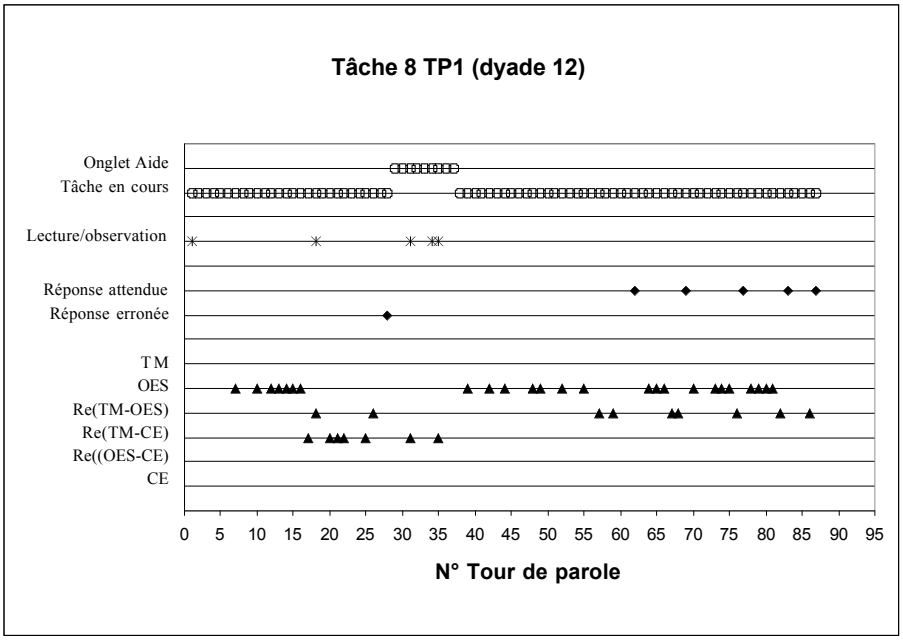
	Dyade 16			Dyade 12			Dyade 20			Dyade 8		
	Durée Mm:s	NAA	NRI	Durée Mm:s	NAA	NRI	Durée Mm:s	NAA	NRI	Durée Mm:s	NAA	NRI
Onglet Test	3:52			6:09			4:09			18:41		
Onglet Aide				0:58	1	1				3:46	3	28
Onglet Fripini							0:05			0:16		
Durée totale	3:52			7:07			4:14			22:43		

Tableau 108 : Description des quatre dyades

La dyade 8 est celle qui possède les valeurs les plus élevées pour les trois données, suivie de la dyade 12. Les deux autres dyades qui donnent des réponses exactes ont des durées comparables. L'analyse qualitative repose sur la dyade 12 qui a des traits communs avec les trois autres dyades.

I.1.2. Etude qualitative

Le Graphique 9 permet à la fois de présenter l'activité de modélisation et la manière dont la dyade se réfère aux éléments de la situation.



Graphique 9 : Niveaux de savoir, réponses, lecture, navigation de la dyade 12 lors de la tâche 8 du TP1

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

Ce graphique permet de découper la démarche de résolution du problème en trois étapes en fonction de la navigation et des connaissances mobilisées des élèves.

I.1.2.1. Première phase : proposition de stratégies et demande de validation de la réponse

Suite à la lecture de la consigne (N° TdP 1), et à une période de prise en main des éléments composant la tâche (N°TdP 2-6), les élèves commencent à résoudre le problème. Ils écoutent les sons associés à chacun des haut-parleurs et répondent à la première question *"par rapport au son de référence, le son étudié est …"*. Cela les mène à mettre en œuvre des connaissances relatives aux objets événements simulés (N°TdP 7 à 16).

T8 TP1 N° TdP 2 A *"Haut-parleur à étudier"*
3 B *"Mets le en route"*
4 A *"Hé comment"*
5 B *"Appuie sur le truc là"*
6 A *"Et celui là aussi"*
7 B *"Non attends d'abord lui il est aigu un son émis"*

Ainsi, il semble que les élèves se sont représenté assez aisément le but du problème, étant donné qu'ils ne retournent pas lire la consigne.

Ensuite, ils déterminent les grandeurs caractéristiques de la vibration (deuxième partie de la consigne) ce qui les amènent à construire des relations (N°TdP 17 à 26). La multiplicité des relations mises en œuvre est révélatrice de la difficulté à modéliser ainsi que de la mise en place de stratégies. En effet, nous relevons deux stratégies associées à chacun des élèves :

- La stratégie de l'élève B se rapporte à la tâche précédente laquelle présentait en langage naturel les relations entre les grandeurs caractéristiques de la vibration et la perception sonore associée.

  T8 TP1 N° TdP 17 B *"Fréquence bein quand la fréquence est grande on a dit le son est petit (..)"*
- La stratégie de l'élève A consiste à utiliser les représentations dynamiques des deux haut-parleurs pour comparer la fréquence et l'amplitude (ce qui est impossible : on observe un mouvement flou de la membrane). Cette observation est représentée par la seconde astérisque.

  T8 TP1 N° TdP 18 A *"Ouais mais là on ne la voit pas c'est quoi / qu'est ce que tu as dit là"*

L'élève A abandonne ensuite sa stratégie au profit de celle de B. Ils tentent alors ensemble de reconstruire les relations proposées dans la tâche précédente en utilisant des termes peu liés aux caractéristiques du son (N° TdP 25).

T8 TP1 N° TdP 19 B *"Attends quand la fréquence"*

20 A *"Plus la fréquence est grande plus le son émis heu / plus grande"*

21 B *"Plus petit"*

22 A *"Est plus grande"*

23 B *"Non c'est l'amplitude"*

24 A *"L'amplitude"*

25 B "*L'amplitude c'est quand bein là tu mets petite c'est quand l'amplitude est petite c'est faible et <u>quand la fréquence c'est fort</u> enfin c'est / plus grave"*

La réponse donnée est inexacte (N°TdP 28) et ils décident de rechercher de l'information à partir de l'onglet Aide car ils semblent prendre conscience de l'écart entre leurs connaissances et celles attendues :

T8 TP1 N° TdP 28 A *"C'est faux"*

29 B *"Donc je ne sais pas alors c'est dur il y a une aide"*

I.1.2.2. Deuxième phase : appel de l'onglet 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 lecture et la reformulation des définitions, donnent lieu à deux relations (Graphique 9) (N°TdP 31 et N°TdP 35).

N°TdP 31 B "*La fréquence est faible quand un son est grave le truc est faible*" (reformulation de la définition)

34 A "*Attend un son est d'autant plus faible que l'amplitude de vibration"* (lecture)

35 B "*Quand un son est faible l'amplitude est petite"* (reformulation de la définition)

I.1.2.3. Troisième phase : réinvestissement des connaissances lors d'un nouvel item

De retour dans l'exercice, ils répondent aux deux questions à partir d'un nouveau son et cette fois la réponse est exacte et le restera jusqu'à la fin de la tâche.

I.1.3. En résumé

Nous venons de montrer comment les élèves articulent les différents éléments de la situation durant la mise en œuvre de leurs stratégies : la consigne, les propositions de réponse, les simulations proposées, l'onglet Aide, les items successifs. Nous avons remarqué que ce n'est pas la consigne qui leur posait problème mais l'écart entre leurs connaissances et celles attendues : l'onglet Aide permettant aux

élèves d'élaborer les connaissances attendues. De ce fait, le milieu construit semble favoriser la résolution du problème en donnant l'occasion aux élèves :

- de se rendre compte de leur manque de connaissances pour résoudre le problème,
- d'évaluer personnellement et à plusieurs reprises leurs solutions,
- de recueillir de nouvelles informations nécessaires pour construire de nouvelles stratégies de résolution.

Nous tenons à préciser que pour la dyade 8, l'appel de l'onglet Aide ne lui permet pas de construire les relations attendues car elle ne parvient pas à se rendre compte de l'écart entre ses connaissances et celles attendues. Elle en arrive même à dire que les informations proposées dans l'onglet Aide ne lui sont pas utiles pour résoudre le problème.

N° TdP 77 A *"Je trouve que l'aide là dans celui là là elle aide pas trop hein"*
78 B *"Oui"*
79 A *"Si elle aide mais (...)"*

Ce dernier point illustre d'une part la difficulté des élèves lorsqu'ils ne parviennent pas à prendre conscience de leur manque de connaissances. D'autre part, il montre que lors de la résolution de certains problèmes, le feed-back et les aides proposées nécessiteraient d'être plus "centrés" sur les difficultés des élèves.

I.2. Analyse de la résolution du problème de la tâche T13 du TP3 par la dyade 16

L'objectif de cette tâche est d'amener les élèves à vérifier et à réfuter une à une chacune des propositions au sujet de la propagation du son en se rapportant à leur modèle personnel, au modèle particulaire, à l'onglet Aide (Figure 55). Lors de la demande de validation, dans le cas où la réponse serait inexacte, le message suivant est retourné : "*Vous souvenez-vous de ce que vous avez répondu lors de l'interprétation microscopique ? Vous pouvez utiliser l'aide dans la page ci-contre, le cours ou le dictionnaire de la bibliothèque avant de répondre à nouveau*". Ce conseil peut avoir un effet de contrat sur le fonctionnement des élèves : une démarche leur est indiquée pour déterminer la réponse au problème. Dans le cas où la réponse serait exacte, on donne un premier élément de réponse : "*C'est la bonne réponse. Le son est causé par une vibration qui se propage au travers du milieu de propagation de la source au récepteur sans déplacement de matière. C'est ce que l'on appelle l'onde sonore*".

Comme précédemment nous présentons successivement une analyse quantitative et qualitative.

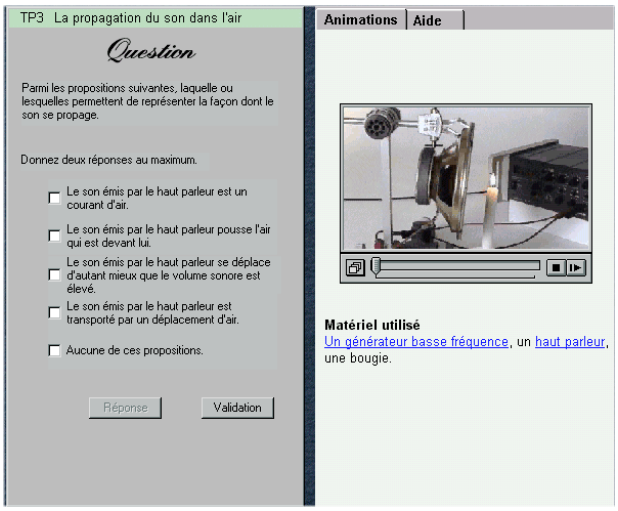


Figure 55 : Tâche 13 du TP3

I.2.1. Analyse quantitative

Le Tableau 109 présente les quatre dyades selon les données : durée de réalisation de la tâche, nombre d'appels à l'Aide (NAA) et nombre de réponses inexactes (NRI).

Dyade 16			Dyade 12			Dyade 20			Dyade 8		
Durée	NAA	NRI	Durée	NAA	NRI	Durée	NAA	NRI	Durée	NAA	NRI
5:31	1	2	5:42	1	2	2:53	0	0	6:02	1	3

Tableau 109 : description des quatre dyades selon la durée de réalisation de la tâche, le nombre de réponses inexactes et le nombre d'appels à l'onglet Aide

Légende
NAA : nombre d'appels à l'onglet Aide
NRI : nombre de réponses inexactes
5:42 : cinq minutes quarante deux secondes

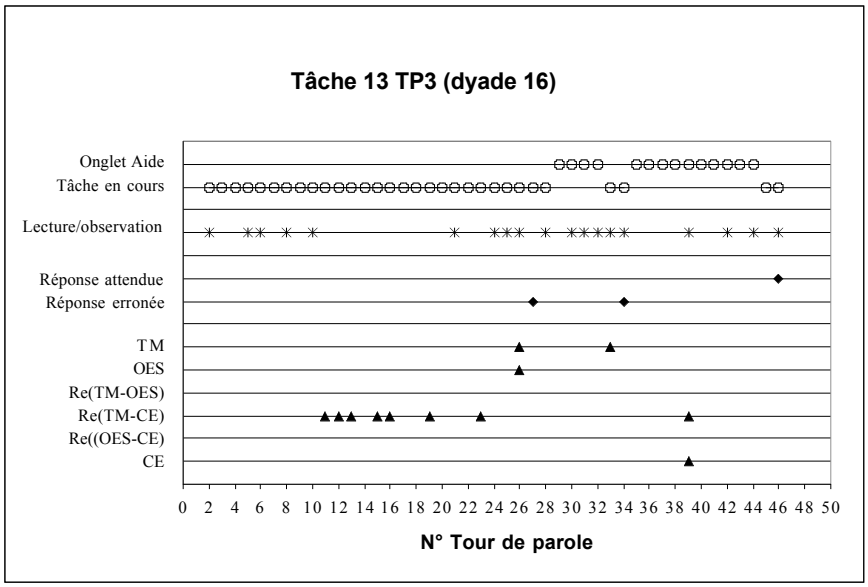
Nous remarquons que pour trois dyades sur les quatre (16, 12, 8), la durée de réalisation, le nombre d'appels à l'onglet Aide et de réponses inexactes sont similaires. De plus, ces trois dyades sélectionnent les informations conseillées (Tableau 110). Cela peut signifier qu'il existe un contrat implicite entre les élèves et les messages qui sont envoyés (II). L'étude qualitative reposera sur la dyade 16 car elle donne l'occasion d'apprécier, sur un plus large éventail, l'utilisation de différents éléments de la situation durant l'élaboration de la réponse.

	Dyade 16	Dyade 12	Dyade 20	Dyade 8
Définition (Propagation)		1		
Animation (propagation)	1			1
Définition (Vibration)		1		
Animation (Vibration)	1			
Explication (Interprétation microscopique)	1	1		1
Animation (Interprétation microscopique)	1			

Tableau 110 : Description des informations sélectionnées par les trois dyades

I.2.2. Analyse qualitative

Le Graphique 10 permet à la fois de présenter l'activité de modélisation et la manière dont les élèves se réfèrent aux éléments de la situation.



Graphique 10 : Niveaux de savoir, réponses, lecture, navigation de la dyade 16 lors de la tâche 13 du TP3

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

Il est à noter l'importance de la lecture/observation lors de la réalisation de cette tâche.

I.2.2.1. Première phase : lecture et utilisation du matériel

Suite à la lecture de l'énoncé (N° TdP 1-5), les élèves lisent successivement les diverses propositions de réponses et les acceptent ou refusent sans explication (en terme de "oui/non").

N° TdP 5 A *"Mais si c'est ça + parmi les propositions suivantes laquelle ou lesquelles permettent de représenter la façon dont le son se propage / le son émis par le HP est un courant d'air // non"*

6 B *"Quoi / le son émis par le HP est un courant d'air / non / le son émis par le HP pousse l'air qui est devant lui"*

7 A *"oui (clic) // non"* (pour la suivante)

A la lecture de la troisième proposition (N° TdP 8-9), la dyade va justifier sa réponse. Or, elle semble se rendre compte qu'elle éprouve des difficultés pour élaborer les relations entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la vibration (lors du N° TdP 11 l'élève A mobilise une connaissance non attendue). Ainsi, à la fois pour vérifier leurs connaissances et la proposition, la dyade réalise une expérience à partir du matériel expérimental (N° TdP 14-23).

N° TdP 8 B *"Se déplace d'autant mieux que le volume sonore est élevé / non"*

9 A *"Ah attends attends / si / non / je ne sais pas"*

10 B *"Le son émis par le HP se déplace d'autant mieux que le volume"*

11 A *"Attends attends on avait vu la fois dernière que quand la fréquence elle était basse ou haute que le son il était plus fort / la fréquence elle est haute ? ou plus basse"*

12 B *"Bein haute / parce que regarde"*

13 A *"Donc ça bouge de plus en plus"*

14 B *"C'est comme ça que l'on fait"* (utilise le matériel)

A partir du Graphique 10, nous remarquons que cette phase de manipulation peut être identifiée par l'apparition de niveaux de savoir et l'arrêt de la lecture. La réalisation de l'expérience aide les élèves à en déduire que le son se déplace d'autant mieux que le volume sonore augmente car ils ont observé que la flamme de la bougie bouge quand on fait varier l'amplitude (N° TdP 19). L'acceptation de la proposition par les élèves relève plus de la prise de conscience d'une modification de la vibration de l'air que d'une explication de la propagation du son selon le volume sonore.

N° TdP 19 A *"Oui mais la bougie elle ne bouge pas plus quand c'est // quand ça change d'amplitude // ah si"*

20 B *"Ah si"*

21 A *"Donc heu le son émis par le haut-parleur se déplace d'autant mieux que le volume sonore est élevé"*

22 B *"Ah c'est dans ce sens là ou dans l'autre"*

23 A *"Non c'est dans ce sens là parce que regarde quand on bouge <u>l'amplitude le volume il monte / la membrane elle se déplace de plus en plus / plus haut / du coup l'air il se déplace plus ouais enfin tu comprends</u>"*

Cette phase de discussion semble favoriser par la suite une explication des propositions en mobilisant des connaissances issues de tâches précédentes (N° TdP 26) :

N° TdP 25 A *"Le son émis par le haut-parleur pousse l'air qui est devant lui / je ne suis pas sûre"*

26 B *"Le son émis par le haut-parleur est transporté par un déplacement d'air / oui / non <u>puisqu'on a dit que cela ne se déplace pas l'air</u> / c'est les particules"*

Enfin, les élèves demandent la validation de leur réponse qui se révèle inexacte (N°TdP 27). Avant de proposer une nouvelle réponse, les élèves semblent avoir besoin d'informations pour répondre.

N° TdP 28 B *"Je ne suis pas sûre pour celui là / le son émis par le HP pousse l'air qui est devant lui /"*

29 A *"<u>Mets aide</u>* (Onglet Aide) *propagation / vibration / interprétation microscopique"*

I.2.2.2. Deuxième phase: appel de l'onglet Aide et demande de validation

A la lecture du feed-back, les élèves vont recueillir des informations dans l'onglet Aide, comme cela est suggéré (N° TdP 30) :

N°TdP 30 B *"C'est ça qu'ils nous ont demandé d'aller voir / les premières particules à vibrer"*

Cette lecture des informations relatives au modèle particulaire conduit la dyade à réfuter deux propositions et à demander la validation de leur réponse (N° TdP 34), laquelle est à nouveau inexacte. Toutefois, il est important de remarquer que les élèves écartent les propositions en se plaçant au niveau du modèle proposé par l'onglet Aide.

N° TdP 32 B *"<u>Il n'y a pas déplacement de matière de l'émetteur au récepteur</u>"*

33 A *"Ok ça ne pousse pas l'air / ce n'est pas un courant d'air non plus puisque cela ne pousse pas l'air"*

34 B *"Il n'y a pas un déplacement d'air / donc heu voilà / non"*

I.2.2.3. Troisième phase: appel de l'onglet Aide et demande de validation

Lors de cette dernière phase, les élèves vont lire, observer et discuter à propos des informations proposées dans l'onglet Aide (mobilisation de connaissances). Cependant, ne parvenant pas à réfuter la

troisième proposition "*le son émis par le haut-parleur se déplace d'autant mieux que le volume sonore est élevé*", elle la retire avec hésitation.

N° TdP 44 B *"C'est bon on s'en rappelle de ça"* (enfin regarde l'animation interprétation microscopique)

45 A *"C'est peut être ça qui est faux"* (à propos de la proposition 3)

I.2.3. En résumé

Au cours de cette analyse, nous avons observé que les éléments de la situation donnent lieu à des activités de différentes natures de la part des élèves :

- Une lecture explicite des propositions ;
- Un choix plus ou moins commun dans les propositions choisies ;
- Un suivi du conseil donné dans le message du Feed-back suite à la demande de validation de la réponse ;
- Un appel de l'onglet Aide suite à une prise de conscience d'un manque d'information pour choisir une solution ;
- Une justification des choix des réponses combinée à la mobilisation de connaissances qui résultent du recueil d'informations dans l'onglet Aide ou de l'utilisation du matériel expérimental. Ces éléments de la situation favorisent ainsi la mise en œuvre de nouvelles stratégies de résolution.

Cette analyse nous a permis d'observer que les interactions de la dyade avec le milieu évoluent en fonction des connaissances des élèves : tant que cette dernière peut de son point de vue répondre au problème, elle n'utilisera pas les informations fournies par le milieu : l'onglet Aide. Elle tentera d'y répondre en utilisant son savoir-faire (réalisation de l'expérience) et ses propres connaissances issues des tâches précédentes (elle se rendra même compte qu'elle met en œuvre une connaissance non attendue). Le feed-back joue donc un rôle déterminant dans ce problème pour amener les élèves à mettre en œuvre le modèle qu'ils ont vu auparavant.

I.3. Analyse de la résolution du problème de la tâche T3 du TP1 pour la dyade 12

L'objet de cette tâche est de favoriser le réinvestissement de la grandeur fréquence lors d'une mesure qui va nécessiter la mobilisation, de la part des élèves, des connaissances relatives aux notions d'aller-retour et de fréquence (Figure 56). La demande de validation peut conduire à deux messages : dans le cas où cette dernière est exacte, le message renvoyé est simple et encourage l'élève : *"Très bien !!! Vous avez réussi"*. Inversement, lorsque la réponse est inexacte, le message retourné précise l'état de la réponse et incite l'élève à utiliser l'une des ressources avant de proposer une nouvelle réponse *"Attention !!! La fréquence saisie est incorrecte. Il est conseillé de consulter l'aide proposée puis de faire à nouveau la mesure"*. A aucun moment nous ne limitons le nombre de demandes de validation. Comme précédemment nous proposons ci-dessous une analyse quantitative et qualitative.

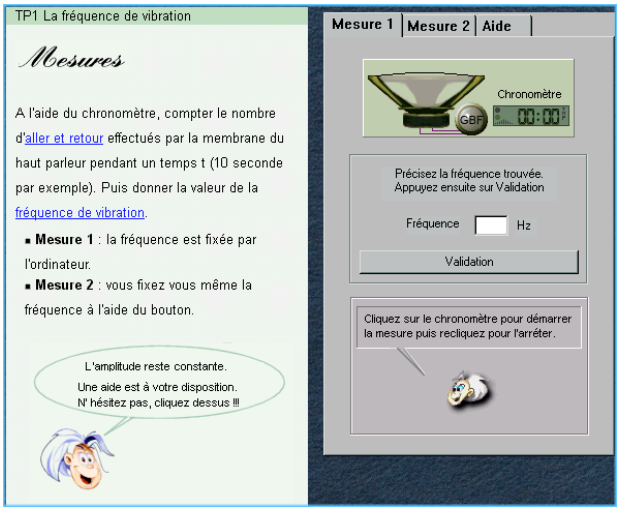


Figure 56 : Tâche 3 du TP1

I.3.1. Etude quantitative

Nous allons étudier le tableau suivant et relever les points remarquables en fonction des données durée de réalisation, nombre d'appels à l'aide (NAA) et le nombre de réponses inexactes (NRI).

	Dyade 16			Dyade 12			Dyade 20			Dyade 8		
	Durée	NAA	NRI	Durée	NAA	NRI	Temps	NAA	NRI	Temps	NAA	NRI
Mesure 1	2:01		0	4:31		2	9:18		8	3:17		0
Aide	0:55	0		0:23	1		3:50	6		0:24	1	
Durée totale	2:56			4:54			13:08			3:41		

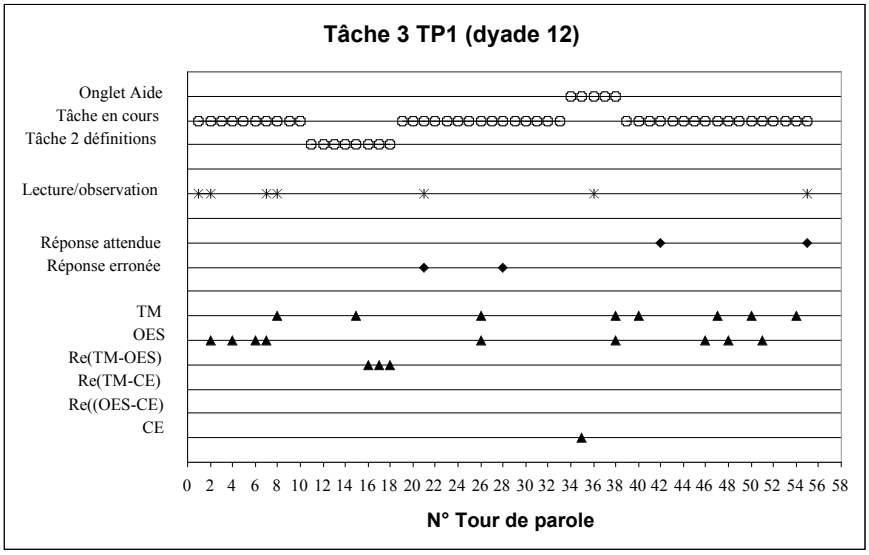
Tableau 111 : Description des quatre dyades lors de la tâche 3 "Mesure 1"

Légende
NAA : nombre d'appels à l'onglet Aide
NRI : nombre de réponses inexactes
2:01 : deux minutes une seconde

Nous étudierons la dyade 12 car elle permet de présenter plus nettement la manière dont la dyade s'est reposée sur les éléments de la situation pour construire la réponse attendue.

I.3.2. Etude qualitative

Le Graphique 11 permet à la fois de présenter l'activité de modélisation et la manière dont les élèves se réfèrent aux éléments de la situation.



Graphique 11 : Niveaux de savoir, réponses, lecture, navigation de la dyade 16 lors de la tâche 13 du TP3

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

En suivant la navigation réalisée par la dyade 12, nous pointons trois phases principales dans la démarche de résolution du problème.

I.3.2.1. Première phase : lecture de l'énoncé et mise en œuvre de la mesure

La dyade débute par une lecture de la définition de la fréquence (n°1 à 2 des tours de parole), réalise ensuite une première mesure qui relève du niveau des objets événements simulés (OES) (N°TdP 4 à 10) : les élèves répondent à la première phase de la consigne *"Compter le nombre d'aller-retour ..."*. Puis, ils lisent la seconde partie de l'énoncé (N°TdP 10), le niveau théorie-modèle (TM) en témoigne et décident alors de retourner dans la page-écran définition de la fréquence (N°TdP 13 à 20). Nous supposons qu'ils identifient le problème : déterminer la valeur de la fréquence.

N°TdP 9 A "*Dix huit / précise*"

10 B "*Préciser la fréquence trouvée / tu retournes ils disaient comment on faisait la fréquence*"

I.3.2.2. Deuxième phase : retour à la tâche 2 "Définition de la fréquence": la cueillette d'informations

Lors de cette première navigation, les élèves construisent le 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°TdP 15 à 18) indiqué par la mise en œuvre des relations Re(TM-OES). Lors de cette construction, nous constatons qu'ils mettent en relation les deux représentations du savoir : la définition (langage naturel) et la simulation (représentation dynamique).

N° TdP 15 A *"Mais attends tu le calcules comment le la fréquence"*

16 B "C'est lui en une seconde" (ils expliquent l'animation en prenant en compte la définition de la fréquence de vibration)

17 A "On n'a qu'à compter en une seconde combien ça fait"

18 B "Bein oui facile bein si en dix secondes il fait dix huit en une seconde il fait 1,8 non" (ils reviennent à la mesure)

Ainsi, la prise de conscience du manque d'information les amène à retourner dans la page-écran qui présente le modèle en jeu.

Cependant, de retour dans la page-écran de la mesure de la fréquence, la réponse proposée est inexacte (N°TdP 23). Malgré le conseil du feed-back de consulter une aide, ils recommencent une mesure (OES) (N°TdP 28) et proposent une nouvelle réponse inexacte (N°TdP 30). Ils décident alors de consulter l'onglet Aide (N° TdP 32). En effet, la connaissance aller-retour est mal mobilisée car ils comptent 1 pour l'aller et 1 pour le retour.

N° TdP 28 B *"Deux trois quatre dix bein 1"*

29 A *"Bein"*

30 B *"A priori il était pas comme ça tout à l'heure"* (réponse inexacte)

31 A *"Bon"*

32 B *"Putain l'aide"*

33 A *"Ça ne va rien (?)"*

34 B *"Fout l'aide"*

I.3.2.3. Troisième phase : appel de l'onglet Aide et validation d'une nouvelle réponse

Lors de l'appel de l'onglet Aide les élèves font une seule sélection qui correspond à l'intitulé "Définition de l'aller-retour" qui se réfère au champ expérimental (N°TdP 37). La lecture de cette définition les amène à prendre conscience de leur erreur. Cette unique sélection laisse supposer que les élèves sont convaincus d'une mobilisation appropriée d'une connaissance relative à la fréquence. La réponse qui s'ensuit et celle attendue.

N°TdP 36 B "*Ah oui mais non*"

37 A "*Eh tu t'es gouré c'est un aller-retour*"

Ainsi, l'aide a conduit la dyade à mettre en œuvre le champ expérimental pour reconstruire la relation entre les deux niveaux théorie-modèle et objets événements simulés (Re(TM-OES)). Elle est donc déterminante pour favoriser la mise en œuvre de différents niveaux de savoir.

I.3.3. En résumé

Cette dernière analyse permet de montrer à nouveau que lors de la résolution d'un problème il est important que les élèves puissent :

- avoir des ressources intégrées dans la page-écran (l'onglet Aide),
- revenir dans la page-écran présentant le modèle,
- tester à plusieurs reprises leurs stratégies afin de prendre conscience de la nécessité de comparer leurs connaissances au savoir en jeu. Pour cela, il faut que le concepteur du logiciel prévoit un feed-back qui incite à rechercher des informations.
- retourner régulièrement à la consigne présente dans la page-écran.

I.4. En conclusion

Cette étude illustrée de trois exemples de résolution de tâches (celles qui posent le plus de problèmes aux élèves) permet de répondre à la question "en quoi les éléments de la situation peuvent-ils favoriser la construction de la réponse attendue". En effet, nous avons relevé, selon les trois types de tâches, que les élèves ont besoin :

- d'identifier le problème au travers de la lecture de la consigne par exemple,
- de mettre en œuvre des stratégies nouvelles en utilisant des informations issues des divers éléments de la situation : matériel, onglet Aide, connaissances personnelles,
- de tester par eux-mêmes leurs différentes stratégies ce qui leur permet de se rendre compte du manque d'informations ou de la "bonne marche de leurs stratégies",
- d'être motivés pour rechercher des informations,
- d'avoir des informations au moment où ils le souhaitent.

De plus, nous avons noté que c'est au cours de l'appel à une ressource que les élèves construisent du sens relatif au savoir en jeu.

II. Existe-t-il un contrat implicite ou explicite entre les élèves et certains éléments du milieu ?

Pour terminer cette analyse, nous allons tenter de montrer qu'il existe un "contrat" entre les élèves et le milieu créé qui donne lieu alors à des comportements particuliers des élèves.

II.1. Des fonctionnements remarquables et non isolés

II.1.1. Des durées particulièrement élevées

Au cours de l'analyse globale (Chapitre 8), l'analyse des durées de réalisation des tâches a permis de noter que certaines dyades pouvaient passer jusqu'à vingt minutes dans une même tâche. Ce premier point nous amène à supposer que les tâches construites permettent aux dyades de poursuivre la résolution du problème. En d'autres termes, les éléments de la situation entretiennent l'engagement des élèves dans la résolution du problème afin que ces derniers en cas d'échec n'abandonnent pas.

II.1.2. Des appels à l'aide réguliers

Nous avons noté que, pour la plupart des tâches, les élèves se réfèrent à l'onglet Aide, quand il est présent, au moins une fois avant ou suite à une demande de validation (Chapitre 8). En l'absence d'onglet Aide, il est rare que les élèves naviguent pour recueillir des informations mis à part s'ils ne peuvent pas, par eux-mêmes, répondre à la question (T9 TP3).

Ainsi, en considérant ces fonctionnements d'élèves et en tenant compte des résultats de la question précédente (I En quoi les éléments de la situation peuvent-ils favoriser la construction de la réponse attendue ?), il semble que la mise à la disposition de l'onglet Aide, dont les informations proposées sont sélectionnées selon les connaissances que les élèves sont censés mobiliser, favorise la résolution des problèmes d'une manière autonome et amène les élèves à poursuivre leur engagement dans la résolution du problème. Pour preuve, certaines des tâches pour lesquelles les durées de résolution sont

les plus longues coïncident avec celles dont le nombre d'appels à l'onglet Aide est le plus élevé. Cet engagement est aussi dû au feed-back dont le message rappelle aux élèves que s'ils le souhaitent, il leur est proposé une aide.

II.1.3. Des réponses inexactes pouvant prendre des valeurs élevées

Les tâches ont été construites en donnant la possibilité aux élèves de tester régulièrement leurs solutions (Hypothèse 4). La vue du nombre élevé de réponses inexactes, ce système non limité de demande de validation semble aider les élèves à prendre conscience que leurs connaissances peuvent ne pas être celles attendues ce qui les conduit par exemple à se questionner par rapport au but du problème ou à se référer à la diversité des éléments de la situation : les ressources disponibles, le matériel, la simulation, la consigne, ...

Ainsi, il apparaît que le bouton "réponse" permet à la fois aux élèves de vérifier leurs actions en termes d'échec ou de réussite et de prendre conscience à un moment donné de l'écart entre leurs connaissances et celles attendues.

II.1.4. L'utilisation du matériel expérimental

Au cours de ce chapitre, nous avons pointé que les élèves utilisent le matériel expérimental d'une manière délibérée au cours de la résolution d'un problème pour vérifier :

- ce qu'ils visualisent sur la vidéo,
- des propositions de réponses,
- leurs connaissances,
- etc.

Cette utilisation répétée, et sans demande explicite, montre que les élèves parviennent à s'impliquer dans les résolutions des tâches en devenant responsables du problème à résoudre et des décisions à prendre. La liberté d'utilisation du matériel que nous offrons donne l'occasion aux élèves (même si cela est rare) de donner libre cours à leurs stratégies de résolution.

II.1.5. Une réalisation des tâches non aléatoire

D'une manière générale, les élèves passent à une nouvelle tâche à condition que cette dernière soit terminée. De plus, pour eux, elle est terminée à condition qu'ils donnent la réponse attendue.

II.2. En conclusion

Ces différents points permettent de supposer que l'hypermédia proposé favorise une résolution autonome des élèves car :

- il entretient l'engagement des élèves dans la résolution du problème via la proposition de ressource, l'envoi de message suite à la demande de validation,
- il favorise la prise de conscience de l'écart entre les connaissances des élèves et celles qui sont attendues
- il favorise l'implication des élèves dans la résolution des problèmes et dans les décisions à prendre tout en lui donnant la liberté de vérifier ses connaissances à partir de simulations ou du matériel expérimental,

III. Conclusion sur le rôle du milieu

A la question générale "En quoi le milieu créé favorise t-il la résolution d'un problème par les élèves ?", l'étude ci-dessus permet d'affirmer dans une certaine mesure que les éléments de la situation mis à la disposition des élèves contribuent à la construction des connaissances des élèves. La première étude a permis de constater que l'hypermédia répondait aux besoins des élèves au niveau de la construction de la consigne, de la diversité des ressources, de la motivation (modeste) apportée, des possibilités de tests répétés, etc.

La seconde, plus globale, a mis en lumière l'apport de l'hypermédia du point de vue de la résolution autonome des élèves en les responsabilisant. Cette autonomie devient effective au fur et à mesure que les élèves donnent sens au savoir en jeu. En effet, comment peuvent-ils réaliser une expérience d'eux-mêmes s'ils n'ont pas les moyens d'une part de la réaliser et d'autre part de prédire ce qu'ils vont trouver ?

Conclusions et perspectives

Le questionnement à l'origine de ce travail porte sur la conception d'un hypermédia, "Labdoc Son et Vibrations", dédié à l'enseignement et à l'apprentissage de la physique des phénomènes sonores et sur l'influence de l'organisation des contenus proposés sur l'activité des élèves. Cette conception s'est appuyée sur diverses séquences de travaux pratiques (TP) produites par un groupe d'enseignants et de chercheurs "le groupe SOC". *Le but de cette recherche est d'élaborer une méthode pour adapter ces séquences de TP sur un support informatique dans l'objectif d'aider les élèves à les réaliser d'une manière autonome en dépassant leurs difficultés et en élaborant de nouvelles connaissances.*

Ce travail a donné lieu à la mise en place d'un cadre théorique dont l'originalité est de fournir à la fois des "outils théoriques" pour concevoir les différentes tâches proposées aux élèves et pour analyser leur fonctionnement. Ce cadre repose essentiellement sur les trois axes suivants : l'activité de modélisation, l'activité sémiotique et la théorie des situations. Ainsi, nous nous sommes penchés sur trois questions de recherche dont l'objectif commun est d'apprécier les connaissances mobilisées par les élèves en fonction :

- de la structuration des contenus des tâches selon les niveaux de savoir en jeu dans la modélisation,
- des diverses représentations sémiotiques du savoir,
- des éléments constitutifs des situations d'enseignement.

Le cadre théorique mis en place ne conduit pas à étudier, pour eux-mêmes, le fonctionnement des utilisateurs relatifs aux aspects ergonomiques et à la navigation ; en revanche les résultats des travaux de recherche sur ces aspects ont été pris en compte lors de la conception.

La méthodologie d'analyse permet de répondre, dans une certaine mesure, à notre problématique à partir d'une analyse globale centrée sur une trace informatique des actions des élèves lors de l'utilisation de l'hypermédia et une analyse locale fondée sur les transcriptions des interactions entre élèves.
Les conclusions présentées ci-après relèvent de ces deux types d'analyse. Nous détaillons ensuite les limites et les perspectives de ce travail.

L'apport du cadre théorique dans la conception de l'hypermédia

Nous avons élaboré et organisé le contenu de l'hypermédia à partir des hypothèses d'apprentissage relatives aux trois axes théoriques. Les deux premiers, l'activité de modélisation et les systèmes

sémiotiques, apportent des méthodes pour organiser les contenus des tâches et élaborer des scénarios adaptés aux contraintes ergonomiques, matérielles et logicielles. Quant au dernier axe, la prise en compte de la théorie des situations rend possible l'aménagement d'un milieu favorable à la résolution de problème et à la construction de connaissances par les élèves. Nous rappelons succinctement les hypothèses d'apprentissage relatives à ces trois axes théoriques tout en décrivant leur intérêt respectif lors de la conception de l'hypermédia.
L'activité de modélisation consiste à réaliser des allers-retours entre des informations relevant des mondes de la théorie-modèle et des objets et des événements. L'hypothèse d'apprentissage associée à cette activité réside dans le fait que le sens d'un concept se fait en partie dans la réalisation de ces relations. L'hypothèse sur laquelle repose l'organisation des contenus pose que la présence de niveaux de savoir dans le contenu de présentation de la tâche ainsi que dans le but de la question favorise leurs mises en œuvre et leurs mises en relation (l'activité de modélisation). Lors de la construction de tâches, cette hypothèse conduit le concepteur à remplir deux conditions : (1) distinguer les éléments d'ordre théorique et les éléments relatifs aux objets et aux événements ; (2) vérifier la cohérence entre les niveaux de savoir du contenu proposé dans la présentation de la tâche en fonction de ses objectifs et des niveaux attendus, c'est-à-dire ceux que les élèves devraient mettre œuvre et/ou en relation.
Ces deux conditions ont permis de déterminer les informations que les élèves sont censés sélectionner et de construire des tâches qui donnent lieu à leur réinvestissement : la sélection par les élèves des informations attendues étant l'un des enjeux pour qu'ils parviennent à réaliser l'activité de modélisation attendue.

Pour favoriser la sélection des informations attendues et leur objectivation (prise de conscience du concept ou des objets et des événements en jeu), nous avons élaboré différentes représentations sémiotiques d'un même concept ou plus généralement d'une même information. L'utilisation de l'outil informatique a conduit à considérer un nouveau système sémiotique, la *représentation dynamique*, relatif à la création de simulations. L'élaboration des représentations sémiotiques repose principalement sur une hypothèse d'apprentissage de laquelle découle une hypothèse de conception. Cette hypothèse d'apprentissage pose que les relations entre les diverses représentations de chacune des informations favorisent la "compréhension" des concepts en jeu. Nous avons élargi ce point de vue en considérant que l'activité sémiotique peut étayer l'activité de modélisation des élèves. Nous avons alors fait l'hypothèse que la conception de diverses représentations pour un même concept peut aider les élèves à acquérir du sens. Nous avons donc élaboré différentes représentations sémiotiques d'un même concept que nous avons placé, dans la mesure du possible, dans des fenêtres différentes d'une même page-écran. Cette disposition a pour but d'amener les élèves à réaliser un traitement sur chacune des représentations et/ou de les mettre en relation.

Le dernier axe théorique, la théorie des situations, fournit les éléments théoriques, la dévolution, l'institutionnalisation, le milieu, à partir desquels nous avons organisé un "milieu informatique" afin que les rapports des élèves avec ce milieu les conduisent à des comportements favorisant l'appropriation du savoir. Nous avons adapté les éléments constitutifs de la situation d'enseignement en classe, tels que l'enseignant, la fiche de TP, le dispositif expérimental, dans l'objectif d'élaborer un

milieu pouvant aider les élèves à résoudre le problème posé sans éviter les situations d'échec temporaires, l'erreur étant constitutive du processus d'apprentissage. Nous avons été amenés à créer :

- différentes ressources à la fois internes au contexte de la tâche (onglets Aide, mini-dictionnaire, escamots) ou externes au lieu de réalisation de la tâche (la bibliothèque, la salle de cours, etc.),
- un système évaluateur permettant aux élèves de vérifier régulièrement les stratégies mises en œuvre,
- des feed-back (rétroactions) entretenant la résolution de problème,
- des réponses intitulées "réponse du professeur" institutionnalisant la réponse de l'élève,
- des animations ou vidéos rendant possible l'observation de certains phénomènes.

L'organisation des contenus a également pris en compte les recommandations relatives à l'espace, à la densité informative à l'écran, au multifenêtrage, à l'utilisation des libellés, etc. Ces recommandations ont conduit à segmenter le texte initial, à construire des onglets pour permettre la réalisation de tâches successives sans changer de page-écran ou pour proposer des informations afin de soutenir l'activité des élèves, etc.

Suite à cette conception, nous avons éprouvé l'hypermédia en situation de classe avec des élèves de seconde (au total 20 dyades). Deux situations ont été mises en place. Dans la première, l'hypermédia est l'unique support à l'apprentissage du son. Dans la seconde situation, l'hypermédia est associé à du matériel expérimental. Les données ont été recueillies à partir d'une trace informatique élaborée à partir de l'analyse *a priori* des différentes tâches proposées et d'enregistrements audio et vidéo. Nous rappelons ci-dessous la méthodologie d'analyse en lien avec nos questions de recherche et enfin, nos principaux résultats.

La méthodologie d'analyse

Notre objectif est d'apprécier l'influence de l'organisation des contenus sur le fonctionnement des élèves des points de vue de l'activité de modélisation, de l'activité sémiotique et lors de la résolution d'un problème.

L'analyse de l'activité des élèves s'est déroulée en deux étapes. Une analyse globale qui repose sur une analyse quantitative des données issues de la trace. Elle donne une vue globale de l'activité des 20 dyades lors de la réalisation des différentes tâches des cinq séquences de TP et a permis de caractériser l'activité des élèves selon l'organisation des contenus et les actions à mener pour réaliser les tâches proposées. Cette analyse a donné lieu à la sélection de quatre dyades à partir desquelles nous avons effectué l'analyse locale permettant de répondre plus précisément à nos questions de recherche.

En effet, l'analyse globale réduite à quelques observables ne permet pas de décrire et d'interpréter le fonctionnement des élèves suffisamment finement pour expliquer l'origine des difficultés des élèves, l'utilisation des ressources et, les durées de résolution parfois particulièrement longue. Elle rend possible à notre avis la mise en évidence les points communs et les différences entre les dyades selon la tâche à réaliser. L'analyse locale complète ainsi cette première étude.

L'analyse locale menée à partir d'une étude des verbalisations des élèves s'appuie sur les hypothèses d'apprentissage relatives aux trois axes théoriques précédemment introduits lors de la conception de

l'hypermédia. La méthode d'analyse mise en œuvre s'est attachée à décrire l'écart entre les connaissances mobilisées par les élèves et celles attendues (analyse *a priori*) en prenant en compte l'organisation conceptuelle des tâches, les représentations sémiotiques présentes dans une page-écran et/ ou dans les onglets Aide et les éléments de la situation qui peuvent aider les élèves à résoudre le problème posé.

Synthèse des résultats

La synthèse des résultats est présentée selon deux aspects. Le premier montre l'apport de l'organisation des contenus sur la mobilisation des connaissances attendues des élèves. Le second aspect rend compte des difficultés des élèves relatives à cette organisation.

Avant d'énumérer successivement l'apport de l'organisation des contenus sur l'activité des élèves, nous soulignons que la structuration selon les niveaux de savoir des différentes tâches a conduit les élèves à mettre en œuvre d'une part les niveaux de savoir présents dans les contenus (pour au moins 80% des tâches) et d'autre part les relations attendues (pour 70% des tâches). Cela montre que cette structuration selon les niveaux de savoir est dans une certaine mesure décisive pour amener les élèves à sélectionner les informations nécessaires pour réaliser les tâches proposées.
Nous avons observé que la répétition de tâches relatives à un même savoir enseigné (chaîne sonore, la fréquence et l'amplitude, …) dans une même séquence de TP ou lors de différentes séquences de TP permet aux élèves de prendre conscience de l'écart entre leurs connaissances et celles qui sont attendues. Cette répétition de tâches semble donc aider les élèves à s'approprier le savoir en jeu. A ce propos, l'analyse globale a permis d'observer que les durées diminuent durant la réalisation de ces tâches répétées ce qui laissent supposer que les élèves donnent sens au savoir en jeu. Or, à partir de l'analyse locale, nous avons pu relativiser cette hypothèse en soulignant qu'au cours de ces tâches répétitives, les élèves mobilisent des connaissances non attendues (non appropriées par rapport au savoir en jeu). Ainsi, de telles conditions d'apprentissage peuvent amener les élèves à mettre en doute leurs connaissances qui peuvent fonctionner dans certaines situations et à leur permettre de se repositionner par rapport au modèle en jeu. De plus, la réussite d'une tâche dans une durée assez courte ne constitue pas une observable suffisamment fiable pour affirmer que les élèves ont construit le savoir en jeu.
Pour aider les élèves à donner sens au savoir en jeu, nous nous sommes aperçus de l'apport de la mise en scène[64]. Par exemple, il peut être demandé aux élèves de répondre aux mêmes questions à partir d'expériences différentes ou bien de répondre à des questions différentes à partir d'une même expérience. Nous avons constaté, que suivant la place d'une tâche dans une mise en scène appropriée la mise en œuvre de niveaux de savoir attendus et non présents dans une page-écran peut être favorisée. Ainsi, la mobilisation de connaissances attendues ne dépend pas seulement des niveaux de savoir présents dans le contenu de la tâche et/ou du but de la tâche mais aussi des tâches que les élèves sont en train de réaliser.

[64] La mise en scène consiste en un scénario constitué de diverses tâches dont l'objectif est d'amener progressivement les élèves à donner sens au savoir en jeu.

Ensuite, nous avons mis en lumière que l'intégration, dans la mesure du possible, de différentes représentations d'un même savoir dans une page-écran ou dans les onglets Aide, étaye l'activité de modélisation des élèves même si cela leur est difficile de les mettre en relation ou de les convertir dans un autre système sémiotique. Nous avons observé que la simulation, donnant la possibilité aux élèves d'agir au niveau de l'interface, les incite à reformuler les définitions contrairement à une animation ou une vidéo. De plus, nous avons remarqué que le fait de proposer aux élèves de réinvestir un même savoir à partir de différentes représentations sémiotiques leur permet de vérifier la validité de leur connaissance dans un autre contexte, de les contraindre à se représenter une nouvelle situation à partir de laquelle ce "même savoir" est censé fonctionner, de prendre conscience de l'écart entre leurs connaissances et celles attendues.

Nous avons également observé que différents éléments de la situation (simulation, onglet Aide, consigne, outil de navigation, etc.) soutiennent les élèves dans la réalisation de la tâche et dans la mobilisation des connaissances attendues. Donner la possibilité aux élèves de pouvoir tester sans limitation leurs solutions contribuent à ce qu'ils prennent conscience que les connaissances mobilisées peuvent ne pas être celles attendues. Cela nous a permis d'observer lorsque les informations sélectionnées par les élèves ne sont pas appropriées à la résolution du problème posé qu'ils peuvent alors décider d'aller chercher des informations dans les différentes ressources mises à leur disposition : la non réussite de la tâche ne les conduit pas à abandonner mais à rechercher de nouvelles stratégies. Il n'est donc pas étonnant de relever que certaines durées de réalisation de tâches peuvent être de l'ordre de 20 minutes.
Enfin, nous avons remarqué que lors de la résolution d'un problème, il est important de fournir aux élèves diverses voies d'accès à des informations. En effet, nous avons remarqué qu'ils ont besoin de retourner dans une tâche déjà réalisée, qu'ils se réfèrent régulièrement et préférentiellement aux onglets Aide qui se situent dans la tâche à réaliser et qui proposent des informations contextualisée à la tâche à réaliser. A ce propos, lors de l'analyse globale, nous avons relevé que les informations majoritairement sélectionnées sont liées au savoir en jeu dans la tâche en question. En revanche, les informations que les élèves ont le moins sélectionnées se rapportent principalement aux tâches réalisées précédemment ce qui signifierait que les élèves se seraient appropriés le savoir en question.

Regardons maintenant les difficultés des élèves relatives à l'organisation des contenus. Les analyses globale et locale ont permis d'identifier quatre types de tâches durant lesquelles nous avons noté que les élèves ont eu des difficultés qui ont été dépassées dans certaines cas.
Nous avons constaté que les tâches dont l'objet est de réinvestir le modèle présenté dans la page-écran précédente, mettent les élèves en situation de difficulté. A partir de l'analyse globale, nous avons relevé que le nombre de réponses inexactes ainsi que le nombre d'appels à l'onglet Aide sont les plus élevés dans ces cas là. A partir de l'analyse locale, nous avons observé que le nombre de relations ne correspondant pas à une connaissance attendue est particulièrement élevé. Ainsi, dans ce cadre là, il semble difficile aux élèves d'adapter leurs connaissances au savoir en jeu.
Ensuite, nous avons remarqué que les élèves mobilisent des connaissances non attendues dans le cadre de tâches qui demandent de réinvestir, *dans un nouveau contexte*, un modèle déjà introduit dans une séquence précédente. Le contexte peut résulter :

- d'une nouvelle expérience présentée à partir d'une vidéo, une animation,
- de l'objectif de la tâche en demandant à la fois aux élèves de réinvestir un modèle "connu" et à élaborer le modèle en jeu durant la séquence.

Le changement de contexte permet donc aux élèves d'adapter progressivement leurs connaissances à celles attendues.

Nous avons enfin observé que les tâches dont le savoir en jeu doit être mis en œuvre à partir de diverses représentations sémiotiques et différents dispositifs expérimentaux posent des difficultés aux élèves pour réinvestir ce savoir. En effet, dans cette situation d'enseignement, les élèves sont amenés à se représenter le dispositif expérimental, à utiliser un nouveau système sémiotique associé au concept en jeu et enfin à mobiliser des connaissances relatives au savoir en jeu ce qui peut leur permettre d'adapter leurs connaissances.
Ces diverses tâches ont pour caractéristiques communes, comme nous venons de le voir, de demander aux élèves d'adapter leurs connaissances (ou accommoder leur structure cognitive) au savoir proposé. Or, comme l'ont souligné Weil-Barais et Lemeignan (1993), cette adaptation est longue et progressive. Ainsi, nous considérons qu'il n'est pas étonnant de noter dans le cadre de ces tâches un nombre élevé de connaissances non attendues.
En revanche, lorsqu'il n'est pas spécifié dans la consigne de la tâche le modèle à utiliser, nous avons constaté que les élèves mobilisent leurs connaissances sans prendre en compte les informations présentées auparavant. Ce dernier type de tâche ne favorise donc pas l'adaptation des connaissances des élèves.

Pour terminer, nous souhaitons signaler un point que nous pensons important lors de la conception de séquences d'enseignement sur un support informatique : les actions à réaliser à partir de la tâche proposée semblent déterminantes pour que les élèves mettent en œuvre les niveaux de savoir présents dans la présentation de la tâche. Nous avons remarqué que dans le cas où la tâche ne contient pas une consigne explicite avec une demande de validation de la réponse et ne nécessite pas de taper du texte, ou de cocher une case, etc., les élèves mettent rarement en œuvre les niveaux de savoir présents dans le contenu de la tâche. Nous avons relevé deux cas.
Lorsque la tâche contient une *consigne implicite* et les *actions sont limitées à lire un texte et à observer une vidéo ou une animation*, il est rarement possible de catégoriser les verbalisations des élèves selon les niveaux de savoir. Les élèves s'en tiennent par exemple à lire le contenu sans le reformuler. Cela peut sembler étonnant puisque les contenus de ces tâches fournissent des définitions, des résumés d'expériences précédemment réalisées, etc.
Nous avons également relevé que les tâches qui reposent principalement sur *l'utilisation de la simulation* associée à *une consigne explicite* (sans demande de validation de la réponse) favorisent peu les mises en relation entre les niveaux de savoir. Les verbalisations des élèves se réfèrent principalement aux objets composant la simulation et aux actions réalisées. A ce propos, l'analyse globale a également montré que les durées de réalisation de ces deux types de tâches sont particulièrement faibles par rapport à celles où les élèves doivent cocher une case ou taper du texte.

Par conséquent, il semble important de "problématiser" les tâches de lecture ou celles proposant aux élèves d'actionner une simulation sans validation de la réponse dans l'objectif d'amener les élèves à donner du sens au contenu proposé.
Ainsi, ces résultats complémentaires offrent des pistes pour concevoir des séquences d'enseignement favorisant un certain apprentissage des élèves. Les premiers résultats proposent des outils méthodologiques pour concevoir des tâches pouvant aider les élèves à dépasser certaines difficultés. La question qui reste en suspend est celle qui permettrait de "problématiser" les tâches de lecture.

Limites et perspectives

Nous avons présenté la complémentarité des deux méthodes d'analyses globale et locale pour étudier l'influence de l'organisation des contenus sur l'activité des élèves. Elles rendent possible une analyse des informations que les élèves sélectionnent durant la résolution d'un problème posé permettant d'expliquer certaines des difficultés des élèves à mobiliser les connaissances attendues. Cette analyse aurait pu être approfondie en comparant plus systématiquement les informations sélectionnées par les élèves à celle proposée dans le contenu de la tâche et en identifiant les informations non sélectionnées ce qui pourrait donner de nouveaux indices pour expliquer les difficultés des élèves au cours de la réalisation des tâches des différentes séquences. Une telle analyse pourrait également mettre en lumière les informations non "appropriables" par les élèves à un certain moment de la séquence.

Il aurait été également intéressant de faire réaliser les différentes séquences de TP par des élèves seuls. Ce dispositif aurait pu permettre d'évaluer plus précisément l'apport des différentes ressources proposées. En effet, dans une telle situation, nous supposons que l'élève va se référer plus régulièrement à différentes informations que lorsqu'ils sont deux : le seul soutient de l'élève étant l'hypermédia. Dans le cas d'une dyade, les élèves peuvent s'entre-aider lors de la résolution des problèmes posés ce qui peut les amener alors à utiliser moins fréquemment les ressources proposées. De plus, l'analyse du fonctionnement des dyades est plus riche puisqu'elle donne lieu à l'enregistrement des verbalisations des élèves et permet de déceler les difficultés des élèves, d'expliquer, dans une certaine mesure, l'utilisation des ressources. Pour un élève seul, il faudra envisager l'élaboration d'une trace plus précise, enrichir les aides proposées comme par exemple un logiciel qui diagnostique les difficultés des élèves, un précepteur qui stimule l'élève à poursuivre sa résolution de problème, des feed-back plus proche des difficultés des élèves …

Au vu des résultats obtenus, il semble qu'un tel cadre théorique convienne pour organiser des contenus d'enseignement de la physique, mais nous pourrions améliorer l'organisation actuelle en tenant compte des difficultés des élèves présentés précédemment. Nous avons remarqué par exemple l'importance de spécifier à l'élève le modèle qu'il doit utiliser pour réaliser la tâche. Ce résultat pourrait donner lieu à la modification de certaines tâches des séquences de TP (TP3) et à de nouvelles expérimentations.

Enfin, il serait intéressant de rechercher une "méthode" pour "problématiser" les tâches dont les actions des élèves sont limitées à la lecture d'une définition et à l'observation d'une animation afin d'amener les élèves à se poser des questions sur le contenu. Cela serait l'occasion d'insérer dans ce

genre de logiciel des outils favorisant l'argumentation des élèves, des précepteurs qui suivraient la démarche des élèves et qui les amèneraient à s'interroger sur un tel contenu…

En conclusion de ce travail de recherche, dans le cadre des Hypermédias et de l'apprentissage, nous aimerions mettre en lumière deux points que nous considérons essentiels lors de la conception d'un hypermédia.

Le premier point consiste à souligner l'importance d'élaborer des tâches qui suscitent un questionnement de l'apprenant par rapport au contenu. Nous avons vu qu'il est important d'organiser les contenus, de proposer de diverses représentations du savoir à enseigner. Cependant, parvenir à rendre "problématique" un contenu est fondamental pour amener l'utilisateur à se questionner par rapport au contenu proposé et/ou à mettre en doute son système explicatif ce que certains de nos résultats ont mis en évidence.

Pour le second point, il s'agit de souligner l'apport du point de vue de l'apprentissage de la séquentialisation du contenu d'enseignement. Cette séquencialisation 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 scènes élaborées à cet effet, de tâches successives et répétitives.

Cette organisation implique également une navigation linéaire ce qui se détache du concept de l'hypertexte où l'information est morcelée et placée à différents endroits : l'utilisateur allant la rechercher d'une manière non-linéaire. De notre point de vue, il est donc nécessaire pour concevoir un hypermédia éducatif d'élaborer des séquences d'enseignement ce qui nécessite une analyse fine du savoir en jeu des points de vue des niveaux de modélisation, des systèmes sémiotiques. Cette analyse est indispensable pour prendre en compte le fonctionnement cognitif de l'élève et l'aider ainsi à construire du sens.

Bibliographie

ARTIGUE M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, n° 3, vol. 9. 5-62.

ARTIGUE M. (1995). Une approche didactique de l'intégration des EIAO à l'enseignement. In D. Guin, J.-F. Nicaud & D. Py (Eds), *Environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur*, Paris : Eyrolles. p. 17-28.

ASTOLFI J.-P. (1997). *L'erreur un outil pour enseigner* (3ème édition). Paris : ESF Editeurs.

BACHELARD S. (1979). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles. In P. Delattre & M. Thellier (Eds), *Actes du colloque Elaboration et justification des modèles*, Paris : Maloine. p. 3-19.

BAKER M. & TIBERGHIEN A. (1999). Etude de la mise en oeuvre et de l'élaboration des notions fondatrices dans les situations d'enseignement : le cas de l'enseignement des sciences et des mathématiques. *Réponse à l'appel d'offre "Hétérogénéité des élèves et des étidcants. Unité et diversité de l'école à l'université" du Comité National de Coordination de la Recherche en Education.*

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

BALACHEFF N. (1994a). Didactique et intelligence artificielle. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, n° 14, vols. 1-2. 9-42.

BALACHEFF N. (1994b). La transposition informatique. Note sur un nouveau problème pour la didactique. In M. Artigue *et al.* (Eds), *20 Ans de Didactique des mathématiques en France*, Grenoble : La Pensée Sauvage. p. 364-370.

BALACHEFF N. (2000). *Lectures sur les EIAH*, http://www-didactique.imag.fr/CoursEIAH/

BARDE J. (1998). *Activité de modélisation en situation de Travaux Pratiques sur le son en classe de seconde*. Mémoire de DEA de didactique des disciplines scientifiques, Universités J. Fourier Grenoble 1 et Lumière Lyon 2.

BATESON G. & RUESCH J. (1988). *Communication et société*. Paris : Seuil.

BEAUFILS D., DUREY A. & JOURNEAUX R. (1987). La simulation sur ordinateur dans l'enseignement des sciences physiques quelques aspects didactiques. In A. Giordan & J.-L. Martinand (Eds), *Neuvième journées internationales sur l'éducation scientifique*, *Modèles et Simulation*, Paris, Université Paris 7. p. 507-514.

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.

BLANCHET A. (1987). La construction des modèles spontanés chez l'enfant et le rôle de la simulation, In A. Giordan & J.-L. Martinand (Eds), *Neuvième journées internationales sur l'éducation scientifique, Modèles et Simulation,* Paris, Université Paris 7. p. 63-70.

BROUSSEAU G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, n° 2, vol. 7. 33-116.

BROUSSEAU G. (1995). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques, In *Didactiques des mathématiques*, sous la direction de J. Brun, Paris : Delachaux et Niestlé. p. 45-110.

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

BRUILLARD E. & DE LA PASSARDIÈRE B. (1994). Hypermédias et éducation : des repères. *Sciences et Techniques Educatives*, n° 1, vol. 1. 17-37.

BRUILLARD E. & DE LA PASSARDIÈRE B. (1998). Fonctionnalités hypertextuelles dans les environnements d'apprentissage. In A. Tricot & J.-F. Rouet (Eds), *Hypertexte et hypermédias,* Paris : Hermès. p. 95-122.

BRUILLARD E. (1997). *Les machines à enseigner*. Paris : Hermès.

BULLETIN OFFICIEL de L'EDUCATION 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.

BUTY C., (2000). *Etude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique*. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2.

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

CHOPLIN H., GALISSON A. & LEMARCHAND S. (1998). Hypermédia et Pédagogie : Comment promouvoir l'activité de l'élève ?. In J.-F. Rouet & B. de La Passardière (Eds), *Hypermédias et Apprentissages 4*, Paris : INRP-EPI. p. 87-98.

COE M. (1996). Sensation perception and user documentation. *Intercom*, fév 1996. 13-15.

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

COQUIN-VIENNOT D. (1985). Complexité mathématique et ordre d'acquisition : une hiérarchie de conceptions à propos des relatifs. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, n° 3, vol. 2. 133-192.

CROZIER M. & FRIEDBERG E. (1974). *L'acteur et le système*. Paris : Seuil.

DARLEY B. (1994). *L'enseignement de la démarche scientifique dans les travaux pratiques de biologie à l'université*. Thèse de doctorat, Université Jospeh Fourier, Grenoble.

DE LIÈVRE B. & DEPOVER C. (à paraître). Apports d'une modalité de tutorat proactive ou réactive sur l'utilisation des aides dans un hypermédia de formation à distance. In E. de Vries, J.-P. Pernin & J.-P. Peyrin (Eds.), *Préactes de Hypermédias et Apprentissages 5*, Grenoble, avril 2001. p. 269-276.

DEDE C. J. (1988). The role of hypertext in transforming information into knowledge. In *Proceedings of the National Education Computing Conference*, Dallas (Texas), juin 1998. p. 99-100.

DEPOVER C., GIARDANA M. & MARTON P. (1998). *Les environnements d'apprentissage multimédia : analyse et conception*. Paris : L'Harmattan.

DEVELAY M. (1989). Sur la méthode expériementale. ASTER n° 8, INRP, Paris.

DIMITRACOPOULOU A. (1995). *Le tutorat dans les systèmes informatisés d'apprentissage : Etude de la conception et réalisation d'un tutoriel d'aide à la représentation physique des situations étudiées par la mécanique*. Thèse de doctorat, Université Paris 7 Denis Diderot.

DUCHASTEL P., FLEURY M. & PROVOST G. (1988). Rôles cognitifs de l'image dans l'apprentissage scolaire. *Bulletin de Psychologie*, n° 386, vol. 46.

DUMAS-CARRÉ A. (1987). *La résolution de problèmes en physique au lycée*. Thèse d'Etat, Université Paris 7 Denis Diderot.

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*, n° 3, vol. 16. 349-382.

FOSS C. L. (1988). Effective browsing in hypertext systems. In *Proceedings of the RAIO Conference, User-oriented content based text and image handling*, Cambridge (MA), MIT, 21-24 mars 1988.

GARDNER H. (1993). *Histoire de la révolution cognitive, la nouvelle science de l'esprit*. Paris : Editions Payot.

GREMY J.-P. (1985). Simulation. *Encyclopaedia Universalis*. Corpus 16.

HACHETTE EDUCATION (1997). *Physique chimie Seconde*. Collection Durandeau-Durupthy.

Hermina J.M., Tabachneck S. (1996). Human computer interaction institute school of computer science. CAMERA : computational model of multirepresentation.

HOC J.-M. (1996). *Psychologie cognitive planification*. Grenoble : Presses universitaires de Grenoble.

JACQUINOT G. (1977). *Image et pédagogie. Analyse sémiologique du film à intention didactique*. Paris : Presse Universitaires de France.

JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : Presses Universitaires de France.

JOSHUA M.-A. & JOSHUA S. (1987). Les fonctions didactiques de l'expérimental dans l'enseignement scientifique (première partie). *Recherche en Didactique des Mathématiques*, n° 3, vol. 8.

LABORDE C. & VERGNAUD G. (1994). L'apprentissage et l'enseignement des mathématiques. In *Apprentissages et didactiques : où en est-on ?*, coordonné par G. Vergnaud, Paris : Hachette Education.

LARCHER C. (1996). La physique et la chimie, sciences de modèles. In J. Toussaint (Ed), *Didactique appliquée de la physique-chimie*. Paris : Nathan.

LE MARECHAL J.-F. & SERE M.-G. (1999). Quelques résultats des enquêtes réalisées en Europe à propose des Travaux Pratiques. Rapport du projet européen PL 85-2005 "Labwork in Science Education". Paris : DidaScO-LSE, Université Paris 11.

LEGENDRE R. (1993). *Dictionnaire Actuel de l'Education*. Montreal : Guerin Editeur Itée.

LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette.

LEPLAT J. & HOC J.-M. (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahier de psychologie cognitive*, n° 3, vol. 1.

LLIBOUTRY L (1987). Petit glossaire méthodologique, In A. Giordan & J.-L. Martinand (Eds), *Neuvième journées internationales sur l'éducation scientifique, Modèles et Simulation,* Paris, Université Paris 7. p. 97-102.

LINDER C. & ERICKSON G. (1989). A study of tertiary physics student's conceptualizations of factors affecting the speed of sound propagation. In *Internationnal Journal of Science education*, n°5, vol 2, Special issue, p. 494-501.

MANDRYKA (1990). *Le concombre masqué. La dimension Posnave.* Dupuis.

MARGOLINAS C. (1993). *De l'importance du vrai et du faux*. Grenoble : La Pensée Sauvage.

MILLAR R., LE MARECHAL J.-F. & TIBERGHIEN A (1998). A map of the variety of labwork. Working paper 1. Projet européen : Labwork in Science Education (Contrat n° ERB-SOE2-CT-95-2001).

NANARD J. & NANARD M. (1998). La conception d'hypermédia, In A. Tricot & J.-F. Rouet (Eds), *Hypertexte et hypermédias,* Paris : Hermès, 1998. p. 15-34.

NANARD J. (1994). L'apport des travaux de recherche dans les hypertextes aux techniques éducatives. In E. Bruillard, B. de La Passardière & G.-L. Baron (Eds), *Hypermédias, éducation et formation : contribution à la structuration d'un champ émergent,* MASI, Université Denis Diderot Paris 7. p. 7-33.

PERAYA D. (1998). Structure et fonctionnement des icones de logiciels et d'environnements informatiques standardisés (ILEIS). *Recherche en communication*, n° 10. 101-140.

PICARD D. (1995). Théories et modèles de la communication. In *Introduction aux sciences de l'information et de la communication*, coordonné par D. Benoit, Paris : les éditions d'organisation. Chap. 1.

PROULX L. (1999). *La résolution de problèmes en enseignement*. Paris : De Boeck Université.

QUINTANA-ROBLES M. (1997). *Etude didactique de films comme aide pour l'enseignement de la physique. Cas de l'expansion des gaz*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1.

ROBLES A. (1997). *La vidéo comme support didactique en physique*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1.

ROUET J.-F. (1997). Le lecteur face à l'hypertexte. In *Apprendre avec le multimédia : où en est-on ?*, Paris : Eds. Retz. p.165-180.

SCAPIN D. (1986). *Guide ergonomique de conception des interfaces Homme-Machine*. Rapport Technique de l'INRIA-Rocquencourt n° 77.

SCHERLY D., ROUX L., & DILLENBOURG P. (1998). Comparaison de l'efficacité et du mode d'utilisation d'un hypertexte autonome ou intégré dans une activité pédagogique exploratoire. In J.-F. Rouet & B. de La Passardière (Eds.), *Hypermédias et Apprentissages 4*, Paris : INRP-EPI. p. 41-58.

SWEELLER J., CHANDLER P., TIERNEY P. & COOPER M., (1990). Cognitive load as a factor in the structuring of technical material. *Journal of Experimental Psychology*, n° 2*,* vol. 119. 176-192.

TIBERGHIEN 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, avril 1999.

TIBERGHIEN A. & MEGALAKAKI O. (1995). Characterization of a modelling activity for a first qualitative approach to the concept of energy. *European Journal of Psychology of Education*, n° 4, vol. 10. 369-383.

TIBERGHIEN A. (1994a). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, vol. 4. 71-87.

TIBERGHIEN A. (1994b). Analysis of physics knowledge for learning environments. In S. Vosniadou, E. De Corte &, H. Mandl (Eds), *Technology-Based Learning Environments*, vol. 137. p. 141-149.

TIBERGHIEN A. (1997). Learning and teaching : differentiation and relation. *Research in Science Education*, n° 3, vol. 27. 359-382.

TIBERGHIEN A., VEILLARD L., BUTY C. & LE MARÉCHAL J.-F. (1998). Analysis of Labwork sheets used at the upper secondary school and the first years of university. Working paper n° 3, "Labwork Science Education" Project.

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 Passardière (Eds), *Hypermédias et apprentissage 2*, Paris : INRP-EPI. p. 21-38.

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 Passardière (Eds.), *Hypermédias et Apprentissages 4*, Paris : INRP-EPI. p. 41-58.

VAN JOOLINGEN W. (1993). *Understanding and facilitating discovery learning in computer-based simulation environments*. Thèse, Université d'Eindhoven.

VAN NES F. L (1986). Space colour, and typography on visual display terminals. *Behaviour and Information Technology*, n° 2, vol. 5. 99-118.

VEILLARD L. (2000). *Rôle des situations professionnelles dans la formation par alternance. Cas des élèves-ingénieurs de production de l'ISTP de Saint-Etienne*. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2.

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

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

Table des matières

Remerciements 2

Sommaire 3

Introduction 7

I. Démarche de la recherche 9

II. Organisation du document 9

Chapitre 1 : Problématique Hypermédias et Apprentissage 11

I. Conception d'un hypermédia 12

I.1. La navigation des utilisateurs 12

I.2. La lecture et la compréhension des informations 13

I.2.1. Le lecteur d'hypertexte 13

I.2.2. L'organisation des informations 13

I.2.3. Les icônes de logiciels et d'environnements informatiques 14

I.2.4. En résumé 14

I.3. Quelles aides proposées pour soutenir la résolution d'un problème 14

I.3.1. Pertinence, accessibilité, contextualisation 14

I.3.2. Contextualiser les aides à la résolution d'un problème 15

I.3.3. En résumé 15

II. Conception de situations d'enseignement et d'apprentissage 15

II.1. Le savoir et l'apprenant 15

II.2. La mise en scène du savoir à enseigner 16

III. Synthèse 16

PARTIE A : LE CADRE THÉORIQUE 19

Chapitre 2 Organisation conceptuelle et sémiotique d'un contenu d'enseignement 21

I. L'activité de modélisation 21

I.1. Intérêt de la modélisation 21

I.2. Activité de modélisation 22

I.3. Hypothèses d'apprentissage 23

I.4. Activité de l'élève au cours de la modélisation 23

I.5. Implication de l'activité de modélisation lors de la conception de l'hypermédia 25

I.5.1. Le niveau des objets et des événements simulés 25

I.5.2. Une organisation et une structuration des contenus 26
II. Les systèmes sémiotiques 27
II.1. Intérêt des représentations sémiotiques et des systèmes sémiotiques 27
II.2. Hypothèse d'apprentissage des représentations sémiotiques 28
II.3. Implication des systèmes sémiotiques dans la conception de l'hypermédia 29
II.3.1. Le système sémiotique : la représentation dynamique 30
II.3.2. Une organisation et une structuration des contenus 31
III. En résumé : Sémiotique et Modélisation 31

Chapitre 3 Création d'un milieu interactif favorable à la résolution d'un problème 35
I. Tâche, activité et résolution 35
I.1. Tâche, activité et action 35
I.2. Résolution d'un problème 36
II. La théorie des situations 37
II.1. Situation didactique et adidactique 38
II.2. Dévolution et Institutionnalisation 39
II.3. Le milieu 40
II.4. Apprentissage par adaptation et contraintes sur la situation 40
III. Que devient la résolution d'un problème ? 41

PARTIE B : CONCEPTION DE L'HYPERMÉDIA LABDOC "SON ET VIBRATIONS" 43

Chapitre 4 L'importance des choix didactiques dans la conception de l'hypermédia 45
I. Les TP SOC : A l'origine des séquences de TP dans l'hypermédia 45
I.1. Les hypothèses d'apprentissage en lien avec la conception des séquences 45
I.1.1. L'importance des activités expérimentales dans le processus de modélisation 45
I.1.2. Activités demandant d'utiliser différentes représentations sémiotiques 48
I.1.3. Elaboration de séquences centrées sur l'élève 48
I.2. En résumé 50
II. "Transformation" informatique des éléments constitutifs d'une situation d'enseignement en classe pour créer un nouveau milieu 51
II.1. La transposition informatique 51
II.2. Les éléments de la situation d'enseignement expérimentale 52
II.2.1. La fiche de TP 52
II.2.2. Le rôle de l'enseignant / TP SOC 56
II.2.3. L'activité expérimentale 61
II.3. Exemple de transformation de la tâche "Mesure de la fréquence" 65
II.3.1. Le texte initial proposé dans le TP SOC (format papier) 65
II.3.2. Les étapes de la construction de la tâche proposée dans l'hypermédia 66
III. En conclusion 69

Chapitre 5 L'hypermédia "Labdoc Son et Vibrations" 71
I. Présentation globale 71
I.1. Présentation des cinq lieux et leurs contenus respectifs 72
I.1.1. Salle de travaux pratiques 72

I.1.2. Salle d'expériences libres ... 72
I.1.3. Salle de cours ... 73
I.1.4. Salle d'exercices ... 73
I.1.5. Bibliothèque ... 73
I.2. L'architecture globale de l'hypermédia ... 74
I.2.1. L'accès à un lieu ... 74
I.2.2. Navigation interne aux lieux ... 74
I.3. Les deux fonctionnalités supplémentaires ... 76
I.3.1. Un module de sauvegarde et de traçage de l'activité de l'utilisateur ... 76
I.3.2. Un guide / Aide de l'utilisateur ... 76
II. Présentation détaillée des lieux ... 76
II.1. Salle de Travaux pratiques ... 76
II.1.1. La navigation et les ressources disponibles ... 77
II.1.2. Les principales spécificités didactiques ... 81
II.2. Salle de cours ... 82
II.2.1. La navigation et les ressources disponibles ... 82
II.2.2. Les principales spécificités didactiques ... 82
II.3. Salle d'expériences libres ... 83
II.3.1. La navigation et les ressources disponibles ... 83
II.3.2. Les principales spécificités didactiques ... 83
II.4. La bibliothèque ... 84
II.4.1. La navigation et les ressources disponibles ... 84
II.4.2. Les principales spécificités didactiques ... 85
III. Résumé ... 85

PARTIE C : MÉTHODOLOGIES D'ANALYSE ET ANALYSE DES DONNÉES RECUEILLIES 87

Chapitre 6 Méthodologies de recueil et d'analyse des données 89
I. Expérimentation et recueil de données ... 89
I.1. Le contexte de l'expérimentation ... 90
I.2. Le recueil de données ... 90
I.2.1. La trace informatique ... 90
I.2.2. Les enregistrements ... 90
I.3. Caractéristiques de l'expérimentation ... 90
I.3.1. Deux situations organisées ... 90
I.3.2. Une population de vingt dyades ... 91
I.3.3. Le TP0 : première séquence de TP à réaliser ... 91
I.3.4. La distribution d'une fiche "Aide" ... 91
II. Méthodologies d'analyse des données recueillies ... 91
II.1. Méthodologie de l'analyse globale ... 92
II.1.1. Principe ... 92
II.1.2. Présentation des quatre données supports de l'analyse globale ... 94
II.2. Méthodologie pour l'analyse locale ... 94
II.2.1. Principe ... 95
II.2.2. Méthode d'analyse des connaissances verbalisées des élèves ... 96
II.2.3. Méthode d'analyse décrivant l'activité sémiotique ... 99
II.2.4. Méthode d'analyse de l'influence des éléments de la situation lors de la résolution d'un problème ... 101

Chapitre 7 Analyse *a priori* des 4 séquences de TP 103

I. Analyse *a priori* du TP0 : Exercice d'introduction 103

I.1. Tâche 1 : Introduction 104

I.1.1. Enoncé 104

I.1.2. Eléments de la situation 104

I.1.3. Activités des élèves 104

I.2. Tâches 2, 3, 4, 5 : Exercices d'application 104

I.2.1. Enoncé 105

I.2.2. Eléments de la situation 105

I.2.3. Réalisation de la tâche et activités des élèves 106

I.2.4. Connaissances à mobiliser 106

II. Analyse *a priori* du TP1 106

II.1. L'activité expérimentale et ses quatre tâches 107

II.1.1. T1 : "Activités expérimentales" 108

II.1.2. Tâche 1a : "Observation de l'expérience" 108

II.1.3. Tâche 1b : "Détermination de la source de son" 110

II.1.4. Tâche 1c : "Description de l'expérience" 111

II.1.5. Tâche 1d : "Conclusion" 113

II.2. Les grandeurs caractéristiques de la vibration 115

II.2.1. Tâche 2 : Définitions de la fréquence et de l'amplitude 115

II.2.2. Tâche 3 : Mesure de la fréquence 116

II.2.3. Tâche 4 : Mesure de l'amplitude 119

II.2.4. Tâche 5 : Test (Amplitude – Fréquence) 121

II.3. Etude de la relation entre la perception sonore et les grandeurs caractéristiques de la vibration 123

II.3.1. Tâche 6 : Expérience 123

II.3.2. Tâche 7 : Perception sonore 125

II.3.3. Tâche 8 : Test (Lien entre la vibration et la perception sonore) 127

III. Analyse *a priori* du TP2 130

IV. Analyse *a priori* du TP3 131

V. Analyse *a priori* du TP4 131

VI. Implication de cette analyse 132

VI.1. Une typologie des écrans selon les actions de l'utilisateur 132

VI.2. Construction d'un système de traçage 133

Chapitre 8 Analyse globale 135

I. Observations globales de l'activité des 20 dyades 136

I.1. Analyse selon les nombres moyens de réponses inexactes et d'appels à l'onglet Aide 136

I.1.1. Détermination des tâches posant le plus de difficultés aux élèves 136

I.1.2. Relation entre le nombre de réponses inexactes et l'appel à l'onglet Aide 138

I.1.3. En résumé 139

I.2. Analyse des informations sélectionnées dans l'onglet Aide 139

I.2.1. Analyse 139

I.2.2. En résumé 141

I.3. En conclusion 142

II. Analyse globale de chacune des séquences de TP 142

II.1. Analyse globale du TP0 "l'Introduction de la chaîne sonore" 143

II.1.1. Analyse en fonction de la "durée" et du "type d'écran" 143

II.1.2. Analyse en fonction de la "durée", des "ressources utilisées", du "nombre de réponses inexactes" 143

II.1.3. En résumé 144
II.2. Analyse globale du TP1 ..... *144*
II.2.1. Analyse de l'activité en fonction de la "durée" et du "type d'écran" 144
II.2.2. Analyse en fonction de la "durée", des "ressources utilisées", du "nombre de réponses inexactes" pour les tâches 2 à 8 148
II.2.3. En résumé 149
II.3. Analyse globale du TP2 ..... *149*
II.3.1. Analyse de l'activité en fonction de la "durée" et du "type d'écran" 150
II.3.2. Analyse de l'activité en fonction de la "durée", des "ressources utilisées" et du "nombre de réponses inexactes" 151
II.3.3. En résumé 151
II.4. Analyse globale du TP3 ..... *152*
II.4.1. Analyse de l'activité en fonction de la "durée" et du "type d'écran" 152
II.4.2. Analyse de l'activité en fonction des critères "durée", "ressources " et "réponses inexactes" 153
II.4.3. En résumé 154
II.5. Analyse globale du TP4 ..... *154*
II.5.1. Analyse de l'activité en fonction de la "durée" et du "type d'écran" 155
II.5.2. Analyse de l'activité en fonction des "ressources utilisées" et des "réponses inexactes" 157
II.5.3. En résumé 158
III. Conclusion & discussion 159
IV. Sélection de quatre dyades 161
IV.1. Critères de sélection des quatre dyades *161*
IV.2. Résumé de l'activité des quatre dyades durant les trois séances de TP *161*
IV.2.1. Dyades pouvant utiliser du matériel expérimental placé sur la paillasse 161
IV.2.2. Dyade utilisant uniquement l'hypermédia 164

Chapitre 9 Analyse locale des données recueillies 167
I. Y-a-t-il des relations entre les niveaux de savoir des contenus des tâches et ceux effectivement mis en œuvre par les élèves? 167
I.1. Concordance entre l'activité effective des élèves et l'analyse a priori *169*
I.1.1. Tâches donnant lieu à la mise en œuvre de niveaux de savoir attendus mais non présents dans la page-écran 169
I.1.2. Tâches conduisant à la mobilisation de connaissances non attendues 173
I.2. Différence entre l'activité effective des élèves et l'analyse a priori *178*
I.2.1. Tâches n'amenant ni à la mise en œuvre de niveaux de savoir, ni aux relations attendues 178
I.2.2. Tâches donnant lieu à la mise en œuvre de niveaux de savoir et de relations non attendus 188
I.3. Conclusion *194*
II. La structuration des contenus des tâches à partir de différents systèmes sémiotiques favorise-t-elle la construction du savoir ? 194
II.1. En quoi les différentes représentations d'un savoir peuvent favoriser son réinvestissement lors d'une nouvelle tâche ? *195*
II.1.1. Comparaison du fonctionnement des dyades 16 et 20 lors de la tâche 2 196
II.1.2. Comparaison de l'activité de la dyade 16 et 20 lors de la tâche 3 199
II.1.3. En résumé 200
II.2. En quoi les différentes représentations d'un même savoir, placées dans l'onglet Aide, peuvent favoriser la compréhension du savoir en jeu ? *201*
II.2.1. Etude quantitative 202
II.2.2. Etude qualitative 202
II.2.3. En résumé 205

II.3. L'utilisation de représentations différentes peut-elle favoriser la construction d'un savoir donné ? ... *206*
II.3.1. Etude du fonctionnement des élèves dans le cas où les tâches se succèdent ... 206
II.3.2. Etude du fonctionnement des élèves dans le cas où les tâches se situent dans des séquences de TP différentes ... 212
II.3.3. En résumé ... 216
II.4. Conclusion ... *216*

Chapitre 10 En quoi le milieu créé favorise t-il la résolution d'un problème par les élèves ? 217
I. En quoi les éléments de la situation peuvent-ils favoriser la construction de la réponse attendue ? ... 217
I.1. Analyse de la résolution du problème de la tâche T8 du TP1 ... *218*
I.1.1. Etude quantitative ... 219
I.1.2. Etude qualitative ... 219
I.1.3. En résumé ... 221
I.2. Analyse de la résolution du problème de la tâche T13 du TP3 par la dyade 16 ... *222*
I.2.1. Analyse quantitative ... 223
I.2.2. Analyse qualitative ... 223
I.2.3. En résumé ... 226
I.3. Analyse de la résolution du problème de la tâche T3 du TP1 pour la dyade 12 ... *226*
I.3.1. Etude quantitative ... 227
I.3.2. Etude qualitative ... 227
I.3.3. En résumé ... 229
I.4. En conclusion ... *230*
II. Existe-t-il un contrat implicite ou explicite entre les élèves et certains éléments du milieu ? ... 230
II.1. Des fonctionnements remarquables et non isolés ... *230*
II.1.1. Des durées particulièrement élevées ... 230
II.1.2. Des appels à l'aide réguliers ... 230
II.1.3. Des réponses inexactes pouvant prendre des valeurs élevées ... 231
II.1.4. L'utilisation du matériel expérimental ... 231
II.1.5. Une réalisation des tâches non aléatoire ... 231
II.2. En conclusion ... *231*
III. Conclusion sur le rôle du milieu ... 232

Conclusions et perspectives 233
L'apport du cadre théorique dans la conception de l'hypermédia ... 233
La méthodologie d'analyse ... 235
Synthèse des résultats ... 236
Limites et perspectives ... 239

Bibliographie 241

Table des matières 245

Liste des figures 253

Liste des tableaux _____ **255**

Liste des figures

Figure 1 : Extrait du Concombre Masqué (Mandryka, 1990, p. 5) 7
Figure 2 : Activité de modélisation 22
Figure 3 Exemple du "niveau" Objets et événements simulés 26
Figure 4 Exemple de simulation 30
Figure 5 Grille permettant de catégoriser l'information contenue dans la page-écran selon trois niveaux de modélisation et cinq systèmes sémiotiques 32
Figure 6 : Processus général de la résolution de problèmes (Legendre, 1993) 37
Figure 7 La résolution de problème et les éléments de la situation 42
Figure 8 : Exemple d'une Fiche de TP SOC 53
Figure 9 Exemple d'onglet lors de la tâche Première expérience de sensibilisation du TP4 54
Figure 10 Exemple de simulation dans l'hypermédia 65
Figure 11 Page-écran : Mesure de la fréquence. Catégorisation du texte à l'écran selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques 68
Figure 12 La page d'accueil, les accès aux différents lieux et les deux fonctionnalités supplémentaires 72
Figure 13 Structure et navigation avant d'entrée dans le lieu 74
Figure 14 Navigation privilégiée dans la salle de cours et dans la salle de TP 75
Figure 15 Navigation possible dans la salle la salle d'exercices et dans d'expériences libres 75
Figure 16 Navigation largement diversifiée dans la bibliothèque reposant sur des liens multiples 75
Figure 17 Navigation externe à partir d'une page-écran 78
Figure 18 Navigation "interne" à partir d'une page-écran 78
Figure 19 : Fripini, le conseiller des utilisateurs 80
Figure 20 La fenêtre du mini-dictionnaire 81
Figure 21 : Le sommaire du premier chapitre de la salle de cours 82
Figure 22 : Les protocoles de la salle d'expériences 83
Figure 23 : Définition de la fréquence de vibration proposée dans le dictionnaire de la bibliothèque 84
Figure 24 Présentation schématique du codage à partir des niveaux de savoir 96
Figure 25 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation 106
Figure 26 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation 109
Figure 27 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation 111
Figure 28 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation 113
Figure 29 : Niveaux de savoir de l'énoncé, à utiliser et à mettre en relation 114
Figure 30 : L'activité sémiotique possible à partir de la tâche 2 115
Figure 31 : Activité sémiotique possible durant la tâche 3 118
Figure 32 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation lors de la mesure 1 118
Figure 33 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation lors de la mesure 2 118
Figure 34 : Activité sémiotique possible durant la tâche 4 120

Figure 35 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation 121
Figure 36 : Activité sémiotique possible durant la tâche 5..... 122
Figure 37 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation 123
Figure 38 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation 125
Figure 39 : L'activité sémiotique possible durant la tâche 7..... 126
Figure 40 : Activité sémiotique possible durant la tâche 8 menant à la réponse attendue 129
Figure 41 : Activité sémiotique possible durant la tâche 8 menant à une réponse inexacte 129
Figure 42 : Niveaux de savoir de l'énoncé, niveaux à utiliser et à mettre en relation 130
Figure 43 : Les actions à mener les tâches en fonction de la consigne et des informations fournies 133
Figure 44 : Tâche 2 et tâche 7 du TP1 181
Figure 45 : Tâche 2 du TP4..... 190
Figure 46 : Tâche 4 du TP4..... 190
Figure 47 : Tâche 2 et tâche 3 du TP1 196
Figure 48 : Tâche 4 "Mesure de l'amplitude"..... 202
Figure 49 : Représentation iconique relative à l'amplitude 205
Figure 50 : Tâche 20 du TP4..... 207
Figure 51 : Tâche 21 du TP4..... 207
Figure 52 : Tâche 22 du TP4..... 207
Figure 53 : Tâche 8 du TP1 et tâche 12 du TP4..... 213
Figure 54 : Tâche 8 "Test" du TP1 219
Figure 55 : Tâche 13 du TP3..... 223
Figure 56 : Tâche 3 du TP1..... 227

Liste des tableaux

Tableau 1 : Exemple illustrant le premier principe de la structuration 27
Tableau 2 Trois exemples de représentations du concept de fréquence à partir de trois systèmes sémiotiques 29
Tableau 3 Conceptions classiques au sujet de la nature du son et des mécanismes de propagation..... 50
Tableau 4 Structure des phrases du discours par rapport au discours 64
Tableau 5 La fenêtre Aide associée à l'activité mesure de la fréquence 69
Tableau 6 Les différentes séances et séquences de TP proposées dans l'hypermédia..... 72
Tableau 7 Comparaison des différents chapitres du cours dans l'hypermédia et dans le livre de Hachette..... 73
Tableau 8 Représentations possibles du concept d'amplitude de vibration 79
Tableau 9 : Exemple d'onglets proposant trois tâches associées à un même objectif d'enseignement..... 79
Tableau 10 Deux exemples d'escamot..... 80
Tableau 11 : Présentation des conditions de l'expérimentation..... 91
Tableau 12 : Trace fournie par l'hypermédia 92
Tableau 13 : Exemple d'extrait de trace modifiée (0:01 signifie 1 seconde) 93
Tableau 14 Durée (en minutes et secondes) de réalisation de la tâche 8 du TP1 , nombre d'appels à l'onglet Aide et nombre de réponses inexactes 93
Tableau 15 : Désignation des symboles de la transcription et des locuteurs 95
Tableau 16 Exemples de codage des verbalisations des élèves..... 97
Tableau 17 : Différence de codage selon la nature de la connaissance à propos du son..... 97
Tableau 18 : Analyse selon les niveaux de savoir des verbalisations de la dyade 8 lors de la tâche 7 du TP2 98
Tableau 19 : Tableau permettant de comparer l'activité effective de la dyade à celle qui est attendue..... 98
Tableau 20 : Codage à partir des systèmes sémiotiques 99
Tableau 21 : Exemple de codage lors de la tâche 3 du TP1 "mesure de la fréquence" (dyade 12) 100
Tableau 22 : L'organisation de la page-écran "Introduction" 104
Tableau 23 : L'organisation de la page-écran "La chanteuse" 105
Tableau 24 : Le découpage du TP1, les objectifs de ces différentes tâches et les compétences exigibles..... 107
Tableau 25 : L'organisation de la page-écran "Observation" 109
Tableau 26 : L'organisation de la page-écran "Détermination de la source de son" 110
Tableau 27 : réponses proposées 110
Tableau 28 : L'organisation de la page-écran "Description" 112
Tableau 29 : L'organisation de la page-écran "Conclusion"..... 113
Tableau 30 : L'organisation de la page-écran "définition" 116
Tableau 31 : Organisation de la page-écran "Mesure de la fréquence" 116
Tableau 32 : Analyse des informations de l'onglet Aide selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques 117

Tableau 33 : Organisation de la page-écran "Mesure de l'amplitude" 119
Tableau 34 : Analyse des informations de l'onglet Aide selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques 119
Tableau 35 : Organisation de la page-écran "Test" 121
Tableau 36 : Analyse des informations de l'onglet Aide selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques 122
Tableau 37 : Organisation de la page-écran "Expérience" 124
Tableau 38 : Organisation de la page-écran "Définition : perception sonore" 126
Tableau 39 : Organisation de la page-écran "Test : relation perception sonore et caractéristiques de la vibration" 127
Tableau 40 : Analyse des informations de l'onglet Aide selon les niveaux de savoir et les systèmes sémiotiques 128
Tableau 41 : Séquence du TP2 130
Tableau 42 : Les différentes tâches du TP3, connaissances en jeu et compétences exigibles lors du TP3 131
Tableau 43 : Le découpage du TP4, les objectifs de ces différentes tâches et les compétences exigibles 132
Tableau 44 : Classement des tâches par ordre décroissant du nombre moyen de réponses inexactes par dyade 137
Tableau 45 : Classement des tâches par ordre décroissant du nombre moyen d'appels à l'onglet Aide par dyade 137
Tableau 46 : Moment de l'appel de l'onglet Aide selon la tâche (T) et le numéro de la dyade 138
Tableau 47 : Classement par ordre des tâches (T) décroissant selon le nombre d'informations sélectionnées 139
Tableau 48 : Classement des tâches (T) par ordre décroissant selon le nombre moyen d'appels à l'Aide 139
Tableau 49 : Informations majoritairement sélectionnées par les vingt dyades 140
Tableau 50 : Informations sélectionnées lors de la tâche 8 "Test lien vibration perception" du TP1 141
Tableau 51 : Durée, durée moyenne, durée totale et nombre de réponses inexactes (NRI) lors du TP0 144
Tableau 52 : Durées lors du TP1 144
Tableau 53 : Classement décroissant selon la durée des trois sous-tâches "Observation", "Détermination", "Description" et de la Conclusion 145
Tableau 54 : Exemple de durées mises lors de la réalisation des expériences pour les dyades 8 et 16 146
Tableau 55 : Durées de réalisation des tâches 3 et 8 et durées moyennes entre les tâches 2 et 8 146
Tableau 56 : durées moyennes de réalisation pour les tâches 2 à 8 et Type d'écran 147
Tableau 57 Durée de réalisation de la tâche, durée dans l'onglet Aide, nombre de réponses inexactes (NRI), nombre d'appels à l'onglet Aide (NAA) et valeurs moyennes 148
Tableau 58 : Relation entre l'appel de l'Aide et la durée de réalisation de la tâche (T) 149
Tableau 59 : Comparaison des durées lors de la tâche 3 "Mesure de la fréquence" 149
Tableau 60 : Durées moyenne durant le TP2 150
Tableau 61 : Classement des tâches par ordre décroissant de la durée moyenne de réalisation 150
Tableau 62 : Comparaison durées et nombre de réponses inexactes (NRI) entre les tâches T5 à T8 et T9 à T12 151
Tableau 63 : Présentation des données sur l'ensemble des dyades à propos des critères ressources et réponses inexactes au cours de la résolution de la tâche (T). 151
Tableau 64 : Durée de réalisation du TP3 par les 19 dyades 152
Tableau 65 : Classement décroissant des tâches selon les durées moyennes, le type d'écran et les dyades dont les durées sont supérieures à ces durées moyennes 153
Tableau 66 : Durée, durée moyenne, nombre de réponses inexactes, nombre moyen de réponses inexactes par dyade, nombre d'appels à l'Aide et nombre moyen d'appels à l'Aide par dyade 154

Tableau 67 :Durée et durée moyenne lors du TP4 155
Tableau 68 : Classement décroissant des tâches selon les durées de réalisation 156
Tableau 69 : Durée moyenne des tâches de types d'écran PI1 156
Tableau 70 : Comparaison des durées moyennes pour des tâches dont seule la construction est semblable, le savoir varie 157
Tableau 71 : Durée et durées moyennes associées aux tâches 12 et 13 157
Tableau 72 : Durées de réalisation des tâches 21 et 22 157
Tableau 73 Classement décroissant des tâches selon le nombre moyen d'appels à l'onglet Aide 158
Tableau 74 : Classement par ordre décroissant du nombre moyen de réponses inexactes 158
Tableau 75 : Présentation globale des réponses de la dyade 16 162
Tableau 76 : Présentation globale des réponses de la dyade 12 163
Tableau 77 : Présentation globale des réponses de la dyade 20 164
Tableau 78 : Présentation globale des réponses de la dyade 8 165
Tableau 79 : Détermination selon le TP et la dyade (D) du nombre de tâches durant lesquelles les connaissances mobilisées explicitement correspondent ou non aux niveaux de savoir de la page-écran 168
Tableau 80 : Description des relations mises en œuvre explicitement par les quatre dyades selon l'analyse *a priori* 169
Tableau 81 : Nombre de dyades mettant en jeu les niveaux de savoir attendus et non présents dans la page-écran 170
Tableau 82 : Présentation des mises en scènes dans le cadre du TP1, TP2 170
Tableau 83 : Nombre de relation entre les niveaux attendus et ne correspondant pas à une connaissance attendue 174
Tableau 84 : N° des tâches conduisant à aucune mise en œuvre de niveaux de savoir pour la dyade 16 178
Tableau 85 : N° des tâches conduisant à aucune mise en œuvre de niveaux de savoir pour la dyade 12 179
Tableau 86 : N° des tâches conduisant à aucune mise en œuvre de niveaux de savoir pour la dyade 20 179
Tableau 87 : N° des tâches conduisant à aucune mise en œuvre de niveaux de savoir pour la dyade 8 179
Tableau 88 : Nombre de dyades et tâches pour lesquelles les verbalisations ne sont pas catégorisables 180
Tableau 89 : Tâche donnant lieu à une réponse sans verbalisation catégorisable selon les niveaux de savoir 182
Tableau 90 : Nombre de dyades n'élaborant pas les relations attendues selon la tâche 184
Tableau 91 : Niveaux de savoir mis en œuvre durant la tâche T6 du TP1 et la tâche T18 du TP4 184
Tableau 92 : Codage des verbalisations des élèves selon les niveaux de savoir lors des tâches 3 et 16 du TP4 186
Tableau 93 : Tâches donnant lieu à la mise en œuvre de relations non attendues 188
Tableau 94 : Tâches donnant lieu à mise en œuvre de niveaux de savoir non attendus lors d'une navigation à partir des onglets 189
Tableau 95 : Tâches donnant lieu à mise en œuvre de niveaux de savoir non attendus lors d'une navigation dune tâche précédente 190
Tableau 96 : Tâches donnant lieu à mise en œuvre de niveaux de savoir non attendus en utilisant le matériel 191
Tableau 97 : Tâche donnant lieu à mise en œuvre de niveaux de savoir non attendus à lecture de la consigne 191
Tableau 98 : Tâches donnant lieu à mise en œuvre de niveaux de savoir non attendus à partir de la réponse fournie par le logiciel 192
Tableau 99 : Tâches donnant lieu à mise en œuvre de niveaux de savoir non attendus en utilisant une simulation 193

Tableau 100 : Niveaux de savoir mis en oeuvre lors de la réalisation de la tâche 2 197
Tableau 101 : Niveaux de savoir et relations entre les niveaux durant la réalisation de la tâche 2 du TP1 par la dyade 16 197
Tableau 102 : caractéristiques des dyades 16 et 20 lors de la mesure1 de la fréquence 199
Tableau 103 : Durée de réalisation de la tâche 4 du TP1, nombre de réponses inexactes et nombre d'appels à l'onglet Aide pour les quatre dyades 202
Tableau 104 : Ressources appelées par les quatre dyades à partir de l'onglet Aide..... 202
Tableau 105 : Nombre d'appels à l'onglet Aide et nombre de réponses inexactes lors de la réalisation de la tâche 5 206
Tableau 106 : Comparaison de l'activité des élèves lors des tâches T21 et T22 du TP4 208
Tableau 107 : Comparaison de l'activité des élèves lors des tâches T8 du TP1 et T12 du TP4..... 213
Tableau 108 : Description des quatre dyades..... 219
Tableau 109 : description des quatre dyades selon la durée de réalisation de la tâche, le nombre de réponses inexactes et le nombre d'appels à l'onglet Aide..... 223
Tableau 110 : Description des informations sélectionnées par les trois dyades..... 223
Tableau 111 : Description des quatre dyades lors de la tâche 3 "Mesure 1" 227

Résumé :
Cette recherche constitue une étape dans la conception d'un hypermédia "Labdoc Son et Vibrations" dédié à l'enseignement et à l'apprentissage de la physique des phénomènes sonores (vibration, propagation des sons, hauteur et intensité) par des élèves de Seconde (âgés de 14 à 16 ans). Elle s'intéresse plus particulièrement à l'influence de l'organisation des contenus proposés sur l'activité des élèves ; son but est d'élaborer une méthode pour adapter des séquences de TP (travaux pratiques) proposées en classe "ordinaire" (par exemple des fiches de TP) sur un support informatique dans l'objectif d'aider les élèves à les réaliser d'une manière autonome en dépassant leurs difficultés et en construisant de nouvelles connaissances.
Ce travail a donné lieu à la mise en place d'un cadre théorique dont l'originalité est de fournir des "outils théoriques" à la fois pour concevoir les différentes tâches et pour analyser le fonctionnement des élèves lors de leurs réalisations. Ce cadre repose sur trois axes : l'activité de modélisation, l'activité sémiotique et la théorie des situations. Nous nous sommes penchés sur trois questions de recherche dont les objectifs sont d'apprécier les connaissances mobilisées par les élèves en fonction :

- de la structuration des contenus des tâches selon les niveaux de savoir en jeu dans la modélisation,
- des diverses représentations des contenus,
- des éléments constitutifs des situations d'enseignement.

La méthodologie d'analyse utilise deux approches complémentaires : une analyse globale centrée sur la trace informatique transcrivant automatiquement certaines actions des élèves lors de l'utilisation de l'hypermédia (20 binômes) et une analyse locale élaborée à partir des transcriptions des interventions des élèves (4 binômes).
L'analyse des données confirme la pertinence d'un tel cadre théorique lors de la conception de tâches sur un support informatique et l'analyse de l'activité des élèves. En particulier, la structuration, selon les niveaux de savoir, des contenus proposés aux élèves semble être déterminante pour favoriser la sélection des informations nécessaires à la réalisation des tâches.

Mots clés : didactique, sémiotique, activité de modélisation, hypermédia, résolution de problème, son, nouvelles technologies.

Abstract :
Conception of hypermedia and analysis of influence of the content organisation on the student's activity : In the case of "Labdoc Son et Vibrations".

This research is a stage in the design of the hypermedia "Labdoc Son et Vibrations" dedicated to teaching and learning sound phenomena in physics (sound propagation, pitch and intensity) in upper secondary schools (14 to 16 years old). It focusses on the influence of the content organisation on the students' activity ; one goal is to develop a method to adapt labwork sequences proposed in usual classrooms (e.g. labwork sheets) to computer-based media, in order to support students to carry out these tasks autonomously, going beyond their difficulties by constructing new knowledge.

This work gives rise to an original theoretical framework, used both for the design of the different tasks and for analysing students' activities in the fulfillment of the these tasks. This framework is based on the following axes : modelling activity, semiotic activities and the learning situations theory. Our research questions are to evaluate students knowledge activities with respect to :
- the structure of task contents according to knowledge levels in the modelling activity,
- the various representations of contents,
- the elements involved in teaching situations.

From a methodological point of view, our analysis has been carried out along two complementary approaches : a global analysis focussed on the computer traces that record some students actions on the hypermedia (20 dyads) and a local analysis of the transcriptions of students utterances (4 dyads). These data analyses confirm the relevance of our theoretical framework for the design of computer-based learning activities and the study of students activities. In particular, organising contents according to knowledge levels seems to be decisive in the selection of information leading to the fulfillment of the tasks.

Key words: science education, multiple representation, modelling activity, physics, sound, problem solving, new technologies