

Le fonctionnement intellectuel d'étudiants réalisant des expériences :

observation de séances de travaux pratiques en premier cycle universitaire scientifique

Marie-Geneviève SÉRÉ

DidaScO
Université Paris XI Bâtiment 333
91405 Orsay, France.

Michel BENEY

DidaScO
Université Paris XI
et Université de Brest
UFR Sciences et Techniques
BP 809
29200 Brest cedex, France.

Résumé

Ce travail tente de caractériser les opérations intellectuelles d'étudiants de début d'université, pendant l'activité même de manipulation, lors de travaux pratiques (TP). Les étudiants sont guidés par un polycopié apportant des informations théoriques et donnant des procédures expérimentales. Les observations ont été

faites «in vivo» et les données récoltées interprétées avec des catégories utilisées par les psychologues dans le paradigme du traitement de l'information. Ainsi l'activité intellectuelle des étudiants peut être interprétée par la juxtaposition de «réseaux d'actions» et de «réseaux de concepts», les premiers étant les plus prégnants lors des TP qui ont été observés.

Mots clés : travaux pratiques, université, physique, cognition, apprentissage.

Abstract

This study aims to characterise students' intellectual operations during hands-on activity, in the first year of university. The students were guided by a textbook providing theoretical information and experimental procedure. The observations were performed «in vivo» and the collected data interpreted using categories coming from psychology and specifically from the paradigm of «information processing». The main result is that students' intellectual activity can be interpreted by the juxtaposition of «action networks» and «concept networks», the former being more present in mind during the sessions of labwork observed.

Key words : laboratory work, university, physics, cognition, learning.

Resumen

Este trabajo intenta caracterizar las operaciones intelectuales de estudiantes en el inicio de la universidad, durante la actividad misma de manipulacion, en los trabajos practicos (TP). Los estudiantes son guiados por una fotocopia la cual contiene la informacion teorica y el procedimiento experimental correspondiente. Las observaciones han sido realizadas «in vivo» y los datos recolectados han sido interpretados a partir de categorias utilizadas por los psicologos dentro del paradigma del tratamiento de la informacion. Asi la actividad intelectual de los estudiantes puede ser interpretada por la yuxtaposicion de «redes de acciones» y de «redes de conceptos», siendo las primeras, las mas presentes durante la realizacion de los trabajos practicos observados.

Palabras claves : trabajos practicos, universidad, fisica, cognicion, aprendizaje.

INTRODUCTION

Dans ce travail, nous nous sommes proposés d'observer des étudiants pendant des séances de travaux pratiques de physique, de deuxième année de DEUG. Rappelons qu'en France, les deux premières années d'université conduisent au diplôme appelé DEUG (Diplôme d'Études Universitaires Générales). Ce sont des séances en laboratoire semblables à celles qui existent dans de nombreuses universités françaises et européennes, en temps limité (trois heures), pour lesquelles le matériel est fourni et dont les activités sont guidées par un texte donné aux étudiants. Lors de notre observation, les séances n'avaient subi aucune modification par rapport à leur déroulement habituel.

Notre travail se situe dans la lignée de travaux de didactique qui ont utilisé l'observation d'apprenants réalisant des expériences, pour repérer :

- les apprentissages conceptuels réalisés pendant des séquences d'enseignement (Kaminski, 1989 ; Séré, 1992 ; Lemeignan & Weil-Barais, 1993) ;

- les raisonnements mis en œuvre de façon spécifique au cours de l'activité expérimentale, tels que la modélisation ou le traitement de données expérimentales, quantitatives ou qualitatives (Chomat et al., 1992 ; Beaufilets et al., 1994 ; Tiberghien, 1994). Notre travail se distingue cependant de ces études car, pour obtenir ce type de résultats, les auteurs que nous venons de citer ont eu le plus souvent à organiser des séquences d'enseignement «*ad hoc*» auxquelles ils ont associé des questionnements spécifiques. Pour notre part, par l'observation de travaux pratiques non modifiés à cette fin, sans questionnement spécifique (voir le recueil des données paragraphe 2) nous ne pouvons prétendre évaluer des apprentissages, bien qu'ils figurent parmi les objectifs principaux des séances observées et qu'ils se réalisent probablement sous nos yeux.

Nous tentons de caractériser les opérations intellectuelles qui sous-tendent et dirigent l'action et les gestes mêmes des étudiants, c'est-à-dire ce que l'on appelle la manipulation. Nous cherchons à caractériser l'activité, peu conceptuelle certes, mais cependant intelligente, qui permet d'atteindre les buts pratiques qui sont fixés à l'apprenant, essentiellement des montages, des réglages, le fonctionnement de dispositifs, des mesurages.

Les opérations intellectuelles, étroitement liées à l'action, que nous cherchons à caractériser, sont :

- l'assimilation et la reformulation des buts qui sont assignés,

– le rappel et l'utilisation d'un certain nombre de savoirs qui sont disponibles de façon immédiate dans la situation et le «milieu» au sens de Brousseau (1986) et qui sont ceux de la séance,

– les opérations de contrôle qui permettent à l'étudiant de décider s'il peut continuer, s'il doit recommencer, s'il doit chercher une nouvelle information ou passer à une autre consigne.

Nous nous intéressons donc au fonctionnement intellectuel d'étudiants quand ils cherchent à «réussir» au sens où J. Piaget a distingué l'activité intellectuelle tournée vers la réussite de l'action, de celle qui est tournée vers la compréhension, en particulier dans le livre «*Réussir et comprendre*» (Piaget, 1974).

À l'instar de J. Piaget, nous ne prétendons pas que réussir et comprendre, lors d'une séance de TP de physique de DEUG, soient des activités distinctes et séparables. Les articulations de ces deux opérations existent mais notre propos est ici de caractériser l'activité intellectuelle des étudiants quand ils recherchent la réussite de l'action demandée et qu'ils manipulent. Aussi les notions théoriques, objets de la séance de TP, pourront sembler avoir une place inhabituellement modeste dans nos observations et nos analyses. De plus nos observations cessent au seuil du traitement des données, puisqu'il ne s'agit plus alors d'agir et de faire fonctionner au sens propre. De fait, comme nous allons le préciser, ces notions théoriques sont en général fournies à l'étudiant dans le polycopié en introduction de la séance. Avec ce que l'étudiant a déjà accumulé comme savoirs dans les années précédentes, ces notions théoriques plus ou moins nouvelles, forment une sorte de bibliothèque mentale ou de banque de données disponibles, qu'il n'est pas temps de mettre en question quand il s'agit de manipuler et de faire fonctionner les dispositifs mis à disposition.

Nous rendrons compte de nos observations et de l'analyse qui a pu en être faite de la façon suivante :

– dans une **première partie**, nous tenterons de dégager quelques caractéristiques des travaux pratiques (TP) que nous avons étudiés, TP dont la forme peut être qualifiée de «classique» en France. Ce sont des TP étroitement guidés par un polycopié que la littérature anglo-saxonne qualifie parfois de «*cookbook labwork*» (Gangoli & Gurumurthy, 1995).

Étant donnée la complexité des TP à ce niveau de l'université que nous avons privilégié, nous rendrons compte de cette analyse, qui a porté sur plusieurs séances de TP, à partir d'un seul exemple qui nous paraît prototypique : la mesure de la vitesse de la lumière en DEUG 2^{ème} année à l'université de Brest. Comme on le verra plus loin, cet exemple fait en effet

partie des nombreux TP pour lesquels le matériel est fourni, les méthodes de mesure et le traitement des données sont fixés, les notions théoriques, jugées indispensables par le concepteur de la séquence, sont rappelées,

– dans une **deuxième partie** nous décrivons notre méthodologie d'observation,

– la **troisième partie** donnera les résultats de l'observation : nous tenterons de mettre en évidence les opérations intellectuelles qui nous paraissent rendre compte des activités ainsi que des verbalisations des étudiants pendant la manipulation. Dans le cadre de cet article, cette analyse sera faite seulement à propos de la séance de TP choisie comme exemple,

– enfin dans la **quatrième partie**, en rassemblant les résultats obtenus lors de la séance qui a servi d'exemple dans cet article, et ceux d'autres séances sur des thèmes différents, nous tenterons d'interpréter nos observations en soulignant quelques proximités avec des résultats obtenus dans le cadre du traitement de l'information, développé par des psychologues de la cognition. Ce cadre d'interprétation laisse envisager la possibilité d'étendre nos catégories d'analyse à l'activité manipulative d'autres types de TP implantés à ce niveau d'enseignement (essentiellement les projets).

1. LES TP CLASSIQUES TELS QUE LE POLYCOPIÉ LES PRÉSENTE : LA TÂCHE PRESCRITE

La séance de TP que nous avons choisie comme exemple est intitulée : «La vitesse de la lumière». Il s'agit de mesurer cette vitesse dans trois milieux différents (air, eau, résine). Nous décrivons d'abord le texte donné aux étudiants sous forme de photocopié. Puis nous caractériserons le contrat didactique et les objectifs de la séance elle-même.

1.1. Le photocopié de TP : «La vitesse de la lumière»

Le texte fourni aux étudiants comprend essentiellement un développement théorique, une liste et une description du matériel, les méthodes à utiliser pour obtenir les mesures à effectuer. Nous mettons ici en lumière quelques caractéristiques de ce texte, permettant la compréhension des observations qui suivent.

La figure 1 donne, d'une part, le schéma fourni aux étudiants, d'autre part, un schéma simplifié, suffisant pour la lecture de cet article.

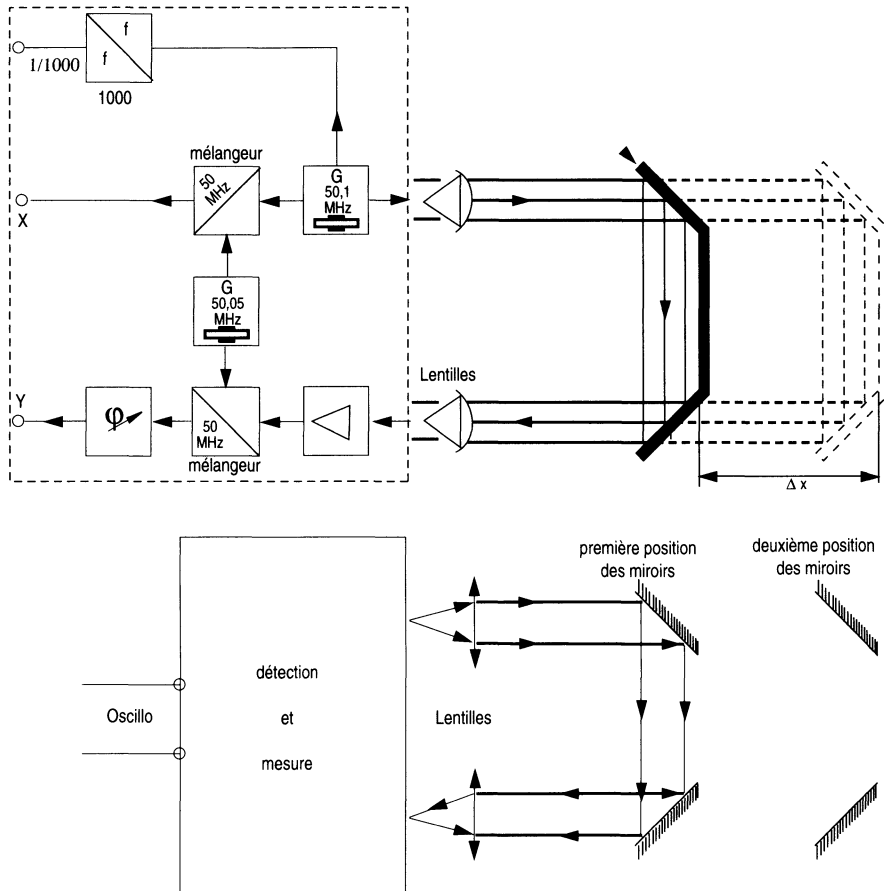


Figure 1 : Principe de l'appareil de mesure et de détection (extrait du polycopié) (en haut). Dispositions respectives des appareils d'optique, de détection et de mesure (en bas)

1.1.1. L'exposé des savoirs en jeu

«On UTILISE la relation...»

Comme c'est souvent le cas dans de tels TP, un «morceau» de théorie est choisi et utilisé. Ici c'est la relation : $c = DI / Dt$

- * DI est la distance parcourue par la lumière,
- * Dt le temps mis à la parcourir,
- * c est la vitesse de la lumière,

et il est rappelé que c est constante dans un milieu homogène, sa valeur dépendant du milieu de propagation considéré. Rien de plus n'est énoncé à propos de la propagation de la lumière.

«*On utilise un ARTIFICE*»

Il est fréquent dans les TP qu'on ne prenne pas la méthode qui découlerait directement de la relation choisie, mais qu'on fasse un détour pour mettre en évidence le phénomène ou pour effectuer des mesures. Ici c'est le coût élevé de la méthode directe qui est invoqué. Le signal lumineux est modulé, l'information recueillie est transformée pour être «lisible» sur un oscilloscope. Ainsi c'est la modulation qui permet d'avoir une information sur le retard dû à la propagation de la lumière sur une distance DI . Le calcul qui explicite cet artifice fait partie de la «partie théorique» et occupe presque deux pages. Il n'a rien à voir avec la vitesse de la lumière, mais plutôt avec les mesures électroniques de signaux lumineux, indépendamment du thème en jeu.

Dans la partie intitulée «manipulation» on expose un autre artifice : au lieu de mesurer un déphasage directement, on demande d'utiliser un «*bouton déphaseur*» sur le boîtier d'émission.

«*LA FORMULE FINALE*»

On appelle ainsi une formule dans laquelle on fait «*rentrer*» les valeurs obtenues par les mesures directes. Cette formule ressemble peu à la définition initiale $c = DI/Dt$, puisque Dt s'exprime à partir du déphasage d'un signal Df sur l'oscilloscope et de deux pulsations w_1 et w_2 . On obtient ainsi une relation $Dt = Df/(w_2 - w_1)$, intermédiaire, qui est utilisée et transformée dans le but de diverses déterminations :

- mesure 1 de c dans l'air

Compte tenu des déphasages au niveau de l'oscilloscope, multiples d'un entier N , tout calcul fait, on a la relation : $x = 0,499 \cdot N \cdot c \cdot 10^{-9}$ (ms^{-1}) x étant le déplacement des miroirs (produisant une modification de la distance DI parcourue par la lumière).

Cela constitue «*la formule finale*» pour cette mesure 1,

- mesure 2 de c dans l'air

Elle consiste à mesurer le déplacement des miroirs qui produit un déphasage égal à P .

Tout calcul fait (calcul qui en général retient peu l'attention des étudiants pendant la séance), tenant compte du bouton déphaseur, on a : $c = 2,004 \cdot 10^8 \cdot x$

qui constitue «*la formule finale*» pour cette mesure 2,

- mesures de c dans l'eau puis la résine.

Ici on compare c dans l'air et dans l'eau, puis dans l'air et dans la résine. Comme précédemment, une formule finale, simple et globale, indique le calcul à faire à partir des mesures directes.

Soulignons que l'étudiant est amené à manipuler essentiellement ces «*formules finales*» qui ont peu de sens en ce qui concerne la propagation de la lumière.

1.1.2. Le texte guidant l'expérimentation

Le texte du photocopié présente une DESCRIPTION de l'appareillage. Les étudiants disposent de deux photos légendées et de la description des éléments les uns après les autres. Certaines parties descriptives guident plus spécialement l'action :

- le *bouton* modifiant la phase entre le signal émis et le signal reçu est localisé sur une figure,

- on évoque un «*réglage correct*» des miroirs et des lentilles donnant une certaine géométrie au faisceau, de façon à ce qu'elle soit conservée quand on modifie la longueur du faisceau par le déplacement des miroirs de renvoi (chacun de ces miroirs fait tourner le faisceau de 90° et à eux deux font repartir celui-ci dans la direction opposée),

- pour l'oscilloscope, on indique les «*seuls boutons à utiliser*». On donne de plus une procédure de contrôle de la base de temps, pour lequel on «*touche*» au bouton de calibrage. (Tel est le vocabulaire couramment utilisé en TP par les étudiants comme par les enseignants.)

La PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE suit immédiatement l'établissement d'une des formules finales : les positions de départ, d'arrivée, le mode de l'oscilloscope, etc., sont décrits.

Au passage, des procédures, habituelles dans les TP de ce niveau, sont préconisées :

- choix du mode X - Y ou du mode dual pour l'oscilloscope,

- comparaisons avec ce qui est connu ou vient d'être mesuré plutôt que mesures absolues,

- mesures analogiques : l'appareil de mesure transforme la quantité à mesurer en une grandeur spatiale (longueur ou angle). De plus, l'oscilloscope donne une visualisation du signal. Pour mesurer une différence de phase, on dispose d'un bouton déphaseur qui donne la possibilité d'ajouter ou de soustraire un terme de phase.

L'étudiant doit discerner qu'un même signal sur l'oscilloscope peut correspondre à plusieurs signaux lumineux différents et *vice-versa*.

Il y a donc deux signaux dans cette manipulation : la lumière (qui en est le thème), et le signal sur l'oscilloscope.

1.1.3. Conclusion

Comme on peut s'y attendre, il reste une grande part d'**implicite** dans ce texte. Par exemple, dans toutes les transformations (addition, multiplication, etc.) de signaux dont il est question, la distorsion ou la diminution d'intensité ne sont jamais prises en compte. Elles constituent pourtant autant d'événements pour l'étudiant qui manipule. Pour mener à bien le travail, il suffit de s'intéresser exclusivement au déphasage.

En dépit de la présence d'une partie théorique et donc d'objectifs conceptuels identifiables comme nous allons le montrer ci-après, le texte du photocopié présente les caractéristiques d'un texte à visée pragmatique (Richard, 1990).

1.2. Le contrat didactique et les objectifs

1.2.1. Le contrat didactique

Pour toute séance de TP en université, les enseignants ont pour les étudiants des objectifs que nous détaillons ci-après. Dans le contexte des TP qui nous intéresse, les étudiants sont vraisemblablement conscients des objectifs conceptuels et théoriques, peu des autres types d'objectifs. Pendant le temps de la séance, le but principal de leur activité est de faire fonctionner les dispositifs disponibles et d'obtenir le nombre de mesures demandé. Ils font ainsi montre d'une grande docilité vis-à-vis du photocopié, avec l'intention d'être capables de recommencer le même travail le jour de l'examen. En effet, ce jour-là, à la suite d'un tirage au sort, ils auront à refaire une des expériences et à mener à bien le recueil des mesures. L'enseignant est donc disponible pour aider à la **réussite** de l'expérience, et répondre aux questions de façon à ce que cette réussite puisse être renouvelée le jour de l'examen. Il aide, et ne porte de jugement ni sur la séance elle-même, ni sur le comportement des étudiants, ni sur le compte rendu qui est d'ailleurs facultatif.

1.2.2. Les objectifs conceptuels et théoriques

Bien que le titre de la séance de TP que nous avons prise comme exemple soit : «Mesure de la vitesse de la lumière», l'exposé parle peu de la lumière, de sa propagation, et de sa vitesse. Cette séance est en réalité l'occasion d'autres apprentissages. En effet, à ce niveau universitaire, on peut considérer que les notions théoriques d'optique ou d'électronique ont été déjà étudiées, «vues», sinon sues. Il est alors légitime de demander aux étudiants de les utiliser sans les exposer à nouveau dans un texte théorique. L'apprentissage de ces notions se fait à travers l'utilisation, l'application, le recours à une théorie sous-jacente.

Il arrive même que le polycopié demande de recourir à des notions qui seront vues ultérieurement : «*Vous verrez la prochaine fois le principe du galvanomètre à cadre mobile*».

Pour une séance de TP donnée, on peut donc assimiler les objectifs conceptuels et théoriques non à ceux qui sont exposés en tant que tels, mais à ceux qui sont nécessaires à la conduite de l'action. Pour cette séance, les objectifs appartiennent à l'**optique** (caractère ondulatoire de la lumière, propagation, transformation d'un faisceau lumineux par une lentille, un miroir, intensité et phase d'une onde), ainsi qu'à l'**électronique** (transformation d'un signal lumineux en un signal électrique, grandeurs définissant ce signal, filtrage).

On retrouve ici le fait que, à l'université, le temps est venu pour les étudiants d'expérimenter en «utilisant» la théorie, et en ayant recours à ce qui a déjà été compris pour réussir. À ce titre, la situation est légèrement différente de ce qu'elle est au niveau du lycée où on utilise fréquemment les TP pour introduire de nouvelles notions.

1.2.3. Les objectifs de savoir-faire et de méthode

Comme on l'a montré, le texte du polycopié fait mettre en œuvre des artifices, des traitements de données, des «trucs» d'utilisation d'un appareil, sans pouvoir tout expliquer et justifier. L'acquisition de ces savoir-faire fait partie des objectifs. Au delà, nombre d'enseignants recherchent aussi des objectifs de méthode. Ils sont formulés par exemple en termes d'apprentissage de «*la structure de la science*», qui est censée se réaliser par l'activité elle-même.

2. MÉTHODOLOGIE D'OBSERVATION

2.1. Recueils de données

Nous avons mis en oeuvre un recueil de données qu'on peut qualifier de «*in vivo*» dans la classe même en tentant de saisir le maximum de données sans toutefois perturber l'activité des étudiants.

L'observateur est l'enseignant. Il n'est pas seul comme enseignant : vu la dimension des salles, ils sont deux. Les étudiants sont prévenus très globalement que leur travail est l'objet d'une recherche en didactique. L'observateur les enregistre quand il s'approche d'eux à l'aide d'un magnétophone, soit suspendu à son cou (visible), soit dans sa poche (invisible). Les résultats dont nous rendons compte ici proviennent d'observations lors de plusieurs séances de TP, dans deux universités françaises (Brest et Paris XI à Orsay), dont les thèmes étaient variés (Beney & Séré, 1995) :

- mesure d'une induction magnétique,
- spectroscopie,
- mesure de la vitesse de la lumière,
- mesure de la constante de Planck,
- échanges de chaleur,
- ondes centimétriques : interférence et diffraction,
- ondes visibles : interférences et diffraction,
- guide d'ondes.

Nous avons réalisé quelques enregistrements vidéos, pour pouvoir reprendre les observations après la séance.

Les observations ne sont jamais particularisées à un étudiant ou à un binôme d'étudiants donné. Et, ni pour l'ensemble du groupe-classe, ni pour un binôme on ne peut prétendre tout observer. Nos données constituent un sous-ensemble des données pertinentes pour décrire et catégoriser les opérations intellectuelles pilotant l'activité. Nous obtenons seulement un échantillonnage, qu'on peut qualifier d'aléatoire, parmi les actions manipulatoires et les verbalisations, tout en sachant qu'une grande part de l'activité intellectuelle est silencieuse.

Le champ des verbalisations est constitué de la façon suivante :

– l'observateur sollicite les étudiants par des questions du type : «*Qu'est-ce que vous faites ? Est-ce que ça va ? Pourquoi avez-vous agi ainsi ? etc.*» ce sont des questions habituelles pour un enseignant. Elles sont ici plus fréquentes qu'à l'habitude,

– l'observateur répond aux questions des étudiants quand ils sont

• dans une phase de questionnement qui se traduit pas des phrases telles que :

«*Par quoi vais-je commencer ?*»

«*Est-ce que je peux considérer que le réglage est suffisant ?*»

«*Est-ce que ce que j'ai essayé est satisfaisant ?*» etc.

• dans une phase de difficultés, et donc de non-réussite, au cours de laquelle ils doivent trouver des solutions. Le polycopié décrit toujours un déroulement de l'activité qui conduit à la réussite. Or ce qui se passe en TP est de l'ordre de l'événement singulier. Il peut y avoir de l'imprévu par rapport à ce que décrit le polycopié. Cela pousse à chercher plus loin, à faire preuve d'initiative et donc à mettre en jeu des opérations intellectuelles qui sont notre objet d'étude. Il faut d'ailleurs en premier lieu juger de la conformité à l'événement préconisé par le polycopié (nous verrons plus loin qu'un étudiant peut penser avoir réussi à obtenir un certain signal sur un écran d'oscilloscope, alors qu'il l'a obtenu non en «touchant» aux miroirs du montage, mais en «touchant» à un bouton de l'oscilloscope). Il faut de plus se sortir de la situation de non-réussite.

Il arrive également que tout «*marche bien*» sans problème et sans que l'étudiant ait l'occasion de s'exprimer oralement. Dans ce cas l'observateur est privé de données d'observation. Il peut arriver aussi que l'étudiant dans cette situation ait eu peu à réfléchir, et paradoxalement, ait eu moins l'occasion d'un apprentissage que si les choses avaient moins bien marché. Ainsi il est arrivé que l'enseignant demandât aux étudiants comment ils avaient fait le réglage et que ceux-ci répondissent qu'ils ne savaient pas : «*cela a fonctionné, c'est tout !*»

Nous récoltons donc un ensemble de données discontinues dans le temps, incomplètes, et non particularisées à un individu. Elles correspondent aux événements qui se déroulent lors de la séance, souvent différents des événements prévus *a priori* par le polycopié.

2.2. L'analyse des données

Notre démarche à tout d'abord été très empirique. Disposant d'un certain nombre de données, très vite nous nous sommes aperçus que les

seuls outils d'analyse provenant de la physique étaient insuffisants et que c'étaient des outils de psychologie cognitive qui pouvaient en permettre la compréhension.

Ainsi, ce que nous avons enregistré et observé est justifiable d'une double catégorisation.

Toute production d'un étudiant est un moment de la manipulation et a un sens par rapport à la **logique scientifique** de l'activité observée. C'est pourquoi nous avons décrit ci-dessus, brièvement, cette logique. Elle articule des savoirs théoriques fournis par la physique, objet de l'apprentissage dans cette séance même, ou lors d'un enseignement antérieur. Elle se manifeste aussi dans une succession de phases présentées dans le polycopié.

Toute production d'un étudiant se situe dans une deuxième logique : la **logique de son activité psychologique**, qu'il s'agit pour nous de qualifier. Nous la caractériserons par ce qui la pilote : le choix de buts et de sous-buts, de plans, de la recherche de résultats et de moyens, sachant qu'un même résultat peut être obtenu par différents moyens et réciproquement. Nous utilisons les concepts de contrôle – en tant que retour en arrière sur l'action pour la valider ou non –, de diagnostic – en tant qu'activité de compréhension d'une situation –, et de prise d'information dans des textes. Pour en rendre compte, nous utilisons des concepts intervenant essentiellement quand il y a recherche de réussite d'une action : le concept de règle – en tant que connaissance qui fonctionne comme une prescription –, d'action prototypique – en tant qu'action qui sert d'exemple pour d'autres actions –, d'analogie, etc.

Nous donnerons donc nos résultats en les regroupant suivant la première logique qui est celle d'une activité expérimentale en physique. Nous avons discerné les phases suivantes :

- identification des éléments matériels fournis à partir du texte, et réalisation du montage,
- identification d'un but au cours de la mise en œuvre,
- identification et contrôle du signal,
- identification et contrôle des actions,
- contrôle sur l'ensemble de la mise en œuvre (typiquement au moment de faire les mesures).

3. LES OPERATIONS INTELLECTUELLES DES ÉTUDIANTS PENDANT LA SÉANCE «Vitesse de la lumière»

3.1. Identification des éléments matériels et réalisation du montage

Dans la séance de TP que nous avons choisie à titre d'exemple, la phase d'identification des éléments ne donne lieu à aucune observation pertinente pour notre propos. Les connexions entre appareils sont préalablement réalisées et les appareils eux-mêmes disposés exactement comme sur le schéma fourni au début de la manipulation (figure 1), pour la mesure de la vitesse de la lumière dans l'air. Cette mesure est ensuite réalisée dans l'eau en plaçant un tube plein d'eau sur le trajet de la lumière. Sa longueur (1 m) fait qu'aucune initiative n'est requise pour placer ce tube. Enfin, la mesure est réalisée dans la résine : il faut alors placer le bloc de résine de 30 cm de long sur le trajet de la lumière. C'est la seule occasion où il est requis quelque initiative pour la disposition des appareils.

Plusieurs binômes remplacent le tube plein d'eau par le bloc de résine, sans rien modifier d'autre, laissant ainsi cheminer la lumière dans l'air sur une longueur de 70 cm. Ils remplacent l'eau par la résine sans changer la «formule finale», par **analogie** avec le premier cas étudié.

E (Enseignant) : *«pourquoi le mettre à un mètre [le bloc de résine] ?»*

b (un des étudiants du binôme) : *«comme pour l'eau»*

E : *«pourquoi on l'a mis à un mètre ?»*

b : *«il y a un aller et retour, il faut le mettre à un mètre.»*

Les étudiants ne reviennent pas à la théorie (propagation de la lumière) ou au domaine d'application de la formule (trajet parcouru par la lumière dans le matériau), mais ils s'en remettent à une **action prototypique** (il faut mettre à un mètre), ce qui est probablement moins coûteux en temps.

Il est arrivé que l'enseignant fasse formuler le but de l'opération :

E : *«qu'est-ce que vous faites ?»*

B : *«on mesure un temps, un décalage en temps»*

E : *«oui mais vous savez ce qu'il faut faire : il faut mesurer un décalage en temps dû à la résine, et si vous mettez à un mètre vous aurez aussi un décalage dû à l'air.»*

(Il rapproche alors le bloc de résine des lentilles.)

b : «...*juste derrière la lentille...*»

E : «*pourquoi ?*»

B : «*pour qu'il y ait le moins d'air possible.*»

Ainsi les étudiants avaient réalisé le montage sans référence aux formules à utiliser ni à leurs conditions d'utilisation.

C'est ce que nous avons constaté dans d'autres manipulations : pour cette toute première étape, les actions pour identifier les éléments et les organiser en montage sont guidées par des **analogies**, des **règles**, souvent de **faisabilité**, des **actions prototypiques**. Elles constituent un détour par rapport au recours à la théorie en jeu.

3.2. Identification des buts lors de la mise en œuvre

La mise en œuvre consiste en les actions suivantes :

- rendre un faisceau lumineux parallèle,
- mettre en phase deux signaux (avant et après propagation) pour une position donnée du miroir, ceci en faisant apparaître une figure donnée sur l'écran de l'oscilloscope (soit une ellipse, soit deux sinusoïdes),
- fixer la base de temps de l'oscilloscope à la valeur imposée,
- déplacer le miroir et effectuer les mesures (deux méthodes) en ayant donné au décalage des sinusoïdes des valeurs imposées,
- disposer un tube plein d'eau et affiner les réglages. Recommencer les mesures,
- disposer un bloc de résine de dimensions différentes. Recommencer les mesures.

Nous prendrons pour seul exemple la **tâche** «*faire un faisceau parallèle*» qui est explicitement demandée avec cette formulation dans le photocopié. Nous avons retrouvé des résultats semblables pour d'autres tâches comme «*mettre en phase les deux signaux*», etc.

«*Faire un faisceau parallèle*» est une tâche qui est demandée pour qu'il soit possible de translater les miroirs en gardant tous les autres paramètres constants d'une position à l'autre. Ainsi une légère divergence est admissible car la faible modification d'amplitude qui en découle peut être rattrapée par action sur les lentilles par exemple. Ceci nécessite de comprendre que l'action sur une lentille n'introduit pas de déphasage.

Ainsi l'expérimentateur doit connaître la relation entre déplacement de la lentille/déphasage/changement d'amplitude pour effectuer les mesures dans les meilleures conditions. En réalité les étudiants reformulent la tâche en terme de buts et leur associent des critères de réussite.

Nous allons montrer comment les étudiants se donnent des **buts**, éventuellement subdivisés en **sous-buts**. Ceux-ci, rattachés à une ou des actions, sont différents des objectifs utilisés prévus par le texte destiné à les guider. Ils se donnent aussi des **critères**, qui ne sont pas issus de la relation énoncée ci-dessus, ou ont recours à des **règles** issues de savoirs théoriques, règles parfois mal adaptées. En témoignent les réponses à la question que nous avons posée plusieurs fois : «*Comment savez-vous que c'est parallèle ?*»

Critère de réussite

N.B. Une citation nouvelle commence avec chaque nouveau numéro.

1 – «*C'est quand ça (le faisceau après réflexion) revient juste dessus.*»

2 – «*On a fait un faisceau qui revient.*»

3 – «*Il faut une belle image au niveau de la deuxième lentille.*»

4 – Des étudiants prennent comme critère la possibilité de bouger le miroir : ce faisant, ils en déduisent qu'il ne faut pas trop rapprocher la lentille du miroir. C'est un critère de faisabilité.

5 – Le dialogue suivant montre la formulation d'un critère puis d'un but : «*On n'a pas deux sinusoides*» (sous-entendu : il faudrait les avoir). C'est un critère de réussite.

Buts éventuellement divisés en sous-buts

(Suite du dialogue ci-dessus) - «*On n'a pas deux sinusoides.*»

E : «*C'est que vous n'avez pas de signal retour. Il faut régler les lentilles mais faites un faisceau parallèle avant.*

– «*On doit régler pour avoir un signal maximum.*»

6 – «*Quand on règle, est-ce qu'on essaye d'avoir un maximum ici ?*»
(montrant l'écran de l'oscilloscope)

7 – «*Il faut obtenir une courbe identique à celle du départ en jouant sur les lentilles.*»

E : «*Il faut une courbe, c'est-à-dire un signal. Alors quoi faire pour avoir un signal, quel réglage ?*»

– «...déjà regarder si ça... si ça arrive... si le trajet... le trajet lumineux arrive jusqu'à la réception ;»

8 – E : «pourquoi faire un faisceau parallèle ?

– c'est pour concentrer le faisceau.»

Règles

Un dialogue montre que l'étudiant a recours au savoir «ça grossit ,la lentille» alors qu'en l'occurrence, la lentille a pour fonction de transformer un faisceau parallèle en faisceau convergent. Une autre règle qui a été utilisée dans un échange entre enseignant et étudiants, règle inadaptée ici, est : «le faisceau est parallèle quand il vient de l'infini».

La structuration de cette tâche en buts, avec les modes de réalisation ainsi que les critères de contrôle de l'action qui en découlent, est différente pour l'enseignant et l'étudiant. Il s'en suit de réelles difficultés pour les étudiants à diagnostiquer l'erreur en cas d'événement imprévu reconnu comme tel. Pour décider s'il y a réussite et atteinte du but ou au contraire difficulté, et donc pour décider de la suite de l'action, les étudiants se donnent des indices qui portent sur l'un des deux signaux (signal lumineux ou signal sur l'oscilloscope).

3.3. Identification et contrôle du signal

Ainsi des jugements sont portés par les étudiants sur les signaux obtenus, la question étant sans cesse de savoir s'ils ont obtenu le «bon signal» et si le deuxième signal (oscilloscope) obtenu après différentes transformations, représente bien ce qu'ils cherchent.

3.3.1. Le jugement sur le signal lui-même

• Signal lumineux

1 – Des étudiants regardent si l'image sur un papier situé à l'orifice de sortie du faisceau est nette. L'enseignant leur demandant «pourquoi pas plus loin ?», ils répondent qu'ils ne savent pas.

2 – «Quand j'éloigne [le miroir], ça disparaît.»

Cet indice d'échec du réglage est souvent choisi : il faut au moins que les deux signaux coexistent. Cet échec peut même déclencher une accusation (c'est à dire un diagnostic) d'insuffisance du matériel :

«C'est la puissance, la puissance du faisceau lumineux qui n'est pas assez importante, alors l'autre (orifice) il reçoit plus rien.»

3 – Un critère n'est pas pertinent : *«il faut que ce soit symétrique»*.

• Signal à l'oscilloscope

1 – Des étudiants tiennent à obtenir une sinusoïde complète et, dans ce but, enfreignent la consigne concernant la base de temps.

2 – Les deux caractéristiques sont l'amplitude et la phase. Il arrive que les étudiants accordent de l'importance à l'amplitude alors que l'essentiel est la phase. L'enseignant évacue alors les questions posées par les étudiants à propos de l'amplitude.

Une autre caractéristique est prise en compte qui n'est pas pertinente ici : à propos de la phase, il est indispensable de comprendre que, si le texte demande de mettre les deux signaux (aller et retour) en phase, c'est essentiellement pour simplifier le recueil de données. La valeur de la phase en elle-même n'a pas d'importance. C'est une sorte d'ajustement de zéro. Pour la réalisation de cet ajustement, les étudiants utilisent souvent des règles prototypiques, mal adaptées : ils réagissent directement à l'aspect observé sur l'écran de l'oscilloscope. Par exemple, devant la figure ci-dessous observée sur l'écran (figure 2), un étudiant dit : *«Ca n'a pas l'air en phase, ça ne se coupe pas en zéro»*.

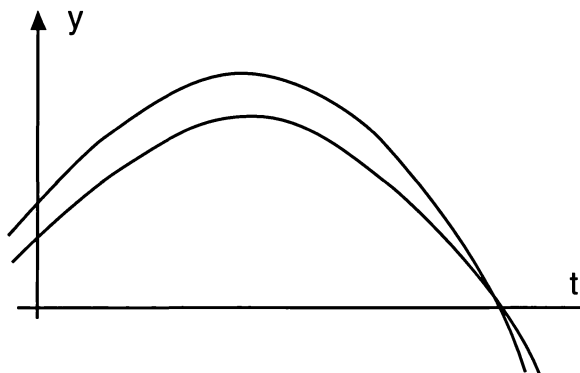


Figure 2 : Signal observé par un étudiant sur l'oscilloscope, ayant provoqué le commentaire : *«Ça n'a pas l'air en phase. Ça ne se coupe pas en zéro.»*

Ainsi les étudiants disposent de **jugements** tout faits, **prototypiques** sur le *«bon signal»*, quasi indépendants du contexte de l'expérience en cours.

3.3.2. Le jugement sur le signal en tant qu'indice de réussite ou d'échec, ou en tant que support de la mesure.

Il s'agit ici uniquement du signal de l'oscilloscope :

1 – *«Si c'est pas parallèle, il y aura un décalage supplémentaire sur l'oscilloscope».*

2 – *«Si ce n'est pas parallèle, ce ne sera pas symétrique».*

3 – Pour les étudiants, tout écart du signal par rapport à ce qui est attendu du «bon» signal permettant la mesure, provoque un arrêt et une demande d'aide. Nous avons observé des réactions semblables quand les étudiants jugent de la «bonne» évolution du signal sur l'oscilloscope au moment de modifier la position des miroirs : par exemple la stabilité est indûment exigée.

De plus, un signal peut apparaître comme «bon» et ne pas permettre les mesures.

Il semble bien que les étudiants disposent de règles pour caractériser et juger les signaux. Ces règles déterminent le diagnostic d'échec ou celui de réussite et contrôlent donc l'action. Si elles sont déconnectées du contexte et ne reposent pas sur les savoirs théoriques en jeu, elles peuvent induire en erreur et gêner l'action.

3.4. Identifications et contrôle des actions

Le moyen de contrôle des actions se situe au niveau de ce qui est perçu par l'étudiant, c'est-à-dire tout ce qui peut être considéré comme un signal. Comme on l'a dit, les signaux sont ici au nombre de deux, le signal sur l'oscilloscope étant le plus important pour contrôler l'action.

On peut représenter par un schéma (figure 3) tout ce qui permet de modifier le signal sur l'oscilloscope.

En plusieurs occasions les étudiants agissent de façon non pertinente sur un des trois éléments indiqués par la figure 3 pour obtenir le signal qu'ils se sont fixés de trouver. En particulier il arrive fréquemment qu'ils touchent à l'oscilloscope (bouton déphaseur) avec l'intention d'améliorer le phénomène lui-même.

Ainsi pour obtenir un résultat ou agir sur lui, il y a plusieurs modes de réalisation. Le choix d'un mode de réalisation particulier et des actions correspondantes (par exemple sur les instruments) nécessite une compréhension des relations action-signal, faute de quoi c'est la production d'un résultat direct qui guide ces actions. Celles-ci sont souvent effectuées

en priorité sur l'appareil de mesure : soit en essayant d'emblée d'amplifier le signal soit en tentant de changer la phase sur l'oscilloscope. Des étudiants en arrivent à enfreindre une consigne, notamment parce qu'ils voulaient faire apparaître une période complète du signal (les conditions de travail préconisées faisaient apparaître seulement une demi période).

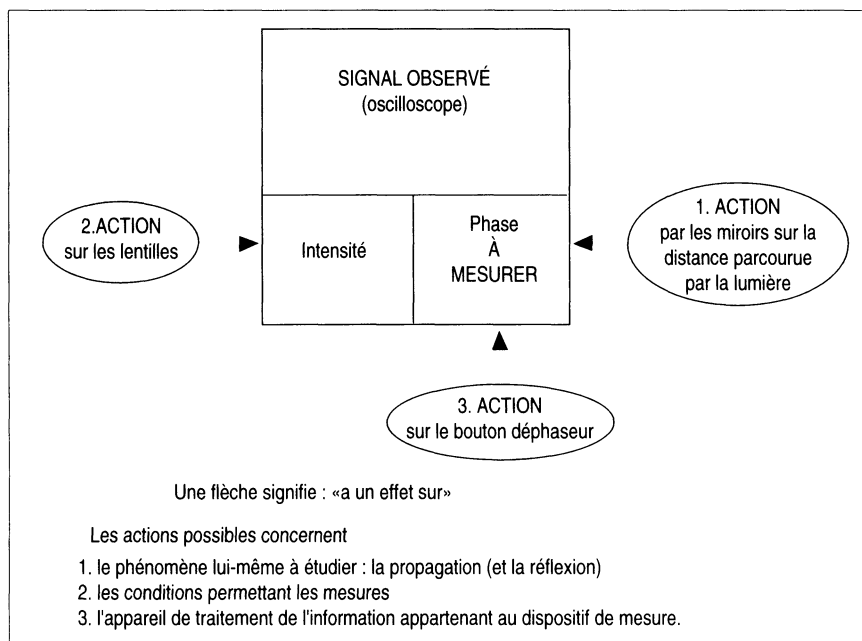


Figure 3 : Les différentes actions sur le signal

3.5. Contrôle sur l'ensemble de la mise en œuvre

Au moment de faire les mesures, ayant réalisé les réglages avec des critères que nous avons détaillés, ayant également obtenu un signal qui paraît «bon», les étudiants doivent recueillir les données. Ils utilisent alors différents moyens de **contrôle** sur l'ensemble de leurs actions.

Un premier type de contrôle consiste en une intervention de la théorie au terme du déroulement pratique de la manipulation, autrement dit en une intervention du sens que donne la théorie en jeu, à l'activité. Certes, ce type de contrôle existe, bien que, observant souvent des étudiants en difficulté, nous l'ayons peu trouvé. En fait l'activité des étudiants a été fortement parcellisée, divisée en sous-buts successifs, la planification en tant qu'anticipation des actions à produire pour atteindre un but, apparaissant

comme peu prise en charge personnellement. Aussi ce premier type de contrôle par la théorie pose problème aux étudiants. C'est ainsi que nous avons enregistré le dialogue suivant entre l'enseignant et des étudiants qui avaient bien réglé leur système et n'avaient plus qu'à faire une mesure :

E : «Où en êtes-vous ?»

b : «on a du mal... parce qu'on a... la différence entre les deux sinusoides... c'est ça : N, on voit pas comment calculer.»

E : «**c'est quoi physiquement le N** ? Qu'est-ce qu'il faut faire pour avoir le N ?»

b : «le temps...»

(la sinusoïde se décale vers la droite)

E : «Elle se décale en temps : **c'est ça le N**. Qu'est-ce qu'il faut faire pour avoir le N ?»

b : «1 cm (sur l'oscilloscope)»

E : «Et 1 cm c'est quoi en retard ?»

b : « 10^6 seconde»

E : «Voilà, c'est tout. Allez-y à 1 cm.»

On voit ici que les étudiants parviennent à décaler les sinusoïdes comme ils se sont fixés de le faire. Ils savent que cela va permettre d'obtenir N, qu'il faut «rentrer» dans une formule. Ils ne savent plus la «*signification physique*» de N, comme le dit l'enseignant, ou encore la signification théorique de ce qu'ils manipulent et voient. De la même façon, il n'est pas inutile que l'enseignant leur fasse redire qu'un décalage (en espace) de sinusoïdes correspond à un décalage en temps.

Par ailleurs c'est le moment où il faut recueillir les mesures. Il existe un contrôle de l'ensemble des actions par la **faisabilité** : par exemple le polycopié demande de faire 9 mesures, ou encore il préconise un décalage des sinusoïdes d'un carreau.

Il existe également un contrôle sur les valeurs qui fonctionne par des **règles générales** (c'est-à-dire applicables à des situations expérimentales différentes) sur l'ensemble des valeurs, par exemple :

- les valeurs doivent être proportionnelles,
- les valeurs ne doivent être ni trop petites, ni trop rapprochées,
- on peut aussi retrouver, comme précédemment, des règles de symétrie.

Nous avons donc mis en lumière, dans cette séance, des phases de contrôle global de l'activité menée par :

– la signification théorique de l'activité,

(C'est par ce biais, vraisemblablement, que l'apprentissage conceptuel peut se réaliser.)

– mais aussi la faisabilité des mesures,

– ainsi que des règles générales.

Il existe donc de nombreux distracteurs par rapport à la signification physique de l'activité.

4. LE FONCTIONNEMENT COGNITIF DES ÉTUDIANTS LORS DE L'ACTIVITÉ MANIPULATOIRE

Au terme de ce parcours portant sur une unique séance de TP, prise à titre d'exemple, nous allons tenter de reformuler quelques-uns des résultats obtenus, avec une plus grande généralité. Nous tiendrons compte des observations conduisant à des analyses semblables dans des séances de TP de thèmes tout à fait différents. Nous pouvons tenter une synthèse qui corrobore des résultats avancés par des psychologues de la cognition à propos d'activités d'apprentissages de connaissances bien différentes, non formalisées et modélisées, contrairement aux savoirs en jeu dans la physique.

4.1. L'atomisation de l'action

Lors de ces séances de TP, nous n'avons pas eu l'occasion d'observer de phase de planification. Sans pouvoir généraliser (voir au paragraphe 2.1. le type de données recueillies), nous pouvons cependant dire que pour les étudiants observés, il y a eu «*atomisation de l'action*» comme Vermersch (1991) l'a constaté dans le contexte d'une autre tâche : la réalisation d'une recette de cuisine. Il constate que les consignes ne sont pas exécutées en une seule fois. Elles sont d'abord décomposées en actions élémentaires qui sont alors immédiatement exécutées. D'après cet auteur, ces actions élémentaires, auxquelles correspondent des sous-buts, sont exécutées séparément. Ce comportement traduit la difficulté de faire correspondre directement des actions aux mots qui les définissent.

Dans le cas des TP que nous avons observés, nous avons trouvé une difficulté à faire correspondre les actions aux savoirs conceptuels en jeu.

Il en résulte une difficulté à planifier les actions, c'est-à-dire à combiner la suite d'actions élémentaires qui permettent la réalisation de la consigne. Ce qui est vrai, pour la réalisation d'une tarte aux pommes, l'est aussi pour la réalisation des consignes pour la mesure de la vitesse de la lumière. C'est une des origines de la difficulté à donner un sens physique à l'ensemble des actions élémentaires.

4.2. La sémantique de l'action

Nos résultats peuvent aussi s'interpréter en considérant qu'il existe une sémantique des actions comme il existe une sémantique des concepts. D'après Richard (1990), comme les concepts, les actions s'organisent en réseaux. Pour les actions, trois types d'informations sont à prendre en compte :

- 1 leur résultat (le déclaratif, qui décrit l'état résultant),
- 2 leur exécution (le procédural),
- 3 les prérequis.

Dans les rapports respectifs de l'action et de l'information, il faut tenir compte de ce que :

– une information sur un résultat (type 1) peut correspondre à différentes actions. Ainsi un même signal sur l'oscilloscope peut correspondre à plusieurs états de l'appareillage,

– inversement plusieurs résultats peuvent provenir d'une action donnée. Ainsi les étudiants sont surpris de voir que, en plus de faire changer la phase, un mouvement des miroirs change aussi l'amplitude du signal,

– toutes les informations concernant une action ne sont pas au même niveau hiérarchique : l'information la plus accessible est la première des trois citées ci-dessus, celle qui concerne le résultat de l'action. Les savoirs de la troisième catégorie sont mobilisés le plus difficilement.

Dans le cas des activités en TP que nous avons observées, les trois types d'informations correspondantes sont :

1 la description du résultat (elle contient une part d'implicite. Voir le paragraphe 1.1.),

2 les consignes, généralement dénommées procédures expérimentales,

3 des savoirs conceptuels (complexes au niveau d'études considéré). Ils sont soit résumés ou rappelés dans le texte du polycopié, soit déjà

rencontrés dans un contexte différent. Nous avons montré que les étudiants se situent plus dans une sémantique des actions, dont nous avons donné un exemple d'organisation en réseau à la figure 3. Alors qu'un réseau conceptuel pour la même séance de TP pourrait être celui de la figure 4 pour la partie optique. Plusieurs réseaux conceptuels (nature ondulatoire de la lumière, optique géométrique des lentilles et miroirs, électronique) doivent d'ailleurs être présents à l'esprit des étudiants.

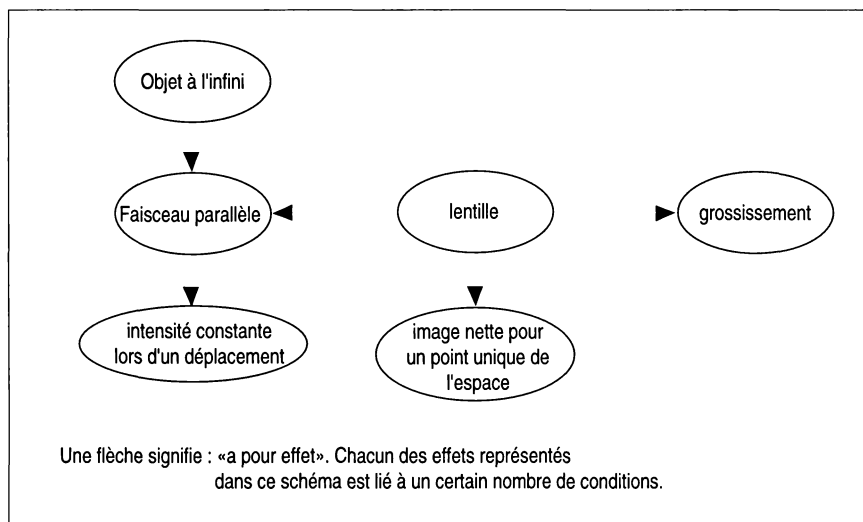


Figure 4 : Un réseau conceptuel autour du concept de lentille

4.3. L'acquisition de connaissances

Nous avons fait intervenir dans nos analyses le fait que les étudiants disposent, en plus des informations fournies par le photocopié, d'un ensemble de connaissances. Dans la littérature du traitement de l'information, cet ensemble a été souvent comparé à, et appelé une «*bibliothèque mentale*». On peut se demander ce que nos observations apportent aux questions suivantes, formulées dans le cadre de cette analogie.

Quel type de connaissances les étudiants ont-ils extrait de leur bibliothèque mentale ?

Quel type de connaissances ont-ils pu acquérir et emmagasiner dans leur bibliothèque mentale ?

Nous nous intéresserons d'abord à ce qu'il est possible d'appeler des connaissances pratiques, puis à des connaissances conceptuelles

4.3.1. Emmagasinier et utiliser des connaissances pratiques

On sait, d'après Richard (1990), que la mémorisation, lors de l'action, se fait de telle sorte que :

– une action donnée peut être désignée par un terme plus général et mémorisée comme telle. Ainsi un étudiant peut se souvenir qu'il a amplifié un signal, alors qu'il a changé de calibre. On s'aperçoit d'ailleurs que c'est souvent l'action sur l'appareil de mesures qui est privilégiée. Nous en avons vu d'autres exemples, quand un étudiant associait la fonction «grossir» à l'objet lentille (paragraphe 3.2.), ou se donnait des critères de jugement sur les signaux. Ainsi naissent des **règles** que nous avons vues réactivées lors de la manipulation. Ces règles sont indispensables à l'action. Cependant celles que nous avons décrites étaient plutôt sources d'impasses pour la manipulation ;

– la mémorisation est meilleure pour le résultat que pour les raisons (et donc le moyen) qui ont conduit au résultat. Un exemple est le cas de l'étudiant qui met un bloc de résine de 30 cm de long, en lieu et place du tube plein d'eau long d'un mètre (soit 30 cm de résine et 80 cm d'air, paragraphe 3.1.). Ayant réussi le processus de mesure pour le tube plein d'eau, l'étudiant mobilise l'information la plus immédiate et met la résine à la place de l'eau, sans se soucier du principe même de la mesure de **c** dans un matériau donné ;

– il existe des effets de typicalité pour les actions comme pour les concepts. Par exemple l'association privilégiée d'un instrument à une fonction peut être mémorisée comme telle et engendrer ce qui a été appelé des «**fixités fonctionnelles**» (Richard, 1990). Ainsi dans le cas des TP, nous avons vu que la compréhension des savoirs liés à un appareil ou d'un montage particulier, puis la mémorisation, étaient limitées à l'utilisation qui en avait été faite. C'est cette connaissance qui est alors activée dans un autre contexte, parce que l'étudiant a identifié des buts identiques dans les deux cas. Cela engendre des difficultés pour reconnaître une erreur éventuelle et mener à bien le diagnostic et le contrôle.

On assiste ainsi à la mémorisation puis à la mobilisation d'**actions prototypiques**. Certes elles peuvent être des connaissances pratiques, indispensables à la manipulation. Au contraire, celles que nous avons décrites sont des fixités fonctionnelles : nous en avons donné plusieurs exemples lors de l'identification d'un but (paragraphe 3.2.). Les **jugements prototypiques** sur le «bon» signal, que nous avons observés (paragraphe 3.3.), figurent aussi parmi les fixités fonctionnelles.

Ces actions et jugements prototypiques sont mobilisés par des étudiants, pour qui le réseau des actions peut être considéré comme extrêmement prégnant.

4.3.2. Emmagasinier et utiliser des connaissances conceptuelles

Nous n'avons pas cherché à traiter de ces deux problèmes. Comme nous l'avons rappelé dans l'introduction, ils ont été et sont toujours les objets de nombreuses recherches qui apportent des résultats importants à propos de la construction, par les étudiants, des réseaux conceptuels tels celui que nous avons représenté à la figure 4.

Nous n'avons pas non plus abordé directement le problème de l'interaction des deux types de réseaux qui nous ont servi à modéliser l'activité intellectuelle des étudiants : ceux des actions et ceux des concepts. Nous pouvons seulement affirmer qu'ils interagissent. Par exemple, quand les contrôles sur la mise en œuvre s'effectuent par la signification théorique du phénomène (paragraphe 3.5.), et non pas seulement par des critères de faisabilité, il y a interaction entre les deux types de réseaux. Nous avons cependant montré que ces interactions ont été peu fréquentes lors des observations bien particulières dont nous avons disposé. Nous avons vu évoluer les étudiants dans les réseaux d'actions que nous avons pu caractériser, et avoir une tendance à s'y enfermer.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article, nous nous sommes attachés à caractériser les opérations intellectuelles qui fonctionnent lors de l'action, quand le but prépondérant du sujet est la «réussite» plutôt que la «compréhension» (cf la référence que nous avons faite à J. Piaget dans l'introduction). Ces opérations intellectuelles ont été d'ores et déjà étudiées par des psychologues pour des actions bien différentes de celles qui nous intéressent : les travaux pratiques de physique au début de l'université. Nous avons tenté de modéliser, spécifiquement pour ce contexte, ces opérations intellectuelles par deux types de réseaux, ceux des actions et ceux des concepts. L'objet de cet article était de faire une première proposition pour les réseaux des actions. Bien que nous n'ayons pu directement aborder le problème des interactions entre les deux réseaux, nous avons montré que, en TP, les étudiants s'enfermaient facilement dans des réseaux d'actions, évitant éventuellement de les piloter par les réseaux conceptuels.

De ce travail découlent au moins deux séries de questions didactiques.

Nous avons affirmé que, par les TP, les enseignants poursuivent des objectifs conceptuels (paragraphe 1.2.2.). L'activité pratique, si elle enferme les étudiants dans des réseaux d'actions, serait-elle un obstacle aux apprentissages conceptuels ? Ou alors faut-il faire l'hypothèse que, lors des TP, les étudiants emmagasinent des connaissances spécifiques,

pratiques ? Comment faire alors pour qu'elles ne soient pas des règles inadaptées, des fixités fonctionnelles ? Pour répondre à cette question, nous envisageons de poser les questions de recherche suivantes : étudier l'activité d'experts, leurs connaissances pratiques, comment ils les utilisent lors de manipulations, établir pour eux ce que nous avons appelé un réseau d'actions. C'est la suite de notre travail.

Au fil de notre étude, nous avons dû réserver une large place au guidage de l'activité que constitue le polycopié. Nous n'avons pas fait intervenir le guidage des enseignants qui, dans le contexte considéré, était faible. C'est d'ailleurs une situation fréquente en TP à l'université, mais il peut en être autrement. Pour continuer à explorer l'activité pratique des étudiants en TP, il faut se poser des questions à propos de :

– la forme et du contenu des textes des photocopies. Des études sont vraisemblablement à mener sur la logique des textes – fonctionnement ou utilisation – ainsi que sur les niveaux d'information qui guident l'action et que nous avons évoqués au paragraphe 4.2. Dans ce domaine de l'analyse de textes, il est également possible de profiter de travaux de psychologues de la cognition concernant des activités nettement moins formalisées et modélisées. Des questions restent ouvertes de ce fait,

– l'intervention des enseignants quand elle existe, par exemple lors des introductions qui sont faites oralement en début de TP. Intuitivement, on sait que des enseignants, lors de ces introductions, tentent soit d'aider les étudiants à rentrer dans le réseau des actions pour qu'ils puissent mieux se situer dans les réseaux conceptuels, soit d'emblée de les situer dans les réseaux conceptuels, pour éviter qu'ils s'en écartent. Ces introductions orales ainsi que les interventions pendant toute la séance de TP restent à étudier.

Nous avons donc présenté une étude à son début. Les études que nous envisageons devraient déboucher sur une définition élargie des objectifs des travaux pratiques, ainsi que des suggestions pour améliorer l'acquisition de connaissances, que l'on se soit donné pour buts des connaissances pratiques ou conceptuelles.

BIBLIOGRAPHIE

- BEAUFILS D., BLONDEL F.-M., LETOUZÉ J.-C. & GUILLON A. (1994). Datalogging and modelling of motion in physics learning. In *Proceedings of Calisce 1994*, pp. 313-320. Paris, ENS Télécom.
- BENEY M. & SÉRÉ M.-G. (1995). Essai de caractérisation et d'analyse des activités intellectuelles des étudiants en TP de DEUG. In *Actes du 5^{ème} séminaire national de didactique des sciences physiques*. Reims : Université de Reims – Champagne – Ardennes, pp. 87-105.
- BROUSSEAU (1986). Fondements et méthodes de la Didactique des Mathématiques. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 7, n° 2, pp. 33-115.
- CHOMAT A., LARCHER C. & MÉHEUT M. (1992). Modèle particulière et démarches de modélisation. In J.L. Martinand (Éd.) *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*, pp. 119-169. Paris, INRP.
- GANGOLI S.G., & GURUMURTHY C. (1995). A study of the effectiveness of a guided open-ended approach to students experiments *International Journal of Science Education*, vol. 17, n° 2, pp. 233-241.
- HACKMANN W.D. (1989). Scientific instruments : models of brass and aids to discovery . In D. Gooding, T. Pinch & S. Scheffer (Éds) *The uses of experiment* pp. 31-66. Cambridge University Press.
- KAMINSKI W. (1989). Conception des enfants (et des autres), sur la lumière. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 716, pp. 973-996.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris, Hachette-Éducation.
- PIAGET J. (1974). *Réussir et comprendre*. Paris, PUF.
- RICHARD J.-F. (1990). *Les activités mentales*. Paris, Armand Colin.
- SÉRÉ M.-G. (1994). Une analogie pour comprendre l'approche statistique des incertitudes en première année d'université. *Didaskalia*, n° 3, pp. 27-42.
- TIBERGHIE A. (1994). Modelling as a basis for analysing teaching-learning situations . *Learning and Instruction*, vol. 4, n° 1, pp. 71-87.

Ce travail a bénéficié du soutien du projet européen «**Labwork in Science Education**» (contrat SOE2 CT95 2001) financé par la Direction Générale XII de la Commission Européenne.

Au sein de ce projet, il a bénéficié d'échanges approfondis avec le professeur Robin Millar, Université d'York (Grande Bretagne).