

**Entre réussir et comprendre ou  
de l'effet des consignes opératoires  
sur la compréhension  
des procédures de mesurage  
en TP de physique  
de premier cycle universitaire**

**Between succeeding and understanding  
or about the effect of written  
instructions on the understanding  
of procedure of measurement  
by physics students during the first  
two years of University**

**Michel BENEY**

UFR Sciences et Techniques  
Université de Bretagne Occidentale  
6 avenue le Gorgeu, 29200 Brest, France.  
DidaScO/LIREST Bâtiment 333, Université Paris XI  
91405 Orsay cedex, France.

**Marie-Geneviève SÉRÉ**

DidaScO/LIREST Bâtiment 333, Université Paris XI  
91405 Orsay cedex, France.

## **Résumé**

*Ce travail pose le problème de la compréhension des consignes opératoires par les étudiants quand ils exécutent des TP et donc de l'adéquation entre la représentation qu'ils construisent de la situation expérimentale qui leur est donnée et du guidage qui leur est proposé. Nous partons de l'exemple de trois TP de physique de deuxième année d'Université ; ces TP sont des TP classiques pour lesquels les étudiants sont entièrement guidés par des consignes opératoires. Nous avons isolé une activité particulière que l'on retrouve dans la plupart des TP : l'activité de mesurage. Nous montrons que les étudiants s'approprient les consignes en construisant une représentation de ce qu'il faut faire basée sur leurs connaissances relatives au mesurage (connaissances formées lors d'activités antérieures) et sur des connaissances de physique plus ou moins pertinentes. C'est cette représentation des tâches qui leur sert de référent empirique. Ceci pose le problème du transfert des connaissances apprises dans des contextes particuliers.*

**Mots clés :** TP de physique, procédures de mesurage, représentation, guidage, scénario.

## **Abstract**

*This study focuses on the way undergraduate students understand the written instructions provided to them when they carry out labworks in physics ; it, thus, raises the question of adequacy between their own representation of the experimental problem to be solved and the instructions provided to them. From three classical labworks proposed to students in physics over their second year at university we focused on a classical activity which consists in measuring one or several parameters following written instructions. This activity is, indeed, part of most practical sessions. We show that students interpret instructions through a representation of what they think they have to do which depends on their own knowledge about what a measurement ought to be as well as from their own knowledge of fundamentals in physics. In doing so, they try to build a context for their practical activity. This raises the question of the transfer of knowledge acquired within in specific contexts.*

**Key words :** physics labwork, measurement processing, situated understanding, representation, written instructions.

## **Resumen**

*Este trabajo plantea el problema de la comprensión de las consignas operatorias por parte de los estudiantes cuando ejecutan los TP y por consiguiente la adecuación entre la representación que ellos construyen*

*de la situation expérimentale que le es dada y la guía que le es propuesta. Partimos del ejemplo de tres TP de física de segundo año de Universidad ; esos TP son los TP clásicos en los cuales los estudiantes son guiados por medio de consignas operatorias. Aislamos una actividad particular que se encuentra en la mayoría de los TP : la actividad de la medida. Mostramos que los estudiantes se apropian de las consignas construyendo una representación de lo que es necesario hacer basado en los conocimientos relativos a la medida (conocimientos formados a partir de actividades anteriores) y sobre conocimientos de física más o menos pertinentes. Es esta representación de actividades que le sirve de referente empírico. Plantea el problema de la transferencia de conocimientos aprendidos en contextos particulares.*

**Palabras claves :** TP de física, procedimiento de medidas, comprensión en situación, representación, guía.

## 1. INTRODUCTION

Parmi les recherches qui se sont intéressées aux apprentissages en travaux pratiques (TP) de physique, nous pouvons distinguer :

– les études qui portent sur la mise en place de situations *ad-hoc* afin de faire apprendre des connaissances spécifiques liées à l'activité expérimentale (Reif, 1979 ; Séré et al., 1993 ; Guillon, 1996). L'idée de ces auteurs est de proposer aux étudiants des situations qui leur permettent de former des connaissances généralisables qui pourront être transférées à d'autres situations expérimentales. Pour Reif, il s'agissait de faire apprendre des méthodes de mesurage. Pour Séré, l'expérimentation servait de base à un enseignement spécifique : le traitement statistique des mesures. Pour Guillon, il s'agissait de faire apprendre des démarches scientifiques. Ces études analysent l'effet de ces activités sur les étudiants, et donc les productions des étudiants (« en sortie »), mais elles ne pointent pas spécifiquement sur ce que les étudiants comprennent et interprètent de ce qu'il faut faire. Dans ces études l'idée est que, si l'étudiant fait ce qu'on lui demande, il formera des connaissances transférables à d'autres situations expérimentales, c'est-à-dire des connaissances applicables dans différents contextes ;

– les études qui ont porté sur les mécanismes cognitifs des étudiants quand ils expérimentent (Millar, 1996 ; Pateyron, 1997 ; Séré & Beney, 1997 ; Welzel, 1998 ; Beney, 1998 ). Ces études montrent que les étudiants ont recours à des connaissances *a priori* pour interpréter ce qu'il faut faire ; ces

connaissances interviennent dans la compréhension et la réussite des TP. Ainsi, même un guidage contraignant sous forme de consignes ne les empêche pas de formuler des buts différents de ceux prévus par le guidage.

Des auteurs (Clément, 1998 ; Lefèvre & Allevy, 1998) ont souligné que les connaissances activées par les étudiants dépendent des situations problèmes qui leur sont proposées : d'un point de vue cognitif, les connaissances ne forment pas un ensemble stable et rigide : elles peuvent être rappelées par morceau, être déformées et modifiées en fonction de l'activité.

Une étude (Fondère et al., 1998) a souligné le caractère singulier et particulier de chaque TP : le choix du matériel et le choix du protocole expérimental sont liés aux modèles physiques choisis pour décrire les phénomènes.

Ces situations particulières constituent alors le référent empirique (Martinand, 1992) à partir duquel les étudiants vont fabriquer et activer des connaissances. La phase de construction de ce référent est importante car elle conditionne la phase de modélisation. Or au cours d'un TP guidé, les consignes opératoires contribuent largement à délimiter ce référent empirique : les étudiants ont à agir dans un espace contraint. La question reste posée de caractériser la façon dont les étudiants construisent ce référent à partir de la représentation qu'ils ont de ce qu'il faut faire (et des objets qu'il faut utiliser) et de la représentation *a priori* qu'ils ont de ce qu'est un mesurage (activité que l'on retrouve dans la plupart des TP).

Des psychologues de la cognition située (*situated cognition*) ont mis en avant l'importance du contexte et de l'action dans l'activation et la formation des connaissances. Ainsi, Lave (1988) remarque que les élèves n'ont pas les mêmes performances suivant qu'ils ont à faire à des situations familières ou bien scolaires. Roth (1996) définit le contexte comme étant l'ensemble de l'information qui est nécessaire à la compréhension d'une tâche mais qui n'est pas explicité : c'est tout ce que l'on ne dit pas parce que « cela va sans dire ».

À partir de ces constats, on peut se poser la question de savoir si les étudiants font bien ce que l'enseignant attend d'eux. Une autre façon de poser le problème est de connaître la représentation que les étudiants ont de ce qu'il faut faire. Pour cette étude nous partirons de TP dans lesquels :

- les étudiants sont guidés par des consignes opératoires (donc des TP pour lesquels les tâches sont circonscrites) ;
- l'activité a un aspect familier (c'est-à-dire correspond à ce que les étudiants ont l'habitude de faire).

Nos questions de recherche seront les suivantes.

Comment les étudiants comprennent-ils ce qu'il faut faire et plus particulièrement comment se réapproprient-ils les consignes en fonction de leurs propres connaissances ?

Comment cette réappropriation influe-t-elle sur la réussite de l'activité et sur la compréhension des procédures de mesurage ?

*Remarque : nous ne parlerons pas ici des difficultés liées à une surcharge cognitive lorsque les étudiants ont à réinvestir des savoir-faire connus lors de l'exécution d'une tâche complexe.*

Les TP concernés sont des TP classiques, c'est-à-dire des TP pour lesquels les étudiants disposent d'un polycopié qui leur donne les rappels théoriques, la description du matériel utilisé et des consignes opératoires. Ces TP n'ont pas été modifiés à des fins de recherche, nous les avons pris tels qu'ils existent et fonctionnent à l'université.

Nous avons centré notre étude sur une activité particulière : l'activité de mesurage dans trois TP dont le contenu conceptuel est très différent.

Les étudiants concernés par notre étude sont des étudiants scientifiques de deuxième année d'Université (DEUG MIAS : Mathématiques, Informatique et Applications aux Sciences ; DEUG SM : Sciences de la Matière). Ce sont donc des étudiants qui sont engagés dans des études de physique et qui ont déjà fait de nombreux TP dans leur scolarité.

## 2. DESCRIPTION DES SITUATIONS EXPÉRIMENTALES

### 2.1. Les trois TP concernés

***Remarque : on trouvera en annexe une description des TP et des consignes opératoires concernant les activités de mesurage.***

Les trois TP concernent des domaines de la physique très différents.

#### ***Mesure d'un champ d'induction magnétique***

L'objectif de ce TP est d'apprendre une méthode particulière (méthode du fluxmètre) pour mesurer un champ d'induction  $B$  et de vérifier deux lois liées au magnétisme (valeur du champ créé par un solénoïde parcouru par un courant d'intensité  $I$  et le théorème d'Ampère). Pour cela, les étudiants disposent d'une petite bobine circulaire reliée à un galvanomètre balistique. Cette petite bobine peut être déplacée à l'intérieur

du solénoïde. Le principe de la mesure consiste à annuler l'intensité  $I$  qui circule dans le solénoïde, l'annulation du champ  $B$  qui en résulte s'accompagne d'une variation du flux à travers la surface de la petite bobine. Il apparaît alors une force électromotrice et un courant circule dans le circuit constitué par la bobine et un galvanomètre balistique. Les étudiants disposent d'une formule (démontrée dans le photocopié) qui relie la valeur de la charge électrique qui a circulé dans la petite bobine à la valeur du champ  $B$ . En mesurant la charge à l'aide du galvanomètre balistique, ils peuvent donc en déduire la valeur de  $B$ . L'utilisation du galvanomètre balistique rend nécessaire d'annuler l'intensité  $I$  (donc la valeur de  $B$ ) rapidement.

### ***Mesure de la vitesse de la lumière (C)***

L'objectif de la séance est de mesurer la vitesse de la lumière dans différents milieux en utilisant plusieurs méthodes de mesurage. La source lumineuse est une diode électroluminescente dont l'intensité est modulée. Le faisceau lumineux émis passe à travers une première lentille qui le transforme en un faisceau de lumière parallèle. Ce faisceau est réfléchi par un ensemble de deux miroirs afin d'être renvoyé sur une seconde lentille qui le fait converger sur une photodiode. Cette photodiode produit alors un signal de même fréquence que le signal lumineux mais qui présente un déphasage par rapport au signal émis. Ce déphasage est fonction du trajet parcouru par la lumière et, en le mesurant avec un oscilloscope, on en déduit le temps que la lumière a mis pour parcourir ce trajet et donc la vitesse de la lumière (en mesurant le trajet parcouru par la lumière).

### ***Mesure des transferts de chaleur par convection (Q)***

L'objectif de ce TP est de mesurer la valeur de la quantité de chaleur transférée à l'air par convection par une plaque chauffante. La méthode de mesurage est indirecte : au lieu de mesurer l'énergie transférée par convection, on mesure l'énergie qu'il faut fournir à la plaque pour compenser l'énergie perdue par la plaque à cause de la convection. Pour ce faire l'étudiant doit fixer une température pour la plaque chauffante à l'aide d'un thermostat. Quand la température de la plaque atteint cette valeur, le thermostat coupe l'alimentation électrique de la plaque ; la température de la plaque diminue jusqu'à une valeur seuil (imposée par le thermostat), et une fois cette température atteinte, le thermostat « referme » le circuit électrique qui alimente la plaque. Un courant électrique circule alors dans la plaque et la température de celle-ci augmente à nouveau.

En mesurant l'énergie électrique qui a été fournie à la plaque pendant la phase de chauffage (à partir de la mesure de la tension électrique

appliquée aux bornes de la plaque, de l'intensité qui y circule et du temps pendant lequel le courant a circulé), l'étudiant en déduit l'énergie que la plaque a perdue en se refroidissant. Cette « perte » d'énergie est due aux phénomènes de convection et de rayonnement.

La plaque est peinte en noir afin de pouvoir calculer la quantité d'énergie rayonnée par la plaque connaissant la loi du rayonnement du corps noir. En soustrayant cette valeur (due au rayonnement) à la valeur mesurée de l'énergie totale échangée entre la plaque et l'air (par convection et par rayonnement), l'étudiant calcule la valeur de l'énergie échangée sous forme de convection.

## 2.2. Le guidage proposé aux étudiants

Le guidage des actions à mener est donné sous forme de consignes écrites. Ces consignes portent sur les différentes étapes de l'exécution des procédures de mesurage.

Certaines consignes conduisent directement à une action (par exemple : « *annuler l'intensité I en ouvrant l'interrupteur K* »). D'autres consignes ne sont pas directement exécutables : elles désignent un but qu'il faut décomposer en sous-buts avant de les exécuter (par exemple : « *mettez les deux courbes en phase* » sans préciser comment il faut le faire).

Peu d'informations sont données sur les raisons qui ont amené le concepteur de TP à utiliser tel type de matériel ou bien telle procédure particulière de mesurage, nous dirons que peu d'informations sont données sur ce qui constitue la pratique de la science (Ryder & Leach, 1999).

Les manipulations sont faites pour fonctionner et le guidage est là pour amener l'étudiant à la réussite, cela fait partie du contrat didactique (Brousseau, 1986). La situation proposée aux étudiants est simplifiée : on ne s'appesantit pas sur les problèmes liés aux conditions de faisabilité d'un mesurage (c'est-à-dire ce qui rend la mesure possible), parce que soit les problèmes sont supposés connus soit l'enseignant considère que ce n'est pas un objectif d'apprentissage.

**Le guidage qui est proposé aux étudiants suppose qu'ils vont construire un référent empirique indépendant des problèmes de faisabilité.**

### 3. ANALYSE A *PRIORI* DES PROCÉDURES DE MESURAGE MISES EN ŒUVRE DANS CES TP

#### 3.1. Ce qui est commun aux trois TP

On peut distinguer deux méthodes de mesurage dans ces trois TP :

- ***une première méthode pour laquelle les actions de mesurage portent sur le récepteur de l'effet produit.***

**Pour la mesure d'un champ d'induction  $B$ ,** on provoque une variation de flux à travers la surface d'une petite bobine et on mesure la quantité de charge qui circule alors dans cette petite bobine. La mesure porte sur l'effet produit par la variation de flux (c'est-à-dire la circulation d'une charge).

**Pour la mesure de la vitesse de la lumière,** une première méthode (que nous noterons  $C_1$ ) consiste à déplacer les miroirs (et donc à changer la distance parcourue par la lumière) et ensuite à mesurer l'effet produit sur le décalage des deux sinusoïdes (décalage qui permet d'en déduire le temps de parcours de la lumière) ;

- ***une deuxième méthode pour laquelle les actions de mesurage portent sur la cause qui produit l'effet.***

**Pour la mesure de la quantité de chaleur** transférée par convection, on ne mesure pas directement la quantité d'énergie échangée par convection mais la quantité d'énergie qu'il faut fournir pour compenser cette perte d'énergie.

**De même pour la mesure de la vitesse de la lumière,** une seconde méthode (que nous noterons  $C_2$ ), consiste à déplacer les miroirs jusqu'à ce que les deux sinusoïdes qui apparaissent sur l'écran de l'oscilloscope soient en opposition de phase. Dans ce cas on mesure ce qu'il faut faire (distance dont il faut déplacer les miroirs) afin d'obtenir un effet connu (ici : obtenir deux courbes en opposition de phase).

#### **En résumé :**

Dans la première méthode, les actions sont organisées selon une même logique d'action : l'appareil de mesure est identifiable et **le mesurage porte sur le récepteur** où se produit l'effet . Nous dirons que les activités liées au mesurage sont **organisées autour d'un même scénario** que nous nommerons ici : **scénario 1**.

Dans la seconde méthode, la logique d'action est la suivante : le **mesurage porte sur la source** de l'effet (et ce que fait l'expérimentateur afin obtenir un effet donné). Nous dirons que les activités liées au mesurage sont **organisées autour d'un même scénario : le scénario 2.**

### 3.2. Ce qui est particulier à chaque TP

Comme nous l'avons souligné (§ 2.2.), pour chacun de ces TP, les aspects techniques concernant la faisabilité (c'est-à-dire ce qui rend la mesure possible) ne sont pas explicités. Il s'agit de faire exécuter par les étudiants des procédures de mesurage qui mettent en œuvre des phénomènes particuliers de la physique. Pour ces trois TP, plusieurs procédures de mesurage sont utilisées :

– pour la mesure du champ B : on mesure une grandeur indépendante du temps (B) à partir d'un phénomène qui dépend du temps (le phénomène d'induction magnétique). Le signal à mesurer est amplifié (la charge qui traverse la petite bobine) pour améliorer la précision de la mesure. Pour cela on utilise une bobine détectrice de grande taille (de façon à ce que la valeur de la charge qui y circule soit plus importante) ;

– pour la mesure de la vitesse de la lumière : la mesure de la distance parcourue par la lumière est obtenue par la différence de mesure entre deux positions connues des miroirs, cette procédure permet de mesurer avec précision la distance parcourue par la lumière quel que soit le milieu matériel que l'on interpose entre l'émetteur et le récepteur. Les temps sont mesurés en comparant la valeur mesurée avec la valeur connue de la période du signal prise comme référence (l'oscilloscope n'étant pas juste, cela évite de procéder à son étalonnage) ;

– pour la mesure de la quantité de chaleur transférée à l'air par convection : l'énergie totale échangée entre la plaque et l'air est mesurée par une procédure de compensation : on mesure l'énergie qu'il faut fournir à la plaque pour maintenir sa température dans un intervalle donné. L'énergie totale qui est mesurée dépend de deux phénomènes (convection et rayonnement). Pour connaître la part d'énergie échangée par la plaque par seulement un des deux phénomènes (la convection), on modélise l'autre phénomène (ici le rayonnement) par le modèle du rayonnement du corps noir.

Nous résumons la description, l'analyse des situations expérimentales et le type de guidage proposé aux étudiants à l'aide du tableau 1.

Nature du TP	Type de scénario sur lequel est basée la méthode de mesurage utilisée	Type de guidage : consignes liées à des actions directement exécutables ou non	Procédure de mesurage mise en œuvre
<b>B</b>	scénario 1	oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>• amplification d'une grandeur</li> <li>• mesure d'une grandeur indépendante du temps</li> </ul>
<b>C1</b>	scénario 1	non	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mesure d'une grandeur par différence</li> </ul>
<b>C2</b>	scénario 2	oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>• comparaison de la mesure avec une valeur connue prise comme référence</li> </ul>
<b>Q</b>	scénario 2	non	<ul style="list-style-type: none"> <li>• maîtrise d'un phénomène quand plusieurs interviennent</li> <li>• mesure par compensation</li> </ul>

Tableau 1 : **Analyse des actions pour les différents TP**

**Remarque : les étudiants ne connaissent pas a priori les procédures de mesurage qu'on leur fait appliquer.**

## 4. LES DONNÉES RECUEILLIES

### 4.1. Entretien avec les étudiants en fin de séance

Nous avons vu que les consignes opératoires renvoient à des connaissances sur la faisabilité et que les procédures de mesurage s'appuient sur deux scénarios différents concernant les méthodes de mesurage. Nous avons cherché à savoir si, au cours de leur activité manipulative, les étudiants :

- se sont servis de connaissances sur la faisabilité pour comprendre les consignes opératoires ;
- utilisent un scénario concernant les méthodes de mesurage ;
- mettent en œuvre les connaissances et les scénarios qui sont implicitement mis en œuvre dans les TP.

Pour cela nous avons interviewé les étudiants à la fin de leur séance de TP. L'interview était du type semi-directif de façon à ce que les étudiants évoquent ce qu'ils ont réellement vécu au cours de leur travail (sans attirer leur attention sur telle ou telle partie de leur activité).

Chaque interview commençait par la question : « *Expliquez ce qu'il faut faire et pourquoi on fait comme cela, comme si vous deviez l'expliquer à un autre étudiant* ».

Chaque entretien a duré quinze minutes et les étudiants étaient prévenus en début de séance qu'ils seraient interviewés à la fin de la séance. Chaque étudiant a été volontaire pour participer à une telle expérience. Les entretiens ont été entièrement enregistrés au magnétophone et retranscrits juste après la passation de façon à pouvoir noter tous les événements non verbalisés qui sont intervenus au cours de l'entretien et afin de préciser la signification de certains gestes. **Six entretiens ont été réalisés pour chacune des manipulations. Soit un total de dix huit entretiens** (les étudiants interviewés ont été différents pour chacune des trois manipulations).

## 4.2. Questionnaire sur les procédures

Afin de tester ce que les étudiants ont compris des différentes procédures de mesurage utilisées au cours des trois différentes manipulations (et ce en relation avec leurs connaissances sur la faisabilité et leur scénario concernant la méthode de mesurage), nous avons fait passer aux étudiants un questionnaire en fin de séance. Les étudiants qui ont été questionnés ne sont pas les mêmes que ceux qui ont été interviewés. Soixante deux étudiants ont répondu au questionnaire sur la mesure de la vitesse de la lumière (C), soixante étudiants au questionnaire sur les échanges de chaleur (Q), cinquante sept étudiants au questionnaire sur la mesure d'une induction magnétique (B).

Nous avons établi ce questionnaire en posant des questions qui font directement référence aux manipulations que les étudiants venaient d'accomplir, les questions sont donc très fortement contextualisées.

## 5. RÉSULTATS

### 5.1. Les actions sont représentées comme étant organisées autour d'un scénario typique

Des questionnaires et des interviews, il ressort que le scénario 1 est le plus utilisé par les étudiants pour se représenter ce qu'il faut faire et ce qui se passe pendant les expérimentations guidées (les actions sont représentées comme devant être organisées autour de ce scénario). Ce scénario est un obstacle à la compréhension de ce qu'il faut faire lorsque la procédure de mesurage s'appuie sur le scénario 2

Ceci apparaît au moment de l'exécution lorsque les consignes ne sont pas directement exécutables. C'est le cas de la manipulation sur les transferts de chaleur pour laquelle le scénario1 est utilisé à la place du scénario 2 comme l'indique ce dialogue :

interviewer : « *Qu'est-ce qu'on essaye de connaître ici* »

étudiant 1 : « *La qualité de la plaque chauffante* »

étudiant 2 : « *Sa capacité à retenir la chaleur* »

étudiant 3 : « *Le but c'est de donner à un corps à une certaine température de l'énergie et puis de regarder en combien de temps il va la dissiper... on a sa température et on lui donne une certaine énergie et on va regarder en combien de temps il va falloir pour la perdre* ».

On voit ici que la représentation des étudiants est centrée sur la plaque (qui joue alors le rôle de récepteur) et que leur représentation commune de ce qu'il faut faire est organisée autour du scénario 1 : on « donne » de l'énergie (par l'intermédiaire d'une source) à la plaque et on « mesure l'effet produit ». La manipulation est alors comprise comme se déroulant en deux temps : chauffer la plaque puis mesurer en combien de temps elle se refroidit ; le mesurage est compris par ces étudiants comme se faisant sur la plaque, siège d'un effet, alors que le mesurage doit porter sur la source.

**Ceci apparaît aussi lors de l'exécution lorsque les consignes sont directement exécutables.**

Dans le cas de la mesure de la vitesse de la lumière par la deuxième méthode, lors des interview, aucun étudiant n'est capable de rappeler la procédure de mesurage (que nous avons désignée par C2). Nous avons noté par exemple ce dialogue après la séance et à propos de la deuxième méthode :

interviewer : « *C'est quoi la deuxième méthode ?* »

étudiant 4 : « *C'est avec l'ellipse on met une droite au début et ensuite on cherche l'ellipse inverse en déplaçant ...* »

interviewer : « *Et ça permet de mesurer la vitesse de la lumière ?* »

étudiant 4 : « *Oui vu qu'on a la durée de balayage on peut avoir la demi phase... non non on n'a pas le nombre de carreaux sur l'ellipse* » (elle dit ne plus se rappeler).

Cette étudiante confond la première méthode avec la seconde, la première méthode s'appuyant sur le scénario1 visiblement plus facile à mémoriser que le scénario 2.

## 5.2. Les étudiants interprètent les consignes en adaptant leurs connaissances à la situation expérimentale

Ces connaissances correspondent :

- à une représentation qu'ils ont de ce que doit être une mesure et se réfèrent à des connaissances liées à la faisabilité ;
- à des connaissances de la physique pour rendre cohérente cette représentation.

Elles peuvent constituer des détours pour comprendre ce qu'il faut faire et s'opposer à la compréhension des procédures.

### 5.2.1. Dans un mesurage on fait en sorte d'augmenter la précision d'une mesure

**À propos de la mesure d'un champ d'induction**, des étudiants considèrent que l'interrupteur (pour faire varier l'intensité dans le solénoïde) est utilisé pour :

- « ... avoir des déviations grandes (du spot du galvanomètre)... (comme cela) on pourra mieux lire ce sera plus précis » ;
- « ... faire passer la valeur de  $I$  (l'intensité) de la valeur  $I$  à la valeur  $0$  sans intermédiaire comme ça il n'y a que deux valeurs ».

**Alors que** cet interrupteur est lié à l'utilisation de l'appareil de mesure (il permet d'utiliser le galvanomètre balistique en réponse impulsionnelle) et non pas au choix des valeurs.

**À propos de la mesure de la vitesse de la lumière**, à la question : « pourquoi utilise-t-on un faisceau de lumière parallèle ? », on a pu trouver les réponses suivantes :

- « ... pour que le chemin soit le même de chaque côté » ;
- « ... pour que la mesure des distances soit plus précise » ;
- « Au début (réglage du faisceau parallèle), on met les miroirs loin pour avoir une précision plus grande ».

**Alors qu'il** faut faire un faisceau de lumière parallèle pour pouvoir déplacer les miroirs sans avoir à refaire les réglages optiques à chaque fois.

**À propos des transferts de chaleur**, cette conception qu'il faut tout faire pour rendre une mesure précise, se traduit par « il faut éviter les pertes ». Ainsi à la question « pourquoi utilise-t-on une plaque noire ? », nous avons pu noter les réponses suivantes :

- « ... *parce qu'une plaque noire capte toute l'énergie qu'on lui donne* (et il n'y a donc pas de pertes) » ;
- « ... *pour supprimer les échanges d'énergie* » (alors que la manipulation porte sur les transferts d'énergie).

L'idée dominante est qu'il faut tout faire pour qu'il y ait le moins de pertes possible et que toute « l'énergie fournie » soit entièrement transmise à la plaque. C'est ainsi que pour certains étudiants la plaque noire est utilisée parce que « *elle absorbe l'énergie qu'elle reçoit* ». **Alors que** la plaque est noircie pour pouvoir modéliser le rayonnement du corps noir.

### **5.2.2. On doit faire en sorte de faciliter les conditions de mesure**

#### **À propos de la mesure d'un champ d'induction**

On utilise une résistance car elle permet de « ... *pouvoir lire plus facilement cette déviation* ». **Alors que** la valeur de R est choisie en fonction des conditions d'utilisation du galvanomètre balistique.

On mesure une charge parce que c'est : « *Plus facile à mesurer car c'est rapide et on n'a pas le temps de mesurer le courant* ». **Alors que** cela fait partie d'une procédure de mesurage. Ou bien « *On a choisit le calibre (du galvanomètre) qui permet de lire plus facilement les déviations* ».

#### **À propos de la mesure de la vitesse de la lumière**

« *On nous dit de mettre (le calibre à l'oscilloscope) sur 1 $\mu$ s parce que c'est plus facile à lire* ».

Ou bien à propos d'une consigne sur la position des miroirs :

« *On met à un mètre pour pouvoir simplifier les calculs* ». **Alors que** c'est pour pouvoir appliquer une procédure de mesurage par différence au cas d'un tube qui a une longueur de un mètre.

Ces justifications sont fausses et ne correspondent pas aux raisons pour lesquelles les consignes ont été données.

Une erreur fréquente consiste à disposer la face d'entrée des différents milieux dans lesquels on mesure la vitesse de la lumière « *juste sur le zéro de la règle graduée* » parce que « *toutes les mesures démarrent à zéro* ».

#### **À propos des transferts de chaleur**

Cette conception de la facilité se traduit par une condition pratique sur la faisabilité : l'utilisation du régulateur est compris comme permettant que la plaque ne « ... *soit pas chauffée indéfiniment* ».

### **5.2.3. Des critères de décision sur la prise en compte des différentes grandeurs se sont constitués**

Nous avons trouvé des critères concernant la comparaison des grandeurs.

#### **À propos de la mesure d'un champ d'induction**

Quand on pose la question de savoir si l'épaisseur de la petite bobine (qui sert de détecteur) est un facteur qui joue sur la mesure, on trouve des réponses comme :

- « *l'épaisseur de la bobine est très petite par rapport à sa surface* » ;
- « *l'épaisseur est faible et c'est le milieu de  $b$  (la petite bobine) qui est pris en compte* ».

Ces critères sont appliqués indépendamment du contexte dans lequel se fait la mesure : une grandeur est négligeable si elle est « petite » par rapport à une autre.

#### **À propos de la mesure de la vitesse de la lumière**

- « *on place les miroirs à un mètre parce que c'est assez loin pour faire une bonne approximation* » (à propos de la mesure de la distance parcourue par la lumière).
- « *si on place les miroirs le plus près possible du bloc de résine on pourra négliger le trajet supplémentaire dans l'air* ».

#### **À propos des transferts de chaleur**

- « *on a pris toutes les valeurs et on a fait une moyenne puisque les fluctuations entre les valeurs sont petites* ».

De tels critères permettent d'avancer dans l'exécution des consignes mais sont trop simples (« les valeurs sont petites ») pour être vraies quelles que soient les situations. En particulier ici, de tels critères empêchent l'étudiant de réfléchir à ce qu'est un régime permanent.

### **5.2.4. Des connaissances de la physique rendent cohérente la représentation de ce qu'il faut faire**

Nous avons vu que les étudiants tentent de donner du sens à ce qu'il faut faire à partir d'un scénario type et de connaissances de physique plus ou moins adaptées. Ainsi, dans le cas de la mesure d'une induction magnétique, des étudiants comprennent que l'on fait circuler un courant électrique d'intensité  $I$  dans le solénoïde afin de :

- « ... charger la bobine... » parce que « ça fait penser au condensateur... qui se décharge petit à petit dans le temps comme B qui va diminuer dans le temps aussi ».

Cette représentation ne correspond pas à ce qui se passe, mais elle permet d'agir et de réussir à manipuler.

Par contre dans le cas des transferts de chaleur une telle représentation constitue un obstacle à la réussite et à la compréhension de la manipulation ; c'est par exemple le cas quand un étudiant dit : « ... c'est comme si on chargeait la plaque et après on regarde en combien de temps elle se décharge ».

De même ces connaissances, plus ou moins pertinentes, permettent de donner du sens aux conditions de faisabilité de la mesure. Ainsi, à propos des transferts de chaleur, l'idée qu'il faut tout faire pour qu'il y ait le moins de pertes possible est associée à des connaissances sur l'énergie avec par exemple :

- « Une plaque noire capte beaucoup d'énergie sans la disperser » ;
- « (une plaque noire) c'est une plaque qui émet toute l'énergie qu'elle a absorbée... toute l'énergie qu'on lui donne elle va la rendre en intégral ».

Ou bien on fait en sorte d'éliminer les échanges d'énergie par rayonnement parce que : « un corps noir rayonne très peu le rayonnement est faible donc on peut prendre les résultats comme s'il y avait de la convection seulement ».

### 5.3. La compréhension des procédures de mesurage

Afin de tester la compréhension que les étudiants ont des différentes procédures de mesurage qu'ils ont utilisées, nous leur avons posé des questions écrites sur les différentes procédures mises en œuvre dans ces trois TP.

Nous avons vu que, pour chaque manipulation, existaient plusieurs procédures. Nous ne prendrons en compte ici qu'une seule procédure par TP.

**Remarque : On trouvera en annexe les questionnaires correspondant aux procédures qui sont prises en compte ici (et des exemples de réponses données par les étudiants pour justifier leurs réponses).**

### **À propos de la mesure d'un champ d'induction magnétique**

Seulement 21 % de l'ensemble des étudiants interrogés ont identifié la procédure d'amplification d'une grandeur. Pourtant une partie importante du polycopié est consacrée à ce problème. Les étudiants préfèrent utiliser leurs propres critères concernant la faisabilité comme : « *on peut négliger telle grandeur si elle est petite par rapport à telle autre* ».

### **À propos de la mesure de la vitesse de la lumière**

La procédure de mesure par différence comporte trois étapes (voir annexe) explicitées par des consignes. Sur ces trois étapes :

- aucun étudiant ne rappelle les trois étapes ;
- 26 % des étudiants rappellent la première étape ;
- 19 % seulement rappellent les deux premières étapes.

Cette procédure est rappelée par morceaux comme si chaque étape était dissociable de l'étape suivante, nous dirons que l'activité a été atomisée.

### **À propos des transferts de chaleur**

Seulement 20 % des étudiants ont identifié la procédure de mesurage qui consiste à maîtriser un phénomène quand plusieurs interviennent.

Certains étudiants en restent à l'idée que pour contrôler un facteur ou un phénomène, il suffit d'annuler ou de minimiser l'effet de ce facteur.

## **6. ANALYSE**

### **6.1. À défaut de compréhension globale des procédures, les tâches sont atomisées**

Le but des consignes est l'exécution d'une procédure. Chaque consigne correspond à l'exécution d'un sous-but. Chaque sous-but correspond à une condition de réalisation de cette procédure. Il y a donc une interaction entre la compréhension de la procédure et la compréhension des consignes. Nous avons vu que les consignes sont parfois interprétées autrement que comme l'exécution d'une procédure de mesurage, notamment quand elles sont identifiées comme la réalisation de la condition de faisabilité d'une mesure (par exemple, telle action est supposée avoir été choisie pour rendre le mesurage plus facile). Chaque consigne est alors interprétée en termes de faisabilité ce qui favorise l'atomisation de l'action et c'est un obstacle à l'apprentissage des procédures de mesurage.

C'est par exemple le cas pour la manipulation sur la mesure d'un champ d'induction magnétique que les étudiants considèrent comme une manipulation facile (et dont les enseignants disent qu'elle ne pose effectivement pas de problèmes), mais pour laquelle les réponses aux questionnaires montrent que les procédures de mesurage ne sont pas identifiées.

Cet effet d'atomisation des tâches est renforcé par la décomposition de l'exécution des procédures en consignes comme l'ont montré les questionnaires. Cela pose le problème de l'effet des consignes sur la compréhension globale des procédures de mesurage :

- si ces consignes sont directement exécutables et si elles s'intègrent dans un scénario typique, alors il n'y a pas de questionnement de la part des étudiants et l'apprentissage des procédures est faible ;

- si elles ne sont pas directement exécutables (et nécessitent donc un questionnement) et si elles s'intègrent dans un scénario typique alors elles sont interprétées (avant exécution) en dehors d'une compréhension globale des procédures. Cette interprétation dépend des connaissances que les étudiants ont de ce qu'est un mesurage.

En l'absence de compréhension globale de l'ensemble des consignes, les tâches sont atomisées. Les connaissances que les étudiants mobilisent alors pour donner du sens aux consignes sont des connaissances assez générales facilement mobilisables et adaptables à des contextes variés (comme de dire que l'on fait en sorte que la mesure soit précise).

## **6.2. Les étudiants reconstruisent un contexte pour donner une cohérence aux tâches**

Avant d'exécuter les consignes, les étudiants donnent du sens à leurs actions et resituent les consignes dans un ensemble en se servant de leurs connaissances sur la faisabilité associées à des connaissances de physique.

Comme nous l'avons souligné (§2.2), le photocopié donne peu d'informations sur les raisons qui ont présidé aux choix des appareils et des procédures de mesurage. Les étudiants ont à exécuter les consignes opératoires et à observer ce qu'ils obtiennent, or ils interprètent les consignes à partir des connaissances qu'ils ont de ce qu'il faut faire lors d'un mesurage ; pour comprendre et appliquer des consignes, les étudiants essaient de replacer les activités dans un ensemble : ils construisent un référent empirique.

Deux facteurs interviennent dans cette mise en cohérence des tâches :

- les connaissances qu'ont les étudiants de ce qu'il faut faire en TP et de connaissances de physique plus ou moins adaptées ;
- la représentation qu'ils ont de l'ordre des actions (logique des actions) à travers le scénario qu'ils adoptent.

Or les consignes concernant les procédures de mesurage prennent leur sens à travers la compréhension de ces procédures ; donc la précoce mise en cohérence des tâches sans passer par la compréhension de ces procédures constitue un détour qui fait obstacle à l'apprentissage.

Cela pose le problème du passage d'une compréhension locale d'une activité à une compréhension globale (démarche ascendante vs descendante). Or les étudiants remettent en cohérence ces tâches avec leurs connaissances les plus immédiatement disponibles, parmi ces connaissances, celles sur la faisabilité jouent un rôle particulier et le manque d'informations dans le polycopié sur ce sujet ne leur permet pas de remettre en question ces connaissances. Les étudiants construisent alors une représentation simplifiée du TP afin de se focaliser sur un nombre restreint d'informations expérimentales liées aux problèmes de mesurage.

### 6.3. Réussir et apprendre

***La manipulation sur la mesure d'un champ d'induction  $B$***  est une manipulation qui s'appuie sur le scénario<sup>1</sup> et pour laquelle les consignes sont reliées à des actions directement exécutables et qui peuvent être interprétées à l'aide de connaissances personnelles concernant la faisabilité. Dans ce cas les étudiants n'éprouvent pas de difficultés d'exécution mais la compréhension des procédures de mesurage est faible.

***La manipulation sur la mesure de la vitesse de la lumière*** comporte deux parties.

Une première partie s'appuie sur le scénario 1 et les consignes ne sont pas directement exécutables. Cependant ces consignes peuvent être interprétées à l'aide de connaissances concernant la faisabilité (comme « *toutes les mesures démarrent à zéro* »), cela favorise la réussite de l'action. Cependant les étudiants renforcent ainsi leur tendance d'une lecture séquentielle des consignes, d'où leur difficulté à comprendre que les consignes sont interdépendantes et sont la réalisation de sous-buts liés à l'exécution d'une procédure plus globale. Ceci constitue un obstacle à la compréhension et l'apprentissage des procédures de mesurage.

Une deuxième partie s'appuie sur le scénario 2. Nous n'avons pas constaté de difficultés d'exécution des consignes mais une absence générale de mémorisation de ces actions.

***Enfin la manipulation sur les transferts de chaleur*** s'appuie sur le scénario 2 et les consignes ne sont pas directement exécutables. Nous avons constaté alors que les étudiants utilisaient leurs connaissances sur les pratiques courantes en TP et essayaient de faire fonctionner le scénario 1 ce qui les a conduits à des difficultés d'exécution et de contrôle de leurs actions.

Si les consignes peuvent être comprises par l'étudiant comme associées à l'exécution d'une condition de faisabilité (comme par exemple « *avoir une déviation grande parce que c'est plus précis* »), alors ces consignes sont correctement exécutées et les étudiants arrivent à une réussite même si leur interprétation n'est pas bonne.

Le scénario 1 fait fonctionner un raisonnement causal linéaire et il est plus facile à comprendre.

Lorsque le scénario 2 est effectivement utilisé nous constatons deux types de difficultés :

– si les consignes sont directement exécutables et si l'activité peut être interprétée par le scénario 1 (et en particulier si l'appareil de mesure est relié à un récepteur) alors l'activité se déroule avec succès mais elle n'est pas mémorisée (comme dans l'exemple de la mesure de la vitesse de la lumière) ;

– si les consignes ne sont pas directement exécutables alors les étudiants utilisent le scénario 1 et construisent une représentation de ce qu'il faut faire en activant des connaissances du type « on utilise une plaque noire pour éviter les pertes ». Ces connaissances constituent alors des détours à la compréhension et à la réussite des actions.

D'une façon générale, si les actions proposées sont organisées autour d'un schéma typique et si les connaissances des étudiants permettent d'interpréter les consignes, alors aucun questionnement n'est nécessaire et l'activité est réussie avec un apprentissage faible.

**En résumé :**

	<b>Le scénario utilisé par les étudiants est celui qui est effectivement utilisé dans le TP.</b>	<b>Le scénario utilisé par les étudiants n'est pas celui qui est effectivement utilisé dans le TP.</b>
<b>Les consignes liées à la faisabilité sont directement exécutables.</b>	Le TP est correctement exécuté mais la compréhension des procédures est faible.	Le TP est correctement exécuté mais la mémorisation se fait mal.
<b>Les consignes liées à la faisabilité ne sont pas directement exécutables.</b>	Les actions sont atomisées. Les étudiants utilisent leurs connaissances pour donner une cohérence aux tâches.	Les étudiants utilisent leurs connaissances pour donner une cohérence aux tâches sans que cela permette leur bonne exécution.

Tableau 2 : **Effet croisé des consignes et des scénarios dans les apprentissages**

Ainsi nous constatons que les étudiants ont constitué des connaissances spécifiques des TP, notamment concernant le mesurage et ce dans des contextes particuliers. Ces connaissances portent sur les conditions de faisabilité du mesurage et elles sont appliquées indépendamment des spécificités des TP, comme si l'activité de mesurage était une activité autonome et indépendante des phénomènes étudiés.

## 7. CONCLUSION

Nous sommes partis de la question de l'apprentissage général et guidé de méthodes de mesurage en vue de leur transfert à des situations expérimentales variées comme, entre autres, Reif l'avait conçu.

Des études ont montré que les connaissances que les étudiants mobilisent dépendent des situations expérimentales particulières qui leur sont proposées.

Nous avons vu que les étudiants ont formé des connaissances dans des contextes particuliers liés à chaque TP. Ils doivent les appliquer dans des contextes nouveaux. C'est le cas pour l'activité de mesurage que l'on retrouve dans la plupart des TP. Souvent les consignes dirigent les activités afin d'éviter que les étudiants ne se dispersent et les aspects techniques ne sont pas toujours pris en compte dans les manipulations afin de ne pas surcharger le polycopié et ne pas perdre les étudiants dans un flot d'informations.

Mais, les consignes qui guident l'activité renforcent l'atomisation des tâches ce qui est un obstacle à l'apprentissage des procédures de mesurage. Cependant, les étudiants tentent de remettre en cohérence ces tâches et faute d'information sur les problèmes de faisabilité ils se servent de leurs connaissances les plus générales concernant les TP.

En particulier, dans le cas de l'activité de mesurage, les étudiants interprètent les consignes **à partir** de leurs propres connaissances sur la faisabilité et d'un scénario typique. Ainsi les étudiants construisent un référent empirique à l'aide de leur représentation de ce qu'est un mesurage et c'est à partir de connaissances sur la faisabilité qu'ils interprètent la fonction des objets (par exemple « *une plaque noire ça évite les pertes* ») et les phénomènes en jeu (par exemple « *parce que une plaque noire absorbe tout* »).

Ces données sont à prendre en compte dans la rédaction des polycopiés car souvent les étudiants ont une lecture séquentielle des consignes et leurs connaissances concernant la faisabilité les amènent à considérer que chaque consigne est la réalisation d'un but particulier ce qui renforce l'atomisation de leur activité. Cela pose le problème de la formation de connaissances générales construites à partir de contextes particuliers et transférables à différents contextes.

À propos de l'application des connaissances, Layton (1994) parle de déconstruction des connaissances afin de les appliquer à des situations particulières ; les psychologues de la « cognition située » pensent que les connaissances ne peuvent pas être formées en dehors de contextes particuliers et que chaque situation que rencontre un apprenant est une situation singulière dans laquelle il active des connaissances qui lui sont propres. Martinand (1992) parle de construction d'un référent empirique. Or les situations se distinguent les unes des autres en partie par les problèmes spécifiques liés à la faisabilité et nous avons vu que les étudiants font référence à ces problèmes pour interpréter les consignes, c'est une façon de reconstruire un contexte pour interpréter les consignes. D'où la question de l'effet du guidage sous forme de consignes écrites dans la formation et l'application des connaissances.

Or il n'en reste pas moins que :

- les consignes sont nécessaires pour guider l'activité des étudiants ;
- ces consignes sont interprétées, ce qui est un obstacle à l'apprentissage des procédures de mesurage ;
- c'est la connaissance des procédures qui permet, *a posteriori*, de donner une cohérence aux différentes tâches.

Pour éviter les détours dans la compréhension des consignes, nous pensons qu'il est important de consacrer une partie des TP à la prise en charge des problèmes de faisabilité afin que les étudiants construisent un référent empirique particulier lié à leur situation expérimentale. C'est ensuite que l'on peut envisager de fixer des objectifs d'apprentissage de procédure à partir de consignes. Pour ce faire il est important de limiter les objectifs d'apprentissage en TP au profit d'une explicitation de tous les problèmes de faisabilité.

Il faut aussi proposer aux étudiants des moments de synthèse et de recentrage de l'activité (sous forme de questionnement par exemple) afin de remettre les consignes en perspective avec les objectifs du TP. Ce questionnement doit permettre aux étudiants de prendre conscience des connaissances et du scénario qu'ils utilisent. Il est intéressant pour cela de leur proposer davantage d'activités articulées autour du scénario 2 afin de contrebalancer une trop grande importance attachée au scénario 1.

Enfin, il ressort de cette étude que la réussite n'est pas une preuve d'apprentissage et cela pose le problème de l'évaluation en TP.

Pour continuer cette recherche, nous avons essayé de caractériser les conditions pour lesquelles un guidage (pour faire apprendre des procédures de mesurage transférables à différentes situations expérimentales) est efficace. Pour cela nous avons construit quatre guidages différents (prise en charge des problèmes de faisabilité et proposition d'activité de synthèse) pour faire apprendre une même procédure de mesurage. Ces guidages ont été soumis à des étudiants volontaires. Un test de transfert leur a été proposé. L'analyse est en cours.

D'autre part, nous avons demandé à des enseignants chevronnés de refaire une partie des TP que nous avons analysés ici, de manière à comparer les pratiques des étudiants et des enseignants avec les questions de recherche suivantes : les enseignants ont-ils recours à des connaissances sur les pratiques courantes des TP et à des scénarios pour interpréter les consignes ou bien utilisent-ils leurs connaissances *a priori* des procédures pour les interpréter ? (nous chercherons à savoir si leurs connaissances des procédures de mesurage leur évite une atomisation des tâches à accomplir). Ceci nous amènera à préciser le rôle du contexte dans l'application des connaissances. Les résultats seront communiqués ultérieurement.

## BIBLIOGRAPHIE

- BENEY M. (1998). *Contribution à l'analyse des phases manipulatoires des travaux pratiques de physique en premier cycle universitaire. Les apprentissages possibles à travers l'action*. Thèse de doctorat, Université de Paris-Sud-Orsay.
- BROUSSEAU G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 17, n° 2, pp. 33-115.
- CLÉMENT P. (1998). Représentation, conceptions et connaissances. In A. Giordan, Y. Girault, P. Clément, *Conceptions et connaissances*. Berne, Peter Lang, pp. 15-45.
- FONDÈRE F., PERNOT C. & RICHARD-MOLARD C. (1998). Analyse comparative de la gestion du mesurage en TP de DEUG à Orsay (biologie, chimie et physique). *Didaskalia*, n° 12, pp. 63-93.
- GUILLON A. (1996). *Étude épistémologique et didactique de l'activité expérimentale en vue d'un enseignement et de l'apprentissage des démarches du physicien, dans le cadre des travaux pratiques de première année et deuxième année d'Université*. Thèse de doctorat, Université de Paris-Sud-Orsay.
- LAVE J. (1988). *Cognition in practice*. Cambridge, Cambridge University press.
- LAYTON D. (1994). Éducation scientifique et action : les relations entre les sciences enseignées à l'école et la pratique. *Aster*, n° 19, pp. 117-155.
- LEFÈVRE R. & ALLEVY P. (1998). Raisonnements à propos du plan incliné. *Didaskalia*, n° 13, pp. 81-112.
- MARTINAND J.-L. (1992). Présentation. In Équipe INRP/LIREST (Éd.), *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, INRP, pp. 7-22.
- MILLAR R. (1996). Investigation des élèves en sciences : une approche fondée sur la connaissance. *Didaskalia*, n° 9, pp. 9-30.
- PATEYRON B. (1997). *Mobilisation des savoirs dans la formation professionnelle, cas du brevet de technicien supérieur en contrôle industriel et régulation automatique*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard-Lyon 1.
- REIF F. & ST JOHN M. (1979). Teaching physicists' thinking skills in the laboratory. *American journal of physics*, n° 11, pp. 950-957.
- REYDER J. & LEACH J. (1999). Enseigner les pratiques effectives de la science : expériences d'étudiants en projet de recherche en licence. *Didaskalia*, n° 12, pp. 39-61.
- ROTH W.-M. (1996). Where is the context in contextual word problems ? : mathematical practices and products in grade 8 students' answers to story problems. *Cognition and Instruction*, n° 14, pp. 487-527.
- SÉRÉ M.-G., JOURNEAUX R. & LARCHER C. (1993). Learning the statistical analysis of measurements errors. *International journal of science education*, vol. 15, n° 4, pp. 427-438.
- SÉRÉ M.-G. & BENEY M. (1997). Le fonctionnement intellectuel des étudiants réalisant des expériences. *Didaskalia*, n° 11, pp. 73-100.
- WELZEL M. (1995). *Interkationen und Physik lernen*. Frankfurt am Main, Peter Lang.

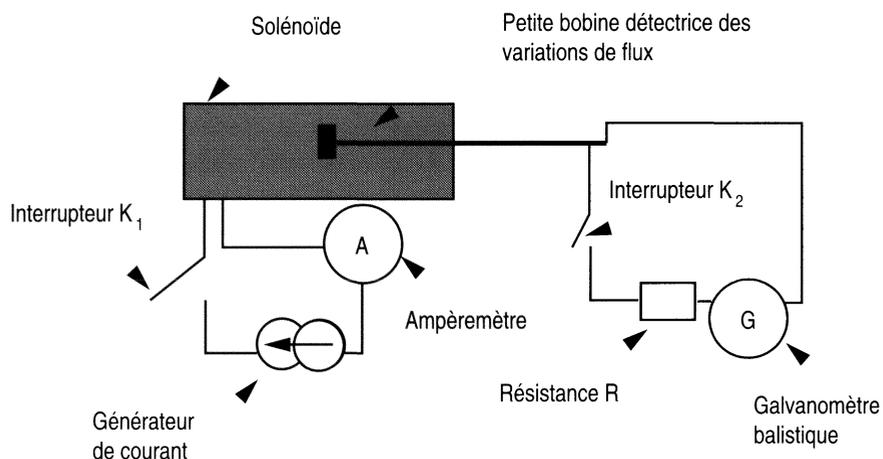
## REMERCIEMENTS

Je remercie Jean-Yves Guinard, Maître de Conférences en psychologie à l'Université de Brest (département de STAPS) pour sa relecture, ses critiques et ses conseils.

Nous donnons ici une brève description des manipulations avec les consignes opératoires se rapportant **uniquement** aux phases de mesurage.

## ANNEXE 1

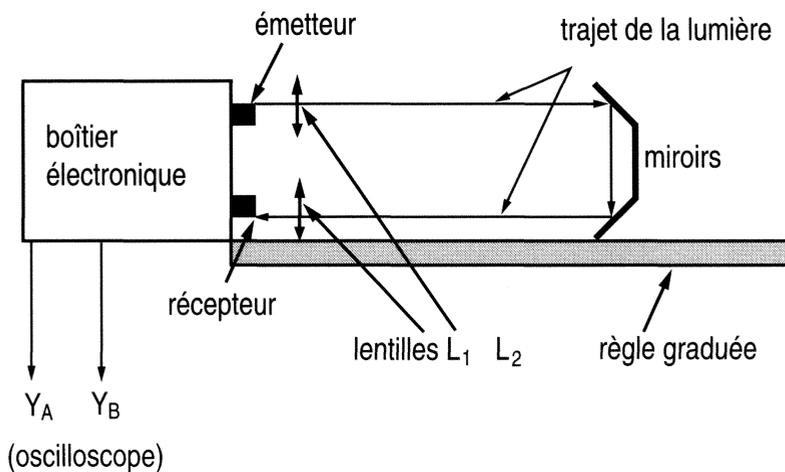
### Mesure d'un champ d'induction $B$



- Ajustez la valeur de la résistance  $R$  à la valeur correspondant à la résistance critique du galvanomètre balistique.
- Placez la petite bobine au centre du solénoïde.
- Ajustez la valeur de l'intensité  $I$  qui circule dans le solénoïde à 100 mA.
- Annulez ce courant en ouvrant l'interrupteur  $K_1$  et notez la valeur du déplacement du spot.
- Refaites les mesures pour différentes valeurs de  $I$ .
- Tracez la courbe  $B = f(I)$ .

## ANNEXE 2

### Mesure de la vitesse de la lumière



#### Méthode 1

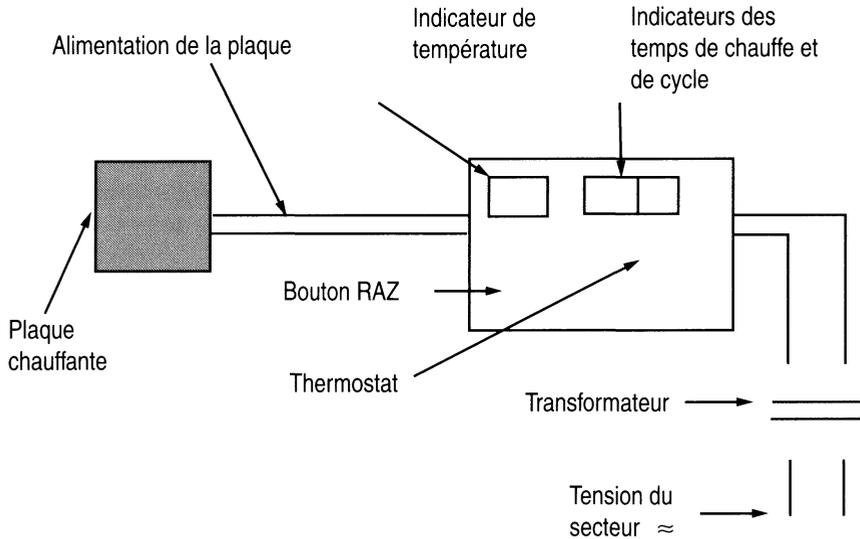
- Faites un faisceau parallèle émergent à l'aide de la lentille  $L_1$ .
- Ajustez la deuxième lentille  $L_2$  de manière à avoir un signal maximum à l'oscilloscope.
- Placez les miroirs sur le zéro de la règle graduée.
- Mettez les deux courbes en phase à l'aide du bouton déphaseur.
- Ajustez la base de temps à 1 ms.
- Déplacez les miroirs et notez pour différentes valeurs de position  $x$  des miroirs le temps  $\Delta t$  de parcours de la lumière.
- Tracez la courbe  $x=f(\Delta t)$  et en déduire la vitesse de la lumière dans l'air.

#### Méthode 2

- Placez les miroirs sur la position zéro de la règle graduée.
- Déplacez les miroirs jusqu'à ce que les courbes soient en opposition de phase. Le décalage en temps est alors de  $T/2$ .
- Notez la valeur de la position des miroirs et en déduire la vitesse de la lumière dans l'air.

## ANNEXE 3

### Transferts de chaleur



- Ajustez la température de la plaque à une valeur donnée à l'aide du thermostat.
- Une fois la température stabilisée, poussez le bouton RAZ pour mettre les compteurs de temps à zéro et démarrer la mesure des temps.
- Notez les valeurs des temps de chauffe et de cycle.
- Faites plusieurs mesures pour vérifier que le régime permanent est atteint.
- Mesurez l'intensité du courant d'alimentation ainsi que la tension qui est appliquée.
- Déduisez-en la puissance dissipée par la plaque.

## ANNEXE 4

### EXTRAITS DU QUESTIONNAIRE PROPOSÉ AUX ÉTUDIANTS

#### ***Concernant la mesure d'un champ d'induction magnétique***

Pour augmenter la valeur de la charge qui circule dans la petite bobine détectrice, on utilise une bobine ayant une surface importante et un grand nombre de spires.

Cette procédure qui consiste à amplifier le signal reçu fait que la valeur de la grandeur mesurée n'est qu'une valeur moyenne.

Nous avons posé la question suivante aux étudiants :

L'épaisseur de la petite bobine couvrant plusieurs points de l'axe est-ce un inconvénient qui rend la mesure approximative ?

réponses : **oui 46 % (bonne réponse)**                      **non 54 %**

Parmi les étudiants qui ont répondu oui :

le tiers d'entre eux donnent des justifications erronées comme  
« *on peut prendre une autre point de référence, autre que le centre de la bobine, connaissant la distance entre ces deux points* ».

Parmi les étudiants qui ont répondu non :

les justifications sont des applications de critères comme :  
« *l'épaisseur est faible et c'est le milieu de  $b$  qui est pris en compte* » ;  
« *l'épaisseur est petite par rapport à la surface* ».

### **Concernant la mesure de la vitesse de la lumière**

La procédure de mesure par différence entre deux positions connues des miroirs est, entre autres, appliquée à la mesure de la vitesse de la lumière dans un tube rempli d'eau et d'une longueur de un mètre. Pour cela, les étudiants doivent appliquer les consignes suivantes :

- disposer les miroirs sur le zéro de la règle graduée ;
- annuler le décalage en temps des deux courbes pour cette position particulière (ce qui revient à faire un zéro de l'échelle des temps) ;
- déplacer les miroirs d'une longueur égale à la longueur du milieu, placer le tube sur le parcours de la lumière et relever la valeur du décalage en temps des deux courbes.

La longueur du tube rempli d'eau est telle que son entrée dépasse le zéro de la règle graduée (ce qui n'est pas important puisque la mesure est une mesure par différence).

Nous avons posé la question suivante aux étudiants :

Lors de la mesure de la vitesse de la lumière dans l'eau, le zéro de la règle graduée ne coïncide pas avec la face d'entrée du tube plein d'eau. Cela entraîne-t-il que le résultat soit seulement approximatif ?

Réponses :	<b>résultat exact</b>	<b>63 % (bonne réponse)</b>
	<b>approximatif</b>	<b>37 %</b>

Malgré ce bon pourcentage de bonnes réponses nous avons plus finement analysé les justifications des étudiants.

Comme nous l'avons écrit plus haut, l'application de cette procédure comportait trois étapes (sous forme de consignes).

Aucun des étudiants n'a évoqué l'ensemble de ces trois étapes.

### ***Concernant la mesure des transferts de chaleur***

Le but de cette manipulation est de mesurer les quantités d'énergie échangées sous forme de chaleur par convection. Or les échanges se font à la fois par convection et par rayonnement. Afin de soustraire aux mesures la part du transfert qui revient au rayonnement, on a choisi d'utiliser une plaque noire dont on peut modéliser le rayonnement par celui, connu, des corps noirs. D'où la question :

Vous venez d'étudier les transferts de chaleur entre une plaque et l'air. Ceux-ci s'effectuent par convection et par rayonnement de façon simultanée. Il a été possible d'obtenir des résultats sur la convection seule. Pouvez-vous dire comment on s'est affranchi des transferts de chaleur par rayonnement ?  
seulement 20 % des étudiants donnent une bonne réponse.

L'erreur la plus fréquente consiste à penser que le corps noir absorbe toute l'énergie et donc rayonne peu, avec des arguments comme :

- « *une plaque noire capte beaucoup d'énergie sans la disperser* » ;
- « *aucune longueur d'onde n'est absorbée ni émise de la plaque noire* ».

Cet article a été reçu le 16/11/1999 et accepté le 29/08/2000.