



## **L'évaluation de l'efficacité du guidage dans les travaux pratiques de DEUG : un problème méthodologique complexe**

### **The measurement of the efficiency of the guidance in physic labwork at the university : a complex methodological problem**

**Michel BENEY**

UFR sciences et techniques – UBO - Brest  
6 avenue Le Gorgeu, 29200 Brest  
et DidaScO, université Paris XI, bâtiment 333  
91405 Orsay cedex, France.

**Jean-Yves GUINARD**

UFR sport et éducation physique  
Laboratoire des sciences du sport et des activités nautiques – UBO - Brest  
20 avenue Le Gorgeu  
29285 Brest cedex, France.

#### **Résumé**

*Comparer l'efficacité du guidage des activités lors des TP en milieu universitaire est un exercice périlleux. Souvent les arguments sont subjectifs et associés à une conception personnelle de ce qu'est un apprentissage réussi.*

*Nous proposons de discuter des problèmes méthodologiques et théoriques liés à la comparaison de différentes méthodes d'enseignement. Nous concrétiserons notre démarche sur l'exemple des travaux pratiques de physique en première année universitaire. Nous mettons en évidence qu'un guidage serré, en suivant des consignes opératoires, n'est pas inefficace. Un guidage favorisant l'abstraction réfléchissante améliore la compréhension du problème à résoudre. Nous faisons des propositions pour rendre les guidages plus efficaces.*

**Mots-clés :** *apprentissage, guidage, mémoire, mesure, verbalisation.*

### **Abstract**

*There is a lot of quaral between teachers concerning the evaluation of the effeciency of the guidance of labwork's activities at the university level. Often people's argument comes from personal conception of what is a successfull learning, and more the factors which are to take in account in learning processes are numerous more the personal conception is important. Instead of trying to discuss of what should be the critères of a good judgment, we propose here to discuss about methodological and theoretical problems when we try to compare methods of teaching. We will give the example of physics labworks at the university. We will show that an apprenticeship through strict written instructions is not inefficient. We will give propositions to make guidance more efficient.*

**Key words :** *learning, efficiency, guidance, memory, measurement.*

## **1. INTRODUCTION**

Dans l'institution universitaire, les débats concernant les pratiques pédagogiques des enseignants deviennent fréquents, passionnés et parfois violents. Pour certains, l'efficacité d'un enseignement passe par la résolution de problèmes ouverts avec peu de consignes, pour d'autres, un enseignement efficace consiste à faire mémoriser, par un guidage très serré, des méthodes de résolution de problèmes typiques. Or les évaluations rigoureuses des méthodes pédagogiques sont peu fréquentes et, lorsqu'elles sont publiées, elles font souvent l'objet de critiques mettant en cause la pertinence méthodologique du dispositif utilisé. Évaluer l'efficacité d'une pratique pédagogique n'est pas une opération aussi banale qu'elle le paraît si l'on constate le peu de travaux existants sur cette question et la persistance des controverses.

En psychologie, il est usuel de modéliser les apprentissages en utilisant des expériences très circonscrites autour de la mise en évidence de modalités d'apprentissage très ciblées (comme avec la tour de Hanoi). Les

variables individuelles peuvent être maîtrisées facilement et le cadre théorique est prédéfini.

Cependant la démarche expérimentale classique, consistant à isoler des variables indépendantes qui pourraient, toutes choses étant égales par ailleurs, expliquer les performances obtenues à un test d'évaluation n'est pas chose facile dans un dispositif d'enseignement qui relève d'une analyse écologique (Chevallard, 1992) : les facteurs qui interviennent étant multiples. On pourra également citer les travaux des psychologues de la cognition qui valorisent le rôle du contexte dans la formation des connaissances (Lave, 1988 ; Roth, 1996). La comparaison de pratiques d'enseignement inscrites dans des contextes différents reste donc problématique.

Ce même débat existe actuellement à propos du guidage par instructions dans les travaux pratiques (TP) à l'université. Ce type de guidage consiste à donner aux étudiants des consignes précises pour qu'ils effectuent des tâches supposées produire un apprentissage. Il conduit l'étudiant sur le chemin de la réussite de la tâche, en lui montrant comment faire. L'enseignant espère que l'étudiant pourra reproduire la démarche apprise et la réutiliser dans des contextes analogues. Cette pratique pédagogique est très critiquée. On lui reproche notamment d'enfermer les apprenants dans une activité de simple exécution qui ne permet pas de construire des connaissances stables et transférables. Les critiques portent sur le fait que le guidage concerne l'aspect exécutable et procédural des tâches, les anglo-saxons parlent de « *cookbook* » (livre de cuisine) à propos de ces TP (Clough & Clarks, 1994 ; Gangoli & Gurumurthy, 1995). Des auteurs ont déjà décrit les difficultés et les obstacles associés à un apprentissage réalisé en suivant des consignes opératoires (Beney, 1998, 2001 ; Pateyron, 1997).

D'autres auteurs (Darley, 1996 ; Guillon, 1996) critiquent le fait que le guidage ne porte que sur l'aspect procédural de la résolution du problème, ils proposent des tâches prenant la forme de problèmes ouverts ou de conduite de projets plus proches d'une démarche scientifique de laboratoire. Ces dispositifs font intervenir le moins possible l'enseignant et laissent à l'étudiant une plus grande autonomie.

Un travail récent (Psillos et al., 1998) a cependant montré qu'en Europe le guidage par instruction est la forme la plus répandue. Cette étude conclut à la nécessité de se pencher sur l'efficacité de cette démarche, économique, facile à mettre en œuvre (enseignement standardisé, peu coûteux en temps demandé aux étudiants et aux enseignants) et qui a permis de former des générations de chercheurs en sciences.

La comparaison de l'efficacité de différentes formes de guidage est donc un sujet intéressant, peu de travaux ayant été faits dans ce domaine : un non-guidage est-il plus efficace qu'un guidage par instructions ? Existe-t-il des modes de guidage plus efficaces que d'autres ? Les TP de sciences, qui

correspondent à des situations complexes mais relativement cadrées, nous ont donc semblé un exemple pertinent pour cette étude. La question est de savoir s'il est possible de construire des dispositifs scientifiques (objectivables et réfutables) qui permettent de comparer l'efficacité de pratiques d'enseignement faisant appel à des conceptions différentes de l'apprentissage. Ces pratiques devraient être caractérisées par des modes de guidage différents.

Le plus souvent, on sépare deux évaluations dans les apprentissages :

- soit on mesure la performance à partir d'une évaluation normalisée (test de réussite). Cette démarche privilégie la description de la réussite plutôt que sa compréhension. Cette méthode nécessite un grand échantillon et ne permet pas de savoir quelles compétences les sujets ont réellement mobilisées pour réaliser leur performance,
- soit on recueille des comportements cliniques pertinents (les données n'ayant de sens qu'à partir d'un modèle théorique prédéfini). Cette méthode se rapproche le plus souvent des études de cas et ne nécessite pas un grand échantillon. Elle permet de repérer si les compétences attendues par le modèle théorique sont mobilisées mais laisse de côté d'autres compétences (repérables à partir d'autres théories) qui permettraient d'atteindre la même performance. Peu d'études mettent en relation performance et comportements cliniques pour évaluer des compétences.

**Nous pensons pouvoir comparer l'efficacité de modes de guidage différents issus de modèles théoriques différents en reliant la mesure objective des performances réalisées par les étudiants au cours d'une épreuve de contrôle et l'évolution de leurs représentations par rapport au problème à résoudre.** Notre démarche nécessite :

- la mise au point d'une mesure de performance objective et contrôlée dans une situation d'évaluation acceptable pour plusieurs théories de l'apprentissage (étude quantitative),
- le contrôle de variables objectivables (comportements cliniques) qui, indépendamment des protocoles d'enseignement, sont susceptibles d'expliquer l'évolution des représentations des étudiants,
- la mise en relation des performances obtenues et des comportements observés et catégorisés pour évaluer l'apprentissage réalisé ou l'acquisition de compétences.

Nous présenterons une tentative de mise au point d'une démarche de comparaison, en termes d'efficacité, de pratiques de guidage en TP de physique issues de conceptions différentes de l'apprentissage en explicitant :

- les problèmes méthodologiques que soulève la comparaison de pratiques d'enseignement différentes,
- les critères que nous avons retenus pour en évaluer l'efficacité,
- l'essai de validation de la pertinence de ces critères.

## 2. APPRENTISSAGES, ÉVALUATION ET TRANSFERT : QUELQUES REPÈRES THÉORIQUES

Les différentes théories de l'apprentissage se différencient fondamentalement sur la question du « comment un sujet apprend ? » En revanche, on peut constater un certain accord sur la question de savoir comment on peut mettre en évidence qu'un individu a appris.

En effet des auteurs faisant appel à des théories différentes de l'apprentissage, en particulier, les modèles béhavioristes, cognitivistes et connexionnistes, considèrent qu'il y a apprentissage lorsque le sujet fournit, avec une certaine stabilité dans le temps, une réponse nouvelle ou un comportement nouveau dans une classe de situations analogues. Les exemples sont multiples (Reuchlin, 1977 ; Richard, 1990 ; Dore & Mercier, 1992 ; Edelman, 1992).

Schmidt (1993) rappelle la nécessité de séparer les performances temporaires pendant les séquences d'apprentissage et les résultats relativement permanents. En effet, si seules les performances sont observables, l'amélioration de la performance n'est pas en soi le signe d'un progrès dans l'apprentissage c'est-à-dire l'acquisition de compétences (Tolman, 1948 ; Tarpi, 1982). Celle-ci peut être le résultat, par exemple, de la motivation ou du guidage pendant l'entraînement. Mesurer l'apprentissage (l'acquisition de compétences) exige donc une procédure de transfert. Cette procédure demande au minimum que cette évaluation soit faite à partir d'un test de rétention qui neutralise partiellement les effets temporaires. La permanence de la modification de la conduite ne doit pas apparaître uniquement lorsque le sujet retrouve la situation d'apprentissage mais aussi lorsqu'il rencontre des situations proches de la situation d'apprentissage. Fondamentalement le transfert est donc une caractéristique de l'apprentissage et son évaluation dépend du modèle que l'on a de l'apprentissage. Aussi, pour comparer des guidages différents, nous devons construire des protocoles d'apprentissage représentatifs de modèles d'apprentissage différents.

Pour les behavioristes, le transfert est le résultat du renforcement d'un comportement et de sa généralisation à la suite d'une interférence entre une tâche nouvelle et une tâche d'apprentissage lorsque les caractéristiques des deux tâches possèdent un nombre d'éléments identiques suffisant (Thorndike, 1913 ; Le Ny, 1972).

Un guidage efficace peut donc consister à proposer plusieurs situations analogues très guidées sur le plan opératoire (pour obtenir la réussite du sujet et donc un renforcement) suivie d'une situation non guidée pour favoriser la généralisation.

Pour les cognitivistes, et en particulier les structuralistes comme Piaget, le transfert est un processus de généralisation d'un fonctionnement à

toute une classe de situations relevant de la même classe de problèmes. (Une classe est caractérisée par la similitude des opérations nécessaires à la réalisation de ces tâches-problèmes). Cette généralisation constructive est le résultat de la création de nouveaux schèmes à partir de ceux pré-existants à la suite d'une prise de conscience. La prise de conscience peut être facilitée par la verbalisation guidée - la médiation de l'autre (Vigotsky, 1997).

Pour les cognitivistes centrés sur l'étude de la résolution de problèmes (Newel & Simon, 1972), la reconnaissance d'une similarité entre la situation d'apprentissage et la situation nouvelle se fait à partir d'indicateurs différents selon que le sujet est expert ou novice. L'expert identifiera un isomorphisme entre les structures profondes des problèmes, le novice utilisant des traits de surface.

Un guidage efficace peut consister à proposer une situation-problème, laisser le sujet rechercher seul des solutions, solliciter la verbalisation de ses représentations puis lui fournir une règle générale qui peut lui permettre d'apprendre un schéma d'action.

Pour les connexionnistes (Laks, 1996) et en particulier le courant contextualiste, tout apprentissage est associé à un contexte. Le transfert, qui reste une exception, n'est pas le résultat de l'effet des structures du sujet mais d'affordances, à savoir d'éléments significatifs dans l'environnement qui déclenchent une réaction du sujet (Gibson, 1979).

Ces caractéristiques de l'environnement qui permettent la discrimination des situations peuvent être le résultat de l'interférence entre des situations analogues.

Un protocole représentatif pourrait passer par la résolution de plusieurs situations-problèmes analogues très guidées sur le plan opératoire (permettant au sujet de réussir) puis poursuivre cette phase d'une activité verbale de comparaison ayant pour objectif de faire ressortir les caractéristiques communes aux différentes situations.

Suite aux expériences de guidage visant à faciliter la reconnaissance d'analogies entre des situations, on distingue le transfert informé et le transfert spontané (Gick & Holyoak, 1983). Dans le transfert informé le sujet est guidé dans la recherche d'indices pertinents pour appliquer une analogie ; il est, par exemple, averti qu'il devra effectuer une tâche analogue à celle qui a servi aux apprentissages, alors qu'il n'est pas guidé pour le transfert spontané (le sujet n'est pas informé qu'il aura à résoudre une tâche analogue).

À l'université il existe un contrat didactique implicite : l'étudiant est censé transférer son savoir dans des situations différentes de celles qui ont servi aux apprentissages (en particulier lors de l'évaluation). On espère qu'il sera capable d'identifier seul les indices nécessaires pour retrouver la situation d'apprentissage pertinente. Tout se passe comme si on attendait de l'étudiant un transfert spontané.

Des études en psychologie différentielle (Brown & Campione, 1990) amènent à différencier des sujets « transféreurs » et des « non-transféreurs ». Les « transféreurs » ayant un développement des aptitudes qui relèvent de la métacognition (comme l'auto-évaluation de leurs résultats, l'application consciente d'une méthode, le contrôle de l'activité, etc.) supérieur aux « non-transféreurs ».

Nous tenterons d'évaluer l'aptitude générale des sujets à transférer à partir de tests psychologiques susceptibles de mesurer une compétence transversale à la métacognition.

### 3. MÉTHODOLOGIE

#### 3.1. Le TP de physique et le problème à résoudre

Il s'agit de faire apprendre à des étudiants une méthode de mesurage quand les appareils de mesure ne permettent pas de connaître le zéro des mesures.

Les étudiants doivent mesurer la vitesse de la lumière dans différents milieux transparents. Ils disposent de l'appareillage schématisé en figure 1 (on trouvera en annexe 1 un schéma de cette expérience).

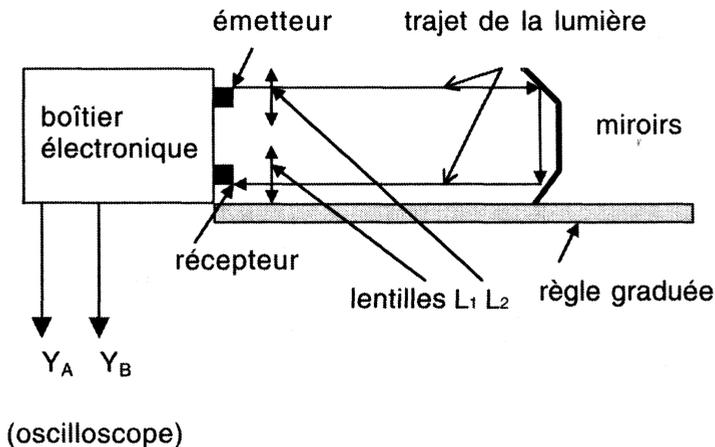


Figure 1. Schéma du montage pour mesurer la vitesse de la lumière

Un émetteur envoie de la lumière visible qui se réfléchit sur des miroirs pour revenir vers un récepteur. En mesurant le temps que la lumière met pour aller de l'émetteur au récepteur et en mesurant la distance parcourue par la lumière, on peut en déduire sa vitesse.

La mesure des distances est faite sur un banc gradué en centimètres et celle du temps à partir d'un oscilloscope qui permet de connaître le décalage en temps entre le signal émis et le signal reçu.

Le problème est que :

- l'on ne connaît pas avec précision les positions de l'émetteur et du récepteur ;
- la lumière parcourt une distance inconnue entre les miroirs ;
- on ne connaît pas le zéro des temps.

La solution consiste à placer les miroirs sur une position quelconque du banc, à lire le temps  $t_1$  affiché et la position  $L_1$  des miroirs (cela constitue une situation de référence), puis à déplacer les miroirs d'une distance choisie, à noter le temps affiché  $t_2$  et la position  $L_2$  des miroirs. La vitesse de la lumière est alors donnée par  $C = \frac{L_2 - L_1}{t_2 - t_1}$ . Cette solution peut être trouvée en utilisant une méthode par différence.

Le dispositif peut alors être schématisé selon la figure 2 avec le tracé en pointillés représentant les trajets de la lumière.

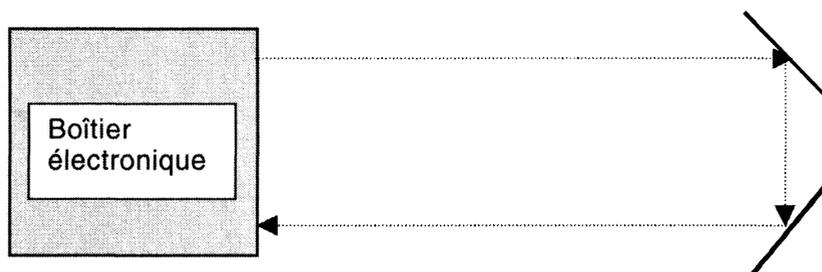


Figure 2. Schéma de principe du chemin suivi par la lumière dans l'air

Le problème se complique quand, pour mesurer la vitesse de la lumière dans un milieu transparent autre que l'air, les étudiants doivent disposer ce milieu (de forme géométrique imposée) sur le trajet de la lumière. En effet dans un milieu transparent différent de l'air, le problème est de mesurer le temps que met la lumière à parcourir ce milieu sachant que la mesure du temps est donnée par le décalage entre le signal émis (dans l'air) et reçu (dans l'air). Le temps qui est mesuré est donc le temps global mis par la lumière pour traverser le milieu et l'air.

La solution consiste à placer les miroirs sur une position quelconque du banc, à noter le temps affiché et la position des miroirs (cela constitue une situation de référence), à placer le milieu sur le trajet de la lumière et à faire alors une mesure par différence en déplaçant les miroirs d'une longueur égale à la longueur d'air qui a été remplacée par le milieu. Il faut avoir compris ce qu'est une situation de référence et que, quand on place un milieu sur le

trajet de la lumière, on enlève autant d'air et pour retrouver la situation de référence il faut déplacer les miroirs d'une longueur égale à celle du milieu.

Le dispositif peut alors être schématisé selon les figures 2 et 3, avec le tracé en pointillés représentant les trajets de la lumière (figures 3 et 4) :

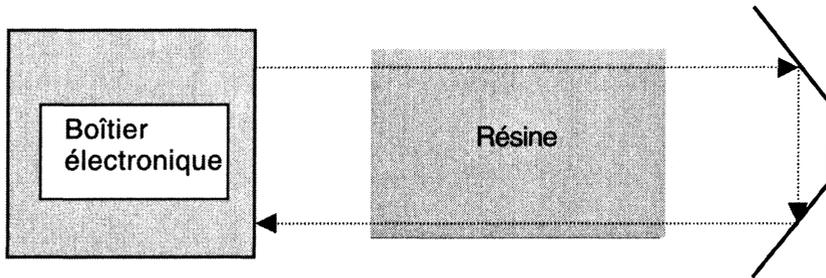


Figure 3. Schéma de principe du chemin suivi par la lumière dans un bloc de résine (grisé sur le dessin) et dans l'air.

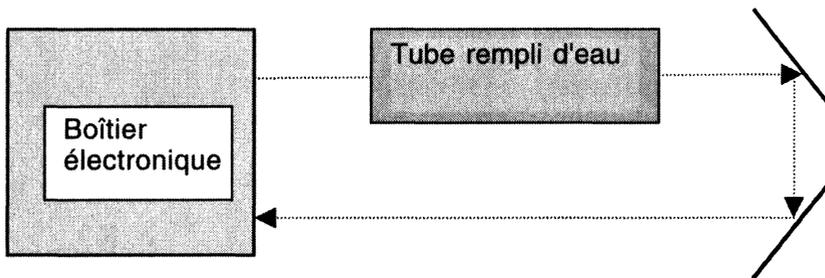


Figure 4. Schéma de principe du chemin suivi par la lumière dans un tube d'eau placé sur un seul trajet de la lumière (grisé sur le dessin) et dans l'air

### 3.2. Le choix des modes de guidage

Il s'agit de confronter des protocoles de guidage qui vont du guidage serré (du type : « démarche classique en TP ») au non guidage (du type : démarche centrée sur la prise de conscience du problème à traiter). Nous avons construit un ensemble de 5 modes de guidage représentatifs de différentes conceptions de l'apprentissage (voir §2).

Pour toutes ces démarches, les trois mêmes problèmes à résoudre ont été posés : mesurer la vitesse de la lumière dans l'air, dans un milieu qui occupe le trajet aller et retour de la lumière, dans un milieu qui occupe un seul trajet (aller). Pendant la phase d'apprentissage, les étudiants sont guidés par un protocole écrit et ils doivent calculer la vitesse de la lumière dans 3 milieux transparents différents.

La durée de cette phase d'apprentissage a été fixée à 45 minutes, quels que soient le protocole et le niveau de performance atteints par les étudiants. À la fin de la séance, le chercheur indiquait à l'étudiant s'il avait réussi ou bien s'il avait presque réussi ou enfin s'il avait échoué. Les sujets ont été filmés et le chercheur les invitait à réfléchir à voix haute ; les seules interventions qu'il s'autorisait étaient de demander à l'étudiant de dire ce qu'il pensait.

### ***3.2.1. Une situation problème : protocole 0***

Nous avons construit une situation d'apprentissage dans laquelle le problème général est à résoudre à travers trois exemples sans guidage écrit ou verbal. Cela correspond à l'idée qu'un guidage est un obstacle à la construction personnelle de connaissances et qu'il serait donc préférable de sélectionner des situations-problèmes qui puissent permettre à l'apprenant de trouver des solutions personnelles. Le sujet progressant seul par une série de conflits cognitifs entre les résultats attendus à partir de ses représentations initiales et les résultats perçus (Piaget, 1975). Ce protocole permet en outre de comparer le guidage et le non-guidage.

### ***3.2.2. Un guidage procédural serré suivi d'une activité de généralisation : protocole 1***

Nous avons construit un guidage serré pour deux exemples (on dit comment faire pour résoudre le problème) puis on demande à l'étudiant de résoudre le problème sur un troisième exemple sans lui donner la solution (on favorise alors la généralisation). C'est le type de situation d'apprentissage que l'on retrouve le plus fréquemment dans l'enseignement, nous l'avons qualifiée de « classique ».

### ***3.2.3. Un guidage centré sur la construction d'une représentation pertinente : protocole 2***

Le guidage est centré sur la prise de conscience (et sa verbalisation) par l'apprenant des contraintes du problème à résoudre pendant une phase de tâtonnement – apprentissage par la découverte (Richard, 1990). La solution générale au problème est ensuite donnée verbalement sous forme de règles d'action – apprentissage par le texte (Richard, 1990). Les étudiants doivent appliquer cette règle générale aux trois exemples demandés sans autre aide que l'énoncé de la règle qu'ils gardent écrite sous leurs yeux. Cette forme d'apprentissage s'appuie sur la construction d'une bonne représentation de la situation avec l'idée qu'il faut amener l'apprenant à changer de représentation à partir de situations-problèmes. Cette forme d'apprentissage semble avoir la préférence des enseignants bien que difficile à mettre en œuvre (coûteuse en temps).

### **3.2.4. Un guidage procédural serré suivi d'un questionnement : protocole 3**

Dans un premier temps les étudiants sont guidés (on dit comment faire pour trouver la solution) pour les trois exemples (contrairement au protocole 1 pour lequel la solution est donnée pour deux exemples). Dans un deuxième temps, les étudiants ont à répondre (à la fin de l'activité) à des questions concernant :

- les méthodes qu'on leur a fait utiliser pour réussir,
- la conscience qu'ils ont du problème.

L'idée est d'amener les étudiants à construire une représentation du problème à partir de la construction d'une représentation des solutions qui sont données aux différents problèmes. Cette approche met l'accent sur la prise en compte du contexte à travers l'action et se rapproche de la cognition située.

Cette méthode est très proche d'une méthode dite « classique » tout au moins en ce qui concerne l'activité procédurale ; elle en diffère en ce qui concerne l'activité de verbalisation qui est demandée à la fin de l'activité. C'est un guidage basé sur une démarche d'abstraction en comparant des situations analogues (Piaget et *al.*, 1990).

### **3.2.5. Un guidage procédural serré accompagné d'une représentation imagée : protocole 4**

Il s'appuie sur l'idée que, pour résoudre le problème, les étudiants peuvent utiliser des représentations imagées préférentiellement aux représentations verbales.

Les étudiants sont guidés (on dit comment faire pour trouver la solution) pour les trois exemples (comme pour le protocole 3), mais au lieu de verbaliser à la fin de l'activité, ils doivent dessiner leur représentation des trajets et des distances parcourues par la lumière pendant l'activité. Le but est de leur faire construire une représentation imagée qui leur permette d'extraire les invariants des différentes situations sans passer par une verbalisation.

## **3.3. Le dispositif d'évaluation**

### **3.3.1. Les principes de sa construction**

Nous avons élaboré un dispositif d'évaluation permettant d'établir trois types de mesure. Une mesure des performances obtenues, une mesure du niveau de conceptualisation atteint et une mesure des compétences transversales en métacognition.

Nous avons construit un test d'évaluation proposant une tâche de même nature que celle d'apprentissage, mais dans une situation différente et espacée dans le temps. Nous avons filmé les étudiants pendant l'épreuve pour enregistrer leurs comportements et leurs verbalisations éventuelles. Nous avons traité ensuite les résultats de façon statistique.

### 3.3.2. Le test d'évaluation

Pour construire le test d'évaluation nous avons tenté de supprimer les indices qui pouvaient favoriser le rappel à partir de proximités autres que la proximité conceptuelle. Nous avons ainsi supprimé :

- les indices spatio-temporels (une semaine après la phase d'apprentissage, l'expérience a lieu dans une salle différente de celle qui a servi pour les apprentissages),
- les indices favorisant le rappel à partir de traits de surface : ainsi, le banc de mesure des distances est supprimé, il est remplacé par un mètre à ruban (les étudiants ne disposent plus ainsi d'un zéro physique des mesures des distances), la forme du milieu transparent a été modifiée (figure 5).

On peut ainsi espérer que la performance à ce test dépende de la compréhension conceptuelle de l'étudiant.

Dans cette partie les étudiants ne disposent pas de documents et le chercheur ne leur apporte aucune aide. La séance est fixée à 45 minutes, les étudiants sont filmés et sont invités à réfléchir à voix haute (les volontaires ont été informés depuis le début qu'ils participent à une expérience qui consiste à comprendre l'influence d'un guidage sur les apprentissages et qu'il est nécessaire de suivre leur raisonnement à partir de leur verbalisation). Les seules interventions du chercheur consistent à inciter l'étudiant à dire ce à quoi il pense.

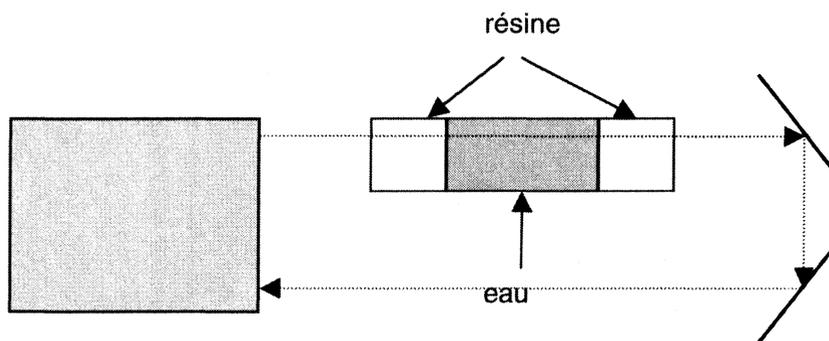


Figure 5. Schéma de principe du test qui est donné aux étudiants

### **3.3.3. La définition des niveaux de performance**

Une première évaluation des compétences acquises peut se faire à partir des mesures de performance des sujets. Il s'agit de déterminer de manière objective si l'on peut distinguer des niveaux hiérarchisés chez les apprenants pendant la situation d'évaluation. Ils vont d'une réussite totale à un échec complet en passant par des réussites intermédiaires.

Nous avons regroupé les étudiants dans trois niveaux de performance :

- niveau 1, pour ceux qui font des mesures directes sans méthode et qui échouent ;
- niveau 2, pour ceux qui appliquent une méthode de mesure analogue à celle trouvée pour l'air seul mais qui échouent à l'épreuve ;
- niveau 3, pour ceux qui réussissent.

Ces niveaux correspondent à une hiérarchisation du niveau de compréhension de la tâche : le niveau 3 étant le plus élevé dans la hiérarchie.

### **3.3.4. La catégorisation des comportements observés**

Une autre approche consiste à évaluer la compétence acquise à partir de l'évolution des conceptions de la tâche ou de la représentation du problème. Pour cela, on notera les initiatives du sujet, ses verbalisations, ses errements, le rappel de ses souvenirs associés à l'apprentissage, etc. En effet, si un comportement isolé peut être compris de différentes manières, les regroupements de comportements et leur hiérarchisation dans un cadre théorique peuvent donner des indications sur les compétences mobilisées par le sujet.

Il existe peu de travaux sur les connaissances sur les actions. Toutefois, Richard (1990) a proposé un schéma de l'apprentissage dans ce domaine.

Face à une situation nouvelle, la première étape d'apprentissage consiste à identifier le but à atteindre ou le problème à résoudre. La seconde étape consiste à apprendre des procédures pour atteindre le but. La troisième vise à caractériser la situation de départ afin de choisir la ou les procédures les plus pertinentes. Cela constitue une échelle de progrès qui comporte quatre niveaux :

- 1/ Ignorance du but à atteindre et des procédures ;
- 2/ Identification du but sans connaissance des procédures ;
- 3/ Maîtrise d'au moins une procédure typique ;
- 4/ Catégorisation de la situation de départ.

Nous avons adapté ces catégories à notre problème à partir d'une analyse didactique et épistémologique des savoirs et savoir-faire nécessaires à la réalisation de la tâche :

- **niveau 1, mesure absolue.** Les étudiants mesurent la distance et le temps sans tenir compte du problème posé : **il n'y a pas de conceptualisation de la situation ni de prise de conscience du problème posé ;**

- **niveau 2, mesure relative.** Pour cette catégorie, les étudiants **ont conscience du problème** mais ils se contentent de mesurer les changements introduits relativement à la situation antérieure sans appliquer une procédure de manière systématique ;

- **niveau 3, mesure par différence.** Les étudiants **ont conscience du problème** et ils ont une maîtrise des différents paramètres. Ils réussissent dans une situation particulière : la mesure dans l'air. Cependant ils généralisent la procédure apprise sans tenir compte des nouveaux contextes ;

- **niveau 4, mesure par référence.** Les étudiants **ont conscience du problème**, ils **conceptualisent une situation de référence** en identifiant ses caractéristiques. Ils font les mesures pour les différentes expérimentations (avec les différents milieux) en recherchant à évaluer ce qu'il faut faire pour reconstruire la situation antérieure qui leur sert alors de référence.

Ces quatre catégories correspondent à une **hiérarchisation** des conceptions des étudiants liées à la mesure : la conception qui est de niveau conceptuel le plus bas étant celle de la mesure en termes de mesure absolue. Nous parlerons par la suite de **niveaux de conceptualisation** quand nous nous référerons à ces quatre catégories.

### 3.4. La caractérisation de la population testée

Afin de pouvoir contrôler la variable individuelle nous devons :

- choisir des sujets dont les connaissances antérieures sont le plus possible équivalentes ;
- contrôler le niveau d'études, la nature du diplôme obtenu, la familiarité avec la situation proposée ;
- choisir des tests permettant d'évaluer les capacités intellectuelles mises en jeu dans la tâche proposée.

#### 3.4.1. *Choix des sujets testés*

Nous avons choisi des étudiants d'université qui ont le même niveau scientifique de base (bac S) et la même expérience en ce qui concerne les TP de physique (étudiants débutants à l'université).

Nous avons fait appel à des volontaires et nous avons reçu une réponse positive des étudiants dont la répartition par filière universitaire est la suivante :

- 4 étudiants en première année de DEUG à dominante mathématique et physique,
- 4 étudiants de première année de DEUG à dominante sciences de la vie,
- 8 étudiants en DEUG activités physiques et sportives.

Ces étudiants ont été répartis de façon aléatoire pour suivre les différents protocoles que nous avons construits.

### 3.4.2. Contrôle des différences individuelles

Afin de prendre en compte les différences individuelles, les étudiants ont été soumis à trois tests psychologiques (annexe 2) :

- le Passalong d'Alexander (1969) est une épreuve qui évalue la capacité à résoudre des problèmes pratiques en prenant conscience des démarches utilisées afin de les appliquer à de nouveaux problèmes ;
- le test de formation de concepts de Hanfmann-Kasanin évalue la capacité à former un nouveau concept par abstraction tout en résistant à des automatismes perceptifs ;
- le test des similitudes de la WAIS (Wechsler Adult Intelligence Scale) évalue la capacité de verbalisation des concepts et une aptitude à la généralisation verbale.

Le premier objectif de ces tests est de préciser le niveau de départ des sujets dans des aptitudes liées à la métacognition. Le second est d'éventuellement faire apparaître des efficacités différentes des pratiques pédagogiques selon le fonctionnement cognitif des sujets. Le troisième est de préciser la nature cognitive réelle de la tâche proposée. On peut, par exemple, estimer qu'une tâche qui est mieux réalisée par les sujets qui possèdent le plus de vocabulaire est une tâche mettant en jeu des compétences verbales.

## 4. RÉSULTATS

### 4.1. Les profils cognitifs

Afin d'évaluer la part des différences individuelles dans l'analyse de l'efficacité des différents protocoles, nous avons regroupé les scores obtenus aux différents tests psychologiques dans le tableau 1.

PO1 signifie l'étudiant n° 1 des étudiants ayant eu le protocole 0 ; P13 l'étudiant n° 3 des étudiants ayant eu le protocole 1, etc.

| Étudiant    | P01   | P02 | P03 | P11   | P12 | P13 | P21  | P22 | P23 | P24   | P31 | P32 | P33   | P41 | P42 | P43 |
|-------------|-------|-----|-----|-------|-----|-----|------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-----|
| Passalong   | 26    | 32  | 41  | 11    | 23  | 23  | 27   | 28  | 54  | 25    | 22  | 49  | 17    | 22  | 22  | 22  |
| Moyenne     | 33    |     |     | 19    |     |     | 33.5 |     |     | 29.3  |     |     | 22    |     |     |     |
| Concepts    | 0     | 4   | 14  | 7     | 9   | 10  | 9    | 14  | 13  | 12    | 13  | 7   | 18    | 16  | 11  | 1   |
| Moyenne     | 6     |     |     | 8.67  |     |     | 12   |     |     | 12.67 |     |     | 9.3   |     |     |     |
| Similitudes | 21    | 20  | 20  | 22    | 21  | 19  | 22   | 21  | 20  | 21    | 19  | 22  | 16    | 19  | 18  | 22  |
| Moyenne     | 20.33 |     |     | 20.66 |     |     | 2.1  |     |     | 19    |     |     | 19.66 |     |     |     |

**Tableau 1. Notes obtenues par les étudiants aux différents tests psychologiques**

*Remarque : une analyse de la variance montre qu'il n'y a aucune différence significative entre les profils cognitifs d'un protocole à l'autre.*

## 4.2. Identification des niveaux de performance

Rappel des trois niveaux de performance :

- niveau 1 pour ceux qui font des mesures directes sans méthode et qui échouent ;
- niveau 2 pour ceux qui appliquent une méthode de mesure analogue à celle trouvée pour l'air seul mais qui échouent à l'épreuve ;
- niveau 3 pour ceux qui réussissent.

Nous avons regroupé les résultats des étudiants dans le tableau ci-dessous.

| Étudiant                   | P01 | P02 | P03 | P11  | P12 | P13 | P21 | P22 | P23 | P24 | P31 | P32 | P33  | P41 | P42 | P43 |
|----------------------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| Niveau de performance      | 1   | 1   | 1   | 2    | 1   | 1   | 1   | 1   | 3   | 1   | 3   | 1   | 2    | 2   | 1   | 1   |
| Niveau moyen par protocole | 1   |     |     | 1.33 |     |     | 1.5 |     |     | 2   |     |     | 1.33 |     |     |     |

Tableau 2. Niveaux de performance atteints par les étudiants aux tests d'évaluation finale

*Une analyse de la variance montre qu'il n'y a aucune différence significative entre les niveaux de performance d'un protocole à l'autre.*

Bilan global du classement :

- niveau 1 : 11 étudiants soit 69 % de l'effectif,
- niveau 2 : 3 étudiants soit 19 %,
- niveau 3 : 2 étudiants soit 12 %.

## 4.3. Catégorisation des comportements observés

Nous avons recueilli un ensemble de données qui permet de caractériser l'ensemble des comportements et qui ne privilégie pas tel ou tel comportement qui aurait pu être favorisé par tel ou tel mode de guidage.

Nous avons distingué :

- les évocations de souvenirs d'actions rencontrées lors de l'apprentissage ;
- les comportements d'action (comme : bouge les miroirs, calcule un temps, etc.)

### 4.3.1. Étude des souvenirs évoqués

Lorsqu'un enseignant guide fortement l'étudiant, il a le présupposé qu'un bon guidage favorise la mémorisation des actions pertinentes. Cette attitude est à rapprocher de l'idée que l'apprentissage passe par la mémorisation de la situation d'apprentissage. Dans cette conception, on peut penser que, plus un étudiant mémorise d'actions, plus il est capable de réussir au

test. Pour chaque étudiant nous avons comptabilisé le nombre total de souvenirs d'actions évoqués (tableau 3).

| Étudiant                   | P01 | P02 | P03 | P11  | P12 | P13 | P21 | P22 | P23 | P24  | P31 | P32 | P33  | P41 | P42 | P43 |
|----------------------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| Nombre de souvenirs        | 0   | 0   | 0   | 5    | 1   | 5   | 2   | 2   | 1   | 3    | 4   | 3   | 4    | 5   | 1   | 1   |
| Nombre moyen par protocole | 0   |     |     | 3.67 |     |     | 2   |     |     | 3.67 |     |     | 2.33 |     |     |     |

**Tableau 3. Nombre de souvenirs (de la phase d'apprentissage) évoqués par les étudiants lors du test d'évaluation**

#### 4.3.2 Regroupement des comportements d'action

Rappel des quatre niveaux de conceptualisation que nous avons définis (§ 3.3.4) :

- niveau 1, mesure absolue,
- niveau 2, mesure relative,
- niveau 3, mesure par différence,
- niveau 4, mesure par référence.

Nous avons listé l'ensemble des comportements que nous avons observés (total de 44) et chacun des chercheurs a attribué une catégorie (niveau de conceptualisation) à chacun de ces comportements. Nous avons ensuite retenu les comportements pour lesquels les deux chercheurs étaient d'accord quant à leur catégorisation *a priori* (total de 23). Le regroupement de ces comportements dans nos catégories a été validé par une analyse discriminante<sup>1</sup>. Les étudiants ont ensuite été classés en leur affectant comme niveau celui correspondant à leur comportement de niveau de conception le plus élevé. Nous avons regroupé ces résultats dans le tableau 4.

| Étudiant                    | P01  | P02 | P03 | P11  | P12 | P13 | P21 | P22 | P23 | P24 | P31 | P32 | P33  | P41 | P42 | P43 |
|-----------------------------|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| Niveau de conceptualisation | 2    | 1   | 1   | 3    | 1   | 1   | 1   | 2   | 4   | 3   | 4   | 1   | 4    | 3   | 1   | 1   |
| Moyenne par protocole       | 1.33 |     |     | 1.67 |     |     | 2.5 |     |     | 3   |     |     | 1.67 |     |     |     |

**Tableau 4. Niveau de conceptualisation atteint par les étudiants au test d'évaluation**

(1) Remarque sur l'analyse factorielle discriminante.

L'analyse factorielle discriminante permet de trouver les critères qui séparent le mieux un certain nombre de groupes d'individus ou de variables. La méthode consiste à vérifier si les catégories choisies *a priori* discriminent effectivement les comportements observés.

Dans le cas présent l'analyse discriminante, en mettant en relation les catégories (niveau 1, niveau 2, etc.) et les comportements (voir annexe 3), a classé 100 % des comportements dans la catégorie prévue.

## 4.4. Caractérisation du test d'évaluation finale

### 4.4.1. Mise en relation de l'ensemble des variables individuelles

Pour identifier les compétences mobilisées par le test d'évaluation nous avons effectué un calcul de corrélation entre l'ensemble des variables individuelles que nous avons regroupées dans le tableau 5.

|                             | Niveau de performance | Nombre de souvenirs | Niveau de conceptualisation | Passalong | Concept      | Similitudes  |
|-----------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------|-----------|--------------|--------------|
| Niveau de performance       | 1                     | 0.39                | <b>0.86</b>                 | 0.06      | 0.43         | -0.34        |
| Nombre de souvenirs         | 0.39                  | 1                   | 0.46                        | -0.44     | 0.43         | -0.23        |
| Niveau de conceptualisation | <b>0.86</b>           | 0.46                | 1                           | -0.11     | <b>0.52</b>  | -0.39        |
| Passalong                   | 0.06                  | -0.44               | -0.11                       | 1         | 0.02         | 0.20         |
| Concept                     | 0.43                  | 0.43                | <b>0.52</b>                 | 0.02      | 1            | <b>-0.62</b> |
| Similitudes                 | -0.34                 | -0.23               | -0.39                       | 0.2       | <b>-0.62</b> | 1            |

Tableau 5. **Corrélations entre les variables et les performances**

Remarque : les chiffres **en gras** indiquent une **corrélation significative** au seuil de 0.05 entre les données.

### 4.4.2. C'est une tâche de transfert

À la fin de la tâche d'évaluation aucun étudiant n'a pu rappeler complètement ce qu'il avait fait lors de l'activité d'apprentissage. Nous avons même remarqué que les étudiants rappelaient des souvenirs partiels liés à des actions particulières, mais jamais sans décrire un ensemble cohérent d'actions ayant conduit à une mesure.

Ceci nous amène à dire que la tâche d'évaluation n'est pas une tâche qui fait appel uniquement à des capacités de mémorisation épisodique, ce n'est donc pas une tâche de reconnaissance de situations mais une tâche de transfert de compétences. En cela elle répond bien à notre premier critère concernant la construction d'une situation d'évaluation (§3).

### 4.4.3. C'est une tâche de conceptualisation

Nous avons corrélé les résultats aux tests psychologiques et les niveaux de performance atteints par les étudiants, nous avons obtenu les résultats suivants :

- corrélation Passalong et niveau de performance,  $r = 0.06$  ;
- corrélation similitude et niveau de performance,  $r = -0.34$  ;
- corrélation conceptualisation et niveau de performance,  $r = 0.43$ .

Il y a une corrélation positive de  $r = 0.86$  ( $p < 0.05$ ) entre le niveau de performance et le niveau de conceptualisation. La tâche d'évaluation pourrait

donc mettre en œuvre des capacités de conceptualisation. Cette hypothèse est renforcée par le fait que l'on trouve une corrélation faible ( $r=0.43$ ), mais significative au seuil de 0.10, entre le test sur les capacités de conceptualisation et le niveau de performance atteint par les étudiants. La réussite à la tâche d'évaluation ne s'explique donc pas par une simple mémorisation, elle passe par la construction d'une représentation de la situation et donc par une évolution des concepts liés à la mesure.

#### **4.5. Mise en relation entre niveau de conceptualisation, nombre de souvenirs et performance**

Par une analyse discriminante, nous avons vérifié que l'on pouvait retrouver le niveau de performance au test d'évaluation à partir des comportements d'action observés et des souvenirs évoqués. Les résultats de l'analyse montrent qu'avec ces indicateurs le niveau de performance au test d'évaluation est prévisible correctement (voir annexe 4).

Cependant la simple description en termes de performance ne permet pas, à elle seule, de comparer les modes de guidage car nous ne savons pas ce qui des modes de guidage et ce qui des capacités intellectuelles rend compte de ces performances.

### **5. EFFET DES DIFFÉRENTS MODES DE GUIDAGE**

Nous avons vu dans le paragraphe précédent que l'on pouvait prédire le niveau de performance à partir des comportements d'action et des souvenirs évoqués. Il nous a semblé intéressant de vérifier si ces indicateurs étaient dépendants des protocoles proposés.

#### **5.1. Relation entre les différents modes de guidage et les souvenirs évoqués**

Dans le paragraphe 4.2.1., nous avons fait l'hypothèse qu'un guidage serré permettait de mémoriser les actions pertinentes. Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons regroupé :

- les protocoles qui proposent un guidage serré c'est-à-dire un guidage sur les actions ; ce sont les protocoles 1, 3 et 4 ;
- les protocoles qui ne guident pas les actions (0 et 2).

Nous avons compté pour chacun de ces groupes la moyenne du nombre de souvenirs évoqués ( $m=3.22$  pour les protocoles à guidage serré et  $m=1.14$  pour les protocoles à guidage non serré). À partir d'un  $t$  de

Student<sup>2</sup>, nous avons trouvé une différence significative (**t=2.63 à p=0.02**) : les protocoles à guidage serré favorisant la rétention des actions.

Mais nous avons vu que les souvenirs seuls ne permettent pas d'interpréter la progression des étudiants (corrélation non significative), ce qui signifie qu'un guidage sur les seules actions ne suffit pas à faire progresser les étudiants ou autrement dit : un guidage pour la réussite n'est pas suffisant.

## 5.2. Relation entre les différents modes de guidage et les niveaux de conceptualisation

Dans le paragraphe 4.2.1., nous avons fait l'hypothèse que les protocoles 2 et 3 devaient favoriser la prise de conscience du problème à résoudre en invitant les étudiants à verbaliser leurs démarches, faisant ainsi l'hypothèse que cette prise de conscience fait évoluer leur niveau de conception.

Un test de Student laisse penser que les protocoles qui font verbaliser (moyenne du niveau de conception : m=2.7) permettent aux étudiants d'atteindre un niveau de conceptualisation plus élevé que les protocoles qui ne font pas verbaliser (0,1 et 4) (m=1.6). La différence n'est toutefois significative qu'à **0.06 (t=2.05)**.

## 5.3. Relation entre les différents modes de guidage, les différences individuelles et les niveaux de conceptualisation

Nous avons vu (§5) qu'il existe une corrélation significative entre la réussite au test de conceptualisation et le niveau de conception atteint par l'étudiant (**r=0.51**). De plus nous venons de montrer que les protocoles qui font verbaliser ont un effet sur le niveau de conception atteint par les étudiants. Il nous a alors paru intéressant de voir quelle est la part des capacités de conceptualisation des étudiants et celle du protocole sur le niveau de conception atteint. Nous avons séparé les étudiants en deux groupes : ceux qui ont des capacités de conceptualisation inférieures à la valeur médiane (notés **concept -**) et ceux qui ont une note supérieure à la valeur médiane (notés **concept +**). Nous avons regroupé les résultats dans le tableau 6, dans lequel nous avons indiqué les niveaux de conception atteints.

|                                      | Protocoles qui ne font pas verbaliser (0,1,4) | Protocoles qui font verbaliser (2,3) |
|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| Étudiants de niveau <b>concept -</b> | 1,1,1,1,2,3                                   | 1,1                                  |
| Étudiants de niveau <b>concept +</b> | 1,1,3   | 2,3,4,4,4                            |

Tableau 6. Niveau de conception (de la mesure) atteint par les étudiants en fonction du type de protocole suivi et de leur niveau de conceptualisation

(2) Chaque test de Student a été doublé par un test de Mann-Whitney qui a donné les mêmes résultats.

Une analyse de la variance montre que :

- les différences liées aux capacités de conceptualisation sont significatives ( $F=9.7$ ,  $p<0.01$ ) ;
- les différences liées aux protocoles sont également significatives ( $F=6.8$ ,  $p<0.01$ ) ;
- l'interaction entre les protocoles et les niveaux de conceptualisation est également significative ( $F=7.5$ ,  $p<0.01$ ).

Pour les étudiants ayant des capacités de conceptualisation inférieures à la médiane, un test de Student montre qu'il n'y a pas de différence (en ce qui concerne le niveau de conception) entre les protocoles.

En revanche, il existe une différence significative à  $p= 0.05$  ( $t=2.4$ ) entre les protocoles en ce qui concerne la population d'étudiants ayant des capacités de conceptualisation supérieures à la médiane.

Les protocoles qui font verbaliser ont un effet positif plus grand sur les étudiants de niveau conceptuel supérieur que sur les étudiants de niveau conceptuel moins élevé ( $p=0.02$  pour  $t=3.58$ ). Ce qui n'est pas le cas pour les protocoles qui ne font pas verbaliser.

***Les protocoles qui font verbaliser n'ont donc un effet positif sur le niveau de conception atteint que pour les étudiants dont les capacités de conceptualisation sont les plus élevées.***

#### **5.4. Relation entre les différents modes de guidage, les différences individuelles et les niveaux de performance**

Onze étudiants sur 16 ayant échoué au test d'évaluation, il n'est pas possible de mettre en évidence des différences significatives de performance à partir des effets des protocoles ou des différences individuelles.

Cependant nous pouvons remarquer que les étudiants qui ont réussi sont ceux qui ont eu un protocole de verbalisation et qui avaient un bon niveau de conceptualisation.

### **6. ANALYSE ET DISCUSSION**

Nous voulions comparer l'efficacité de modes de guidage différents issus de modèles théoriques différents en reliant la mesure objective des performances réalisées par les étudiants au cours d'une épreuve de contrôle et l'évolution de leurs représentations par rapport au problème à résoudre. Cela s'est traduit par :

- la mise au point d'une mesure de performance objective et contrôlée dans une situation d'évaluation acceptable pour plusieurs conceptions de l'apprentissage (étude quantitative) ;

- le contrôle de variables objectivables (étude clinique) qui sont susceptibles d'expliquer la progression des étudiants pour tous les protocoles ;
- la mise en relation des performances obtenues et des comportements observés et catégorisés à partir de chaque modèle d'apprentissage.

### **6.1. L'apport d'une activité de transfert pour une mesure objective des apprentissages**

Les protocoles 3 et 4 ont permis à tous les étudiants de réussir à mesurer la vitesse de la lumière dans les trois différentes situations d'apprentissage. Par contre, pour les protocoles 0 et 2, aucun étudiant n'a réussi à résoudre les trois problèmes proposés. À ce niveau on peut en déduire que les protocoles 3 et 4 ont été les plus efficaces en termes de performance des étudiants. On serait alors tenté d'en conclure que c'est le signe de l'acquisition de compétences. Or, quand on propose aux étudiants une activité qui nécessite un transfert des compétences acquises, on ne retrouve pas les différences de performance apparues lors de l'apprentissage (11 étudiants sur 16 échouent totalement à l'épreuve).

Est-ce parce que :

- les compétences acquises lors des différents apprentissages ne sont pas celles requises pour le test,
- la situation de test ne permet pas de réactiver les compétences acquises,
- le guidage proposé dans les protocoles (et en particulier les protocoles 3 et 4) n'a pas permis de faire acquérir des compétences aux étudiants ?

Une analyse clinique du comportement des étudiants pendant l'évaluation permet de mieux évaluer les compétences acquises.

### **6.2. L'apport d'une description du comportement des étudiants pendant l'évaluation**

Pour savoir si des compétences ont été acquises lors des différentes situations d'apprentissage, nous avons recherché des comportements caractéristiques de ce qui était attendu des protocoles. Nous avons pu ainsi définir deux types de descripteurs permettant de caractériser le comportement des étudiants pendant l'évaluation :

- des souvenirs associés à la situation d'apprentissage,
- des comportements significatifs de leur niveau de conceptualisation de la tâche ou du problème à résoudre.

Ces descripteurs semblent pertinents pour comprendre les résultats obtenus à l'évaluation puisqu'ils nous ont permis de retrouver les performances à partir d'une analyse discriminante.

Il nous a paru intéressant d'utiliser l'analyse discriminante de comportements cliniques pour garder l'aspect qualitatif de cette démarche compréhensive tout en vérifiant quantitativement leur lien avec la performance à l'évaluation. Elle montre par exemple que la quantité de souvenirs évoqués ou le niveau de conception de la mesure ne peuvent, pris séparément, prédire la performance au test alors que, s'ils sont associés, la prédiction est possible.

Ces descripteurs permettent de caractériser le rôle joué par les protocoles : les protocoles proposant un guidage serré (protocoles 1, 3, 4) semblent favoriser la rétention des actions, les protocoles faisant verbaliser (2, 3) pourraient agir sur le niveau de conception de la mesure et favoriser ainsi la construction d'une représentation pertinente de la situation. Toutefois la rétention des actions n'est pas significativement corrélée à la performance tandis que le niveau de conception l'est. Un guidage semble donc nécessaire mais lorsqu'il porte sur les seules actions, il est alors inefficace. Pour qu'un guidage serré sur les actions soit efficace, il serait nécessaire de le faire suivre par une réflexion guidée. Ce résultat est à rapprocher du rôle primordial du « *debriefing* » que Pastré (1999) souligne dans la conceptualisation.

La simple mesure de l'efficacité en termes de performance s'est montrée insuffisante pour pouvoir mettre en évidence des différences entre les protocoles, cependant elle est nécessaire pour déterminer quels sont les descripteurs pertinents pour évaluer l'apprentissage.

La confrontation d'indicateurs cliniques s'inscrivant dans des modèles d'apprentissage identifiés et de performances à une épreuve de transfert peuvent permettre d'objectiver les compétences réutilisées par les étudiants.

### **6.3. L'apport d'une prise en compte des différences individuelles**

Nous avons cherché à caractériser les capacités cognitives mobilisées pour résoudre les problèmes que nous avons posés, en particulier nous avons cherché des indicateurs pour différencier les « transféreurs » et les « non-transféreurs ». Nous n'avons trouvé aucune corrélation significative entre les performances observées et ces capacités. Seul le test de formation de concept (Hanfmann-Kasanin) est en corrélation positive avec le niveau de conception des étudiants. Ce dernier ayant une corrélation significative avec les performances au test d'évaluation qui fait sans doute appel à des capacités de conceptualisation.

Nous avons retenu des capacités de généralisation verbale (test des similitudes de la WAIS) : on pouvait s'attendre à ce que cette capacité soit sollicitée par les situations de verbalisation et que l'on retrouve une corrélation

positive avec les performances finales. Or nous n'avons pas trouvé de corrélation significative entre ce test et la mesure des performances, il existe même une corrélation négative significative avec le test de formation de concepts. Nous avons également évalué la capacité à résoudre des problèmes pratiques en prenant conscience des démarches utilisées (le Passalong d'Alexander) : nous pensions que ce test était un bon moyen d'évaluer les capacités de métacognition des étudiants (Brown & Campione, 1990). On pouvait s'attendre à ce que cette capacité soit mise en œuvre pour réaliser les protocoles qui guident sur les procédures. Nous n'avons trouvé aucune corrélation significative avec les performances ou les descripteurs utilisés.

Toutefois, il reste que l'analyse des compétences et des aptitudes des étudiants avant enseignement facilite la compréhension des mécanismes qui expliquent l'efficacité plus ou moins grande d'un dispositif d'enseignement.

En effet, seuls les étudiants dont le niveau conceptuel était le plus élevé ont profité des protocoles qui font verbaliser. Aucun protocole n'a permis de faire réussir les étudiants de faible niveau conceptuel. Tous les protocoles ne profitent donc pas de la même façon à tous les étudiants. L'efficacité des protocoles 2 et 3 pour développer le niveau de conceptualisation de la mesure dépend du niveau de conceptualisation des étudiants. Ce constat nous amène à nous poser des questions sur notre dispositif expérimental :

- est-ce que la tâche de transfert était trop éloignée de la situation d'apprentissage ?
- dans quelle mesure faudrait-il améliorer les protocoles proposés ? En particulier, comme un certain nombre d'études en psychologie cognitive l'ont montré (Gick & Holyoak, 1987), un guidage portant sur le transfert (transfert informé) peut améliorer le transfert des performances.

## **6.4. Discussion**

### **6.4.1. Le choix du test d'évaluation**

Ce choix a pu introduire un biais dans les résultats obtenus. Nous avons supprimé les repères physiques (comme le support gradué avec son zéro des distances), nous avons multiplié les difficultés (deux milieux au lieu d'un, forme différente de l'objet, etc.) Situation telle que si l'étudiant n'avait pas construit le concept de situation de référence, il ne pouvait pas réussir. Cela pose le problème de la distance entre la situation d'évaluation et la situation d'apprentissage et par là même la nature de l'apprentissage visé. Par exemple une plus grande proximité de formes d'objets aurait pu favoriser des raisonnements par analogie et valoriser ainsi les protocoles procéduraux. Cette proximité nous aurait peut-être permis de trouver des différences

significatives entre les protocoles 2 et 3. En effet, le protocole 3 qui provoque une verbalisation après un guidage procédural aurait pu être plus efficace.

Nous avons informé les étudiants que nous allions leur demander, lors de la deuxième séance, de résoudre un problème nouveau mais analogue à ceux rencontrés au cours de la phase d'apprentissage. Cependant cette information n'a été rappelée ni au cours du guidage ni au cours de la verbalisation (pour les protocoles 2 et 3) ; nous avons ainsi choisi d'évaluer les apprentissages en misant davantage sur un transfert spontané (Gick & Holyoak, 1987) que sur un transfert informé, estimant que ce type de transfert correspond au contrat didactique à l'université et qu'il est connu des étudiants. Toutefois, en supprimant un certain nombre de repères, nous nous sommes éloignés de la situation ordinaire de l'évaluation universitaire. En effet, l'évaluation des TP se fait souvent en demandant à l'étudiant de reproduire un exercice tiré au sort parmi un lot d'exercices réalisés. Les étudiants ont généralement révisé leurs TP et ont eu l'occasion de prendre conscience qu'ils vont devoir utiliser ce qu'ils ont appris, ce qui est une manière d'informer sur le transfert. Si nous avons augmenté le délai entre la séquence d'apprentissage et le test d'évaluation (15 jours par exemple), une réactivation intermédiaire aurait facilité la réorganisation des informations, leur généralisation, et la mémorisation des points essentiels. Cette réactivation aurait pris la forme d'un questionnement du type « *que faut-il retenir d'essentiel concernant l'expérience que vous avez faite ?* ». Cette réactivation aurait pu simuler l'activité cognitive de l'étudiant qui prépare un partiel.

Le transfert important qui a été exigé a donc favorisé l'activité de conceptualisation aux dépens de la réussite, l'activité d'abstraction aux dépens de la généralisation. Une plus grande proximité, une révision aurait permis de solliciter les capacités de mémorisation et donc la réussite et la généralisation. La situation d'évaluation n'est donc pas complètement neutre. Elle est à juger à l'aune des objectifs universitaires. Un tel transfert doit-il être exigé, est-il excessif ? La réponse à cette question détermine la valeur que l'on attribue à la mémorisation ou à la conceptualisation.

#### **6.4.2. La qualité des protocoles proposés**

Afin que tous les étudiants disposent des mêmes informations sur leur progression, nous nous sommes interdits de leur donner des indications sur leurs résultats. Cette absence de feed-back a sans doute diminué l'efficacité des protocoles, elle n'a pas permis aux étudiants de renforcer les conduites adaptées, de repérer les critères pertinents, de hiérarchiser les informations.

Les deux protocoles qui font verbaliser ne permettent pas d'améliorer la performance des étudiants, même s'ils contribuent à améliorer leur niveau de conception. La qualité du questionnement, la formulation de la règle géné-

rale auraient pu être améliorées. Nous avons remarqué que toutes les questions n'étaient pas claires et que des étudiants avaient des difficultés à traduire la règle en actions. On peut donc penser que le type de questionnement n'était pas le plus efficace en ce sens qu'il n'a pas permis de faire passer les étudiants à une prise de conscience de la situation suffisamment abstraite pour leur permettre un transfert conduisant à la réussite. Comment peut-on faire pour que les protocoles faisant appel à la verbalisation soient plus efficaces ? L'énoncé de la règle n'a pas été pertinent pour le protocole 2 et les questions posées n'ont pas suffisamment aidé les étudiants à construire une représentation abstraite de la situation.

## 7. CONCLUSION

À partir de l'exemple des travaux pratiques de physique en première année de DEUG, nous avons montré que la comparaison des pratiques d'enseignement nécessite la prise en compte de la mesure objective des performances, d'une étude clinique des comportements des sujets pendant le test et d'une mesure de capacités intellectuelles. Nous avons ainsi pu mettre en évidence qu'un non guidage ne permettait pas de réaliser des apprentissages et qu'un guidage serré en suivant des consignes opératoires n'est pas inefficace contrairement à un avis largement répandu. Cependant ce guidage procédural doit être accompagné d'une activité de verbalisation concernant les problèmes à résoudre et les démarches utilisées. Cette démarche semble favoriser les étudiants qui conceptualisent le mieux.

Nous avons construit deux protocoles qui proposent une activité de verbalisation. Un des protocoles demande à l'étudiant d'explicitier la compréhension qu'il a de la tâche à réaliser, et de la solution à appliquer. Il fait l'hypothèse implicite que la compréhension doit précéder l'action et que c'est elle qui guide le sujet vers la réussite (démarche descendante). L'autre protocole guide l'action pour obtenir une réussite et propose une activité de verbalisation sur les procédures utilisées pour réussir (conditions de la réussite). Il fait en cela l'hypothèse que la construction d'une représentation pertinente s'appuie sur le contexte de l'action et qu'elle s'en abstrait par une activité de comparaison entre des contextes analogues.

L'efficacité du guidage reprend la question soulevée par Piaget (1974) sur les relations entre réussir et comprendre : s'il y a des réussites sans compréhension, la réussite n'est pas le signe d'une compréhension. Comprendre c'est réorganiser le réel à un autre niveau : celui de la représentation. Dans notre étude, on peut se demander si l'apprentissage est la généralisation d'actions ponctuelles ou bien l'abstraction d'invariants à partir de contextes multiples.

La question est alors : pour augmenter l'efficacité des guidages, faut-il favoriser les activités qui au départ privilégient la compréhension des règles

d'action à utiliser, (qui serviront de guide pour la réussite dans des contextes variés), ou bien faut-il guider l'action dans un premier temps puis faire analyser à l'apprenant les causes de ses réussites et de ses échecs pour l'aider à élaborer des règles d'action ? Il sera donc intéressant de comparer ces deux protocoles en modifiant le contenu des activités de verbalisation et en faisant varier la distance entre les situations d'apprentissages et d'évaluation. C'est dans cette direction que nous poursuivons cette recherche.

## BIBLIOGRAPHIE

ALEXANDER W.-P. (1969). *Une échelle de performance pour la mesure de l'intelligence pratique*. Paris, Centre de Psychologie Appliquée.

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.

BENEY M. (2001). 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. *Didaskalia*, n° 19, pp. 9-37.

BRY X. (1996). *Analyses factorielles multiples*. Paris, Economica.

BROWN J.S. (1989). Toward a new epistemology for learning. In C. Frasson & J. Gauthier (éds), *Intelligent tutoring system system : at the crossroads of IA and Education*. Norwood, NJ, Ablex Publishing corporation, pp. 266-281.

BROWN A.-L. & CAMPIONE J.-C. (1990). Communities of learning and thinking, or a context by any other name. *Contributions to Human Development*. n° 21, pp. 108-126.

CAUDILL M. & BUTLER C. (1993). *Understanding Neural Networks*. Cambridge, M.I.T. Press.

CLAUGH M.-P. & CLARK R. (1994). Cookbooks and constructivism – a better approach to laboratory activities. *The science Teacher*, vol. 61, n° 2, pp 34-37.

CHEVALLARD Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 12.

DARLEY B. (1996). Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG deuxième année. *Didaskalia*, n° 9, pp 31-56.

DORE F.-Y. & MERCIER P. (1992). *Les fondements de l'apprentissage*. Lille, Presses Universitaires de Lille.

EDELMAN G.-M. (1992). *Biologie de la conscience*. Paris, Odile Jacob.

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° 22, pp. 233-241.

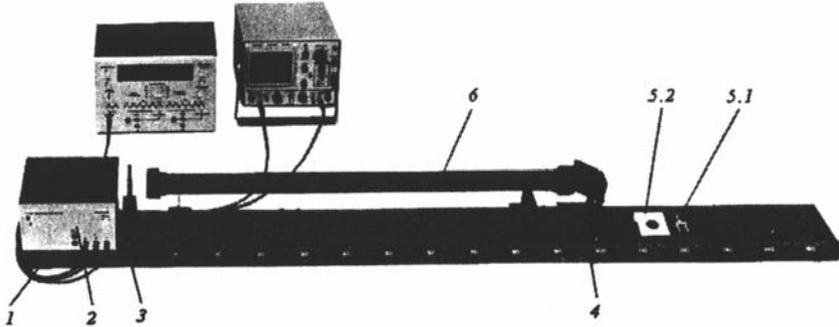
GIBSON J.-J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. London, Lawrence Erlbaum Associates.

GICK M.-L. & HOLYOAK K.J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, n° 15, pp.1-38.

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.

- GUINARD J.-Y. (1995). *De la mémoire épisodique à la construction des connaissances scolaires*. Thèse de doctorat, université de Rennes.
- HANFMANN-KASANIN (1952). *Test de formation de concepts*. Paris, Centre de Psychologie appliquée.
- LAKS B. (1996). *Langage et cognition*. Paris, Hermes.
- LAVE J. (1988). *Cognition in practice*. Cambridge, Cambridge University Press.
- LE NY J.-F. (1972). *Le conditionnement et l'apprentissage*. Paris, PUF.
- NEWEL A. & SIMON H.A. (1972). *Human Problem Solving*. New York, Prentice Hall.
- PASTRÉ P. (1999). La conceptualisation dans l'action : bilan et nouvelles perspectives. *Education permanente*, n° 139, pp.13-35.
- 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 I.
- PIAGET J. (1974). *Réussir et comprendre*. Paris, PUF.
- PIAGET J. (1975). *L'équilibration problème central du développement*. Paris, PUF.
- PIAGET J., HENRIQUES G. & ASCHER E. (1990). *Morphismes et catégories : comparer et transformer*. Neuchatel, Dalachaux et Niestlé.
- PSILLOS D., NIEDERRER H. & SÉRÉ M.-G. (1998). *The mains results of case studies : about the effectiveness of different types of labwork*. Document de travail du projet européen : Labwork in Science Education (DGXII). Orsay, université Paris-Sud.
- REUCHLIN M. (1977). *Psychologie*. Paris, PUF.
- ROTH W.-M. (1996). Where is the context in contextual ? : mathematical practices and products in grade 8 students' answers to story problems. *Cognition and instruction*, n° 14, pp. 487-527.
- RICHARD J.-F. (1990). *Les activités mentales*. Paris, Armand Colin.
- SCHMIDT R.A. (1993). *Apprentissage moteur et performance*. Paris, Vigot.
- TARPY R.-M. (1982). *Basic principles of learning*. Glenview (USA), Scott Foresman and company.
- TOLMAN E.-C. (1948). *Cognitive map in rats and men*. New York, Appleton-Century Crofts.
- THORNDIKE E.-L. (1913). *The Psychology of Learning*. New York, Teachers College.
- VYGOTSKY L.S. (1997). *Pensée et langage*. Paris, La Dispute.
- WESCHLER D. (1955). *Échelle d'intelligence de Weschler pour adultes*. Paris, C.P.A.
- WONNACOTT T.H. & WONNACOTT R.J. (1995). *Statistiques*. Paris, Economica.
- Pour le traitement statistique des données nous nous sommes servis du logiciel statbox. Grimmer Logiciels, rue de Clignancourt 75018 Paris.

## ANNEXE 1



L'appareil complet de mesure de la vitesse de la lumière comprend les éléments suivants :

- 1 - le banc d'optique (pour les mesures de distances),
- 3 - des lentilles sur leurs pieds magnétiques (2 pièces),
- 4 - des miroirs de renvoi,
- 5 - une cuvette tubulaire,
- 6 - un prisme en verre acrylique.

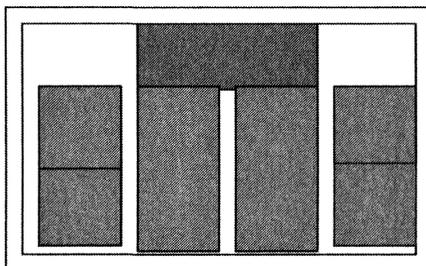
## ANNEXE 2

### Les tests psychologiques

#### *Descriptif des tests psychologiques :*

Le « Passalong » est une épreuve de l'échelle de performance pour la mesure de l'intelligence pratique de W.P. Alexander (1969). Cette échelle construite en 1946 avait pour but de repérer les élèves de l'école primaire qui auraient les aptitudes pour suivre un enseignement secondaire technique.

Le « Passalong » est une épreuve de résolution de problèmes dans une conduite de détour. Le sujet rencontre des difficultés progressives qui sont autant de marches pour résoudre les problèmes suivants. Pour réussir, le sujet doit élaborer des sous-buts en ramenant le problème nouveau à un problème connu, c'est-à-dire, résolu précédemment. Pour reconnaître l'ancien problème, le sujet doit avoir pris conscience des méthodes qu'il a utilisées pour réussir. Il s'agit donc d'une connaissance sur l'action. Étant donné le niveau des premiers exercices, nous avons réduit l'épreuve aux quatre derniers problèmes.



Le test de formation de concepts de Hanfmann-Kasanin est une épreuve de catégorisation de petites pièces de bois de formes et de couleurs variées. Il s'agit de construire 4 catégories logiques pour regrouper l'ensemble des morceaux de bois. La difficulté tient au fait que les indices les plus prégnants, la couleur et la forme ne sont pas pertinents dans ce cas. Il s'agit donc de lutter contre des automatismes perceptifs pour construire de nouvelles catégories à partir de deux éléments moins prégnants : la surface de la pièce de bois et son épaisseur. Cette capacité à résister à ses automatismes perceptifs, semble mettre en évidence l'importance des mécanismes d'abstraction et de créativité.

Le test des similitudes de la WAIS est une épreuve de conceptualisation verbale. Il s'agit de retrouver la catégorie commune aux deux notions proposées, par exemple foule et tas. Le support est différent du test précédent et les catégories sont moins à construire qu'à rechercher en mémoire.

### ANNEXE 3

| <b>Comportements d'action</b>  | <b>Niveau de conception attribué<br/>aux différents comportements d'action</b> |
|--|--|
| mesure absolue dans l'air .....  | 1  |
| mesure absolue dans la résine .....  | 1  |
| mesure absolue dans l'eau .....  | 1  |
| calcule le temps dans la partie air .....  | 2  |
| colle l'ensemble : bloc, lentilles, miroir .....   | 2  |
| évalue le trajet de départ à 10 cm .....   | 2  |
| déplace les miroirs de la longueur totale .....  | 1  |
| déplace les miroirs de la longueur de la résine .....  | 3  |
| déplace le bloc de la longueur de l'eau .....  | 1  |
| déplace le miroir d'une distance égale à la moitié<br>de la longueur du bloc de résine ..... | 3  |
| pour l'eau il met en phase en gardant le bloc de résine.....                                 | 4  |
| calcule le temps mis par la lumière pour la longueur du bloc .....                           | 4  |
| mettre le bloc c'est enlever de l'air .....  | 4  |

## ANNEXE 4

### Analyse discriminante mettant en relation comportements et souvenirs pour expliquer le niveau de performance des étudiants

| Individu | Groupe initial | Facteur 1  | Facteur 2  | Groupe estimé |
|----------|----------------|------------|------------|---------------|
| P01      | 1              | - 0,02     | - 1,7      | 1             |
| P02      | 1              | 0          | 0          | 1             |
| P03      | 1              | - 0,02     | 0,9        | 1             |
| P11      | 2              | 0,03       | 13,8       | 2             |
| P12      | 1              | - 0,02     | 0,0        | 1             |
| P13      | 1              | - 0,012    | - 0,8      | 1             |
| P21      | 1              | - 0,02     | 0,04       | 1             |
| P22      | 1              | - 0,017    | 0,05       | 1             |
| P23      | 3              | - 5640     | 2,5        | 3             |
| P24      | 1              | - 0,02     | - 0,75     | 1             |
| P31      | 3              | - 5640     | 2,4        | 3             |
| P32      | 1              | - 0,017    | - 0,82     | 1             |
| P33      | 2              | 0,035      | 14,6       | 2             |
| P41      | 2              | 0,03       | 14,6       | 2             |
| P42      | 1              | - 0,026082 | - 2,576662 | 1             |
| P43      | 1              | - 0,025748 | - 2,540794 | 1             |

#### Comportements

#### Niveau

|  |   |
|--|---|
| mesure directe dans la résine.....                                   | 1 |
| mesure directe dans l'air.....                                       | 1 |
| mesure directe dans l'eau.....                                       | 1 |
| calcule temps dans partie air.....                                   | 2 |
| colle bloc, lentilles, miroir.....                                   | 2 |
| déplace les miroirs d'une longueur quelconque.....                   | 2 |
| évalue le trajet de départ à 10cm.....                               | 2 |
| déplace les miroirs de la longueur du bloc.....                      | 3 |
| déplace le bloc d'une distance égale à la longueur de l'eau.....     | 3 |
| déplace les miroirs de la longueur de la résine.....                 | 3 |
| réussite dans l'air.....   | 3 |
| déphasage nul pour longueur totale du bloc.....                      | 4 |
| déplace le miroir de la moitié de la longueur du bloc de résine..... | 4 |
| pour eau, met en phase avec résine.....                              | 4 |
| prend en compte l'air.....   | 4 |

## ANNEXE 5

### Protocoles de guidage

#### Protocole 1

D'une façon générale, la vitesse de la lumière dans un milieu transparent (notée  $c$ ) se calcule par la formule  $c = \frac{L}{\Delta t_1}$ , où  $L$  représente la distance parcourue par la lumière dans ce milieu et  $\Delta t_1$  le temps de parcours mesuré à l'oscilloscope.

Mais ici le problème est que les positions de l'émetteur et du récepteur ne sont pas connues avec précision, d'autre part la forme particulière des miroirs ajoute une distance supplémentaire pour le trajet de la lumière.

Pour mesurer le temps que met la lumière à parcourir une distance donnée dans un milieu transparent, on vous propose la manipulation suivante :

#### I - Mesure de la vitesse de la lumière dans l'air

- 1 - Vous placez les miroirs sur la position zéro de la règle graduée.
- 2 - Vous tournez le bouton appelé « déphaseur » qui est sur le boîtier et ce jusqu'à ce que les deux courbes soient en phase.
- 3 - Vous placez les miroirs à 0.5 mètre.
- 4 - Vous relevez la valeur du décalage en temps entre les deux courbes qui sont visualisées sur l'écran de l'oscilloscope. On notera  $\Delta t_1$  ce décalage. Le temps effectivement mis par la lumière pour parcourir 2\*0.5 mètre dans l'air est  $\Delta t_1$ .

On peut alors calculer la vitesse de la lumière notée  $c$  par la formule  $c = \frac{2 \cdot 0.5}{\Delta t_1}$ .

#### II - Mesure de la vitesse de la lumière dans la résine

- 1 - Refaites les consignes 1 et 2 de l'expérience précédente.
- 2 - Placez les miroirs à une distance de 0.29 mètre.
- 3 - Placez le bloc de résine dont la longueur est de 0.29 mètre sur le trajet de la lumière.
- 4 - Mesurez la valeur du décalage en temps. On notera  $\Delta t_1$  ce décalage.

La vitesse  $v$  de la lumière dans la résine est donnée par la formule  $c = \frac{2 \cdot 0.9}{\Delta t_1}$ .

#### III - Mesure de la vitesse de la lumière dans l'eau

Mesurez le temps que met la lumière à traverser le tube rempli d'eau dont la longueur est de 1 mètre. En déduire la vitesse de la lumière dans l'eau.

#### Protocole 2

##### Partie 1

D'une façon générale, la vitesse de la lumière dans un milieu transparent (notée  $c$ ) se calcule par la formule  $c = \frac{L}{\Delta t_1}$ , où  $L$  représente la distance parcourue par la lumière dans ce milieu et  $\Delta t_1$  le temps de parcours mesuré à l'oscilloscope.

Mais ici le problème est que les positions de l'émetteur et du récepteur ne sont pas connues avec précision, d'autre part la forme particulière des miroirs ajoute une distance supplémentaire pour le trajet de la lumière.

Essayer de mesurer cette vitesse dans l'air par une méthode de votre choix **et** essayez de formuler alors une méthode générale qui permette d'avoir une mesure précise du temps mis par la lumière pour parcourir une distance donnée dans un milieu transparent.

## Partie 2

Enoncé de la règle : ici pour mesurer le temps mis par la lumière pour parcourir une **longueur donnée** il faut faire une mesure par **différence** entre 2 positions des miroirs distantes de cette longueur.

D'une façon générale, on peut dire que quand on ne connaît pas avec précision le zéro d'une mesure on peut malgré tout faire une mesure précise par une méthode de différence.

Appliquer ici cette méthode à la mesure du temps de parcours de la lumière :

**1** - Dans un mètre d'air.

En déduire la vitesse de la lumière dans l'air.

**2** - Dans un bloc de résine d'une longueur de 0.29 m.

En déduire la vitesse  $v$  de la lumière dans la résine.

**3** - Dans un tube d'eau d'une longueur de 1 mètre.

En déduire la vitesse  $v$  de la lumière dans l'eau.

## Protocole 3

D'une façon générale, la vitesse de la lumière dans un milieu transparent (notée  $c$ ) se calcule par la formule  $c = \frac{L}{\Delta t_1}$  où  $L$  représente la distance parcourue par la lumière dans ce milieu et  $\Delta t_1$  le temps de parcours mesuré à l'oscilloscope.

Mais ici le problème est que les positions de l'émetteur et du récepteur ne sont pas connues avec précision, d'autre part la forme particulière des miroirs ajoute une distance supplémentaire pour le trajet de la lumière.

Pour mesurer le temps que met la lumière à parcourir une distance donnée dans un milieu transparent, on vous propose trois manipulations ; pour les deux premières vous aurez le détail de ce qu'il faut faire sous forme de consignes et vous aurez à réaliser sans aide une troisième expérience.

### I - Mesure de la vitesse de la lumière dans l'air

**1** - Vous placez les miroirs sur la position zéro de la règle graduée.

**2** - Vous tournez le bouton appelé « déphaseur » qui est sur le boîtier et ce jusqu'à ce que les deux courbes soient en phase

**3** - Vous placez les miroirs à 0.5 mètre.

**4** - Vous relevez la valeur du décalage en temps entre les deux courbes qui sont visualisées sur l'écran de l'oscilloscope. On notera  $\Delta t_1$  ce décalage. Le temps effectivement mis par la lumière pour parcourir 2\*0.5 mètre dans l'air est  $\Delta t_1$ .

On peut alors calculer la vitesse de la lumière notée  $c$  par la formule  $c = \frac{2*0.5}{\Delta t_1}$

### II - Mesure de la vitesse de la lumière dans la résine

**1** - Refaites les consignes **1** et **2** de la première expérience.

**2** - Placez les miroirs à une distance de 0.29 mètre.

**3** - Placez le bloc de résine dont la longueur est de 0.29 mètre sur le trajet de la lumière.

**4** - Mesurez la valeur du décalage en temps. On notera  $\Delta t_1$  ce décalage.

La vitesse  $c$  de la lumière dans la résine est donnée par la formule  $c = \frac{2*0.29}{\Delta t_1}$

### III - Mesure de la vitesse de la lumière dans l'eau

- 1 - Refaites les consignes 1 et 2 de la première expérience.
- 2 - Placez les miroirs à une distance de 1 mètre.
- 3 - Notez la valeur du décalage en temps  $\Delta t_1$ .
- 4 - Placez le tube d'eau dont la longueur est de 1 mètre sur le trajet de la lumière
- 5 - Mesurez la valeur du décalage en temps  $\Delta t_2$ .
- 6 - Le temps de parcours de la lumière dans l'eau est  $\Delta t = (\Delta t_2 - \frac{\Delta t_1}{2})$
- 7 - La vitesse  $c$  de la lumière dans l'eau est donnée par la formule  $c = \frac{1}{\Delta t}$

Répondez aux questions suivantes :

Les mesures de distances et de temps, telle que vous les avez faites en suivant les protocoles expérimentaux, sont des mesures exactes (il n'y a pas de système particulier dans le boîtier ou l'oscilloscope) pourtant quand vous avez fait les mesures :

- la lumière parcourt une distance entre les deux miroirs,
- il y avait une distance entre le zéro de la règle et l'émetteur de la lumière (ou le récepteur),
- il y avait une distance entre les miroirs et l'extrémité du bloc de résine ou du tube d'eau,
- le bloc de résine ou le tube d'eau dépassaient le zéro de la règle.

Dites en quoi tous ces facteurs n'ont pas eu d'effet sur les mesures (telles que vous les avez faites en suivant les protocoles) des distances et des temps.

Maintenant à partir des trois protocoles et des questions précédentes, essayez d'en tirer **une méthode générale** qui permette d'avoir une mesure précise du temps mis par la lumière pour parcourir une distance donnée dans un milieu transparent.

### Protocole 4

D'une façon générale, la vitesse de la lumière dans un milieu transparent (notée  $c$ ) se calcule par la formule  $c = \frac{L}{\Delta t_1}$  où  $L$  représente la distance parcourue par la lumière dans ce milieu et  $\Delta t_1$  le temps de parcours mesuré à l'oscilloscope.

Mais ici le problème est que les positions de l'émetteur et du récepteur ne sont pas connues avec précision, d'autre part la forme particulière des miroirs ajoute une distance supplémentaire pour le trajet de la lumière.

Pour mesurer le temps que met la lumière à parcourir une distance donnée dans un milieu transparent, on vous propose trois manipulations ; *à partir des trois expériences que vous allez réaliser, vous aurez à essayer de formuler une **méthode générale** qui permet de mesurer **précisément** le temps mis par la lumière pour parcourir une distance donnée dans un milieu transparent.*

### I - Mesure de la vitesse de la lumière dans l'air

- 1 - Vous placez les miroirs sur la position zéro de la règle graduée.
  - 2 - Vous tournez le bouton appelé « déphaseur » qui est sur le boîtier et ce jusqu'à ce que les deux courbes soient en phase.
- Faites un schéma en rouge** du trajet parcouru par la lumière correspondant à cette mise à zéro.
- 3 - Vous placez les miroirs à 0.5 mètre.
  - 4 - Vous relevez la valeur du décalage en temps entre les deux courbes qui sont visualisées sur l'écran de l'oscilloscope.

**Sur un même schéma tracez en vert** le trajet parcouru par la lumière correspondant au décalage en temps que vous avez mesuré.

On notera  $\Delta t_1$  ce décalage. Le temps effectivement mis par la lumière pour parcourir 2\*0.5 mètre dans l'air est  $\Delta t_a = \Delta t_1 / 1000$ .

On peut alors calculer la vitesse de la lumière notée  $c$  par la formule  $c = \frac{2*0.5}{\Delta t_a}$

## II - Mesure de la vitesse de la lumière dans la résine

- 1 - Refaites les consignes 1 et 2 de la première expérience.
  - 3 - Placez les miroirs à une distance de 0.29 mètre.
  - 4 - Placez le bloc de résine dont la longueur est de 0.29 mètre sur le trajet de la lumière.
- Sur un même schéma, tracer en vert** le trajet parcouru par la lumière correspondant au décalage en temps que vous avez mesuré.
- 5 - Mesurez la valeur du décalage en temps. On notera  $\Delta t_1$  ce décalage.
- La vitesse  $c$  de la lumière dans la résine est donnée par la formule  $c = \frac{2 \cdot 0.29}{\Delta t_1}$

## III Mesure de la vitesse de la lumière dans l'eau

- 1 - Refaites les consignes 1 et 2 de la première expérience.
  - 3 - Placez les miroirs à une distance de 1 mètre.
  - 4 - Notez la valeur du décalage en temps  $\Delta t_1$ .
  - 5 - Placez le tube d'eau dont la longueur est de 1 mètre sur le trajet de la lumière
  - 6 - Mesurez la valeur du décalage en temps  $\Delta t_2$ .
- Sur un même schéma tracez en vert** le trajet parcouru par la lumière correspondant au décalage en temps que vous avez mesuré.
- 7 - Le temps de parcours de la lumière dans l'eau est  $\Delta t = (\Delta t_2 - \frac{\Delta t_1}{2})$
  - 8 - La vitesse  $c$  de la lumière dans l'eau est donnée par la formule  $c = \frac{1}{\Delta t}$

*À partir des trois expériences, essayez de formuler une méthode générale qui permet de mesurer **précisément** le temps mis par la lumière pour parcourir une distance donnée dans un milieu transparent.*

Cet article a été reçu le 21/05/2002 et accepté le 30/10/2003.