

COMPTES RENDUS D'INNOVATIONS

Les répercussions d'une évaluation des capacités expérimentales dans les pratiques de l'enseignement des sciences physiques : compte rendu d'innovation

Françoise PATRIGEON

Lycée Joliot Curie
92 000 Nanterre, France.

Christiane SIMON

Lycée Jean-Jacques Rousseau
95203 Sarcelles, France.

Résumé

Cet article propose des exemples de séquences d'enseignement conçues à partir d'un même sujet d'expérience, décrivant des activités expérimentales, réalisées par des élèves, permettant des approches différentes. La réflexion s'est portée sur le contenu des travaux pratiques afin de mieux cibler leurs objectifs et d'optimiser la formation des élèves.

Mots clés : *démarche expérimentale, formation, évaluation.*

Abstract

This article presents teaching examples elaborated on the basis of the same experimental topic, describing experimental activities, carried out by pupils, making different approaches possible. We have studied practical work in order to define better their targets and optimize pupils training.

Key words : *experimental approach, training, pupils evaluation.*

Resumen

Este artículo presenta un grupo de ejemplos de secuencias de enseñanzas concebidas a partir de un mismo sujeto de experiencia, describiendo las actividades experimentales, realizadas por los alumnos, permitiendo puntos de vistas diferentes. La reflexión es dada sobre el contenido de los trabajos prácticos a fin de mejor precisar sus objetivos y de optimizar la formación de los alumnos.

Palabras claves : *procedimiento experimental, formación, evaluación.*

INTRODUCTION

Depuis quelques années, des épreuves d'évaluation d'activités expérimentales sont testées. La mise en place de ce dispositif a suscité une réflexion sur le rôle de l'expérience dans l'enseignement des sciences physiques, sur l'apprentissage des savoir-faire expérimentaux et sur la formation des élèves. Suite à un article de Michel Giuseppin, paru dans cette revue, il nous a semblé intéressant de présenter des exemples concrets d'apprentissage et de formation.

Notre participation au groupe national chargé de construire un dispositif d'évaluation des savoir-faire expérimentaux nous a amenées à réfléchir sur nos pratiques d'enseignement :

«Evaluer, oui, mais tout d'abord, former !»

Cette formation doit indiscutablement débiter en classe de seconde des lycées, voire même au collège.

Dans un premier temps, pour cibler le contenu de la formation, nous avons listé ce qu'il convenait de faire :

- apprendre à l'élève à se servir d'un matériel spécifique (multimètre, oscilloscope, burette...), afin de connaître parfaitement son utilisation,
- apprendre à l'élève à suivre un protocole simple,

– et pourquoi pas, apprendre à l'élève à imaginer un protocole...

Cette première et modeste liste étant établie, nous nous sommes alors attachées à déterminer les cadres de ces différents apprentissages.

1. QUELS TYPES DE TRAVAUX PRATIQUES (TP) RÉALISONS-NOUS AU LYCÉE ?

À partir de formulations différentes d'une même activité expérimentale, portant sur l'étude de la réfraction de la lumière en classe de seconde, nous allons essayer de clarifier et de limiter le nombre des objectifs à atteindre lors d'une séance.

Il peut être utile de préciser que la durée d'une séance est de 1h 30, l'effectif étant d'une demi-classe, soit, en moyenne, 18 élèves regroupés en «binômes».

1.1. Une séance de TP «classique»

Les séances de TP occupent une place considérable dans notre enseignement, et, bien souvent, se déroulent ainsi : l'élève, muni de sa «fiche de TP», doit effectuer un certain nombre de manipulations propres à lui faire «découvrir» les différents paramètres d'une loi. Mais les élèves savent-ils vraiment utiliser le matériel qu'ils ont entre les mains ?

N'espère-t-on pas un peu qu'ils apprennent à s'en servir en même temps qu'ils répondent à des exigences très diverses bien souvent d'ordre théorique ?

En analysant une séance de ce type, on s'aperçoit qu'on cherche souvent à induire un résultat (une conclusion d'observation, une valeur numérique, un modèle de comportement...) chez des élèves tiraillés par toutes sortes d'objectifs, et maîtrisant souvent très mal les outils mathématiques.

Dans tout l'article, le texte encadré donne le contenu de la «fiche de TP» destinée aux élèves.

CONTENU DE LA SÉANCE

Connaissances exigibles pour aborder ce contenu

Une expérience mettant en évidence le phénomène de réfraction a été montrée.

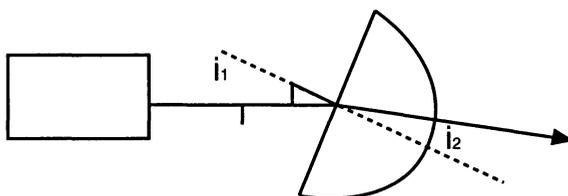
Le vocabulaire (rayon incident, rayon réfracté, angle d'incidence, angle de réfraction) a été explicité ou le sera dès le début de la séance.

Matériel

Dispositif comportant une lanterne munie d'un cache permettant d'isoler un fin faisceau de lumière, un disque gradué et un hémicylindre en plexiglas.

Calculatrice.

Schéma du dispositif



Objectif

Vérifier la loi de Descartes relative aux angles, pour la réfraction.

Protocole

Régler le dispositif de manière à ce que le faisceau lumineux pénètre dans l'hémicylindre en passant par le centre de sa face plane.

Donner à l'angle d'incidence i_1 les valeurs successives inscrites dans le tableau ci-dessous, mesurer l'angle de réfraction i_2 correspondant.

i_1	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	65,0	75,0	80,0	85,0
i_2												
$\sin i_1$												
$\sin i_2$												
$\sin i_1 / \sin i_2$												

Exploitation des mesures

- Compléter le tableau en calculant la valeur de $\sin i_1$, $\sin i_2$, puis le rapport $\sin i_1 / \sin i_2$
- Rédiger un compte rendu de manipulation dans lequel vous expliquerez vos conclusions.

COMMENTAIRES

• À propos de l'utilisation d'un matériel «tout prêt»

Le dispositif proposé, fréquent dans les classes de lycée, est conçu d'une manière ingénieuse qui échappe le plus souvent à l'élève, car il n'est amené à se poser aucune question sur le bien-fondé de son utilisation. Il faut s'assurer que l'élève a parfaitement compris comment repérer l'angle d'incidence par rapport à la normale au dioptre car bien souvent il fait l'opération de repérage par rapport à la figure sans réfléchir plus amplement.

Ce qu'on appelle «rayon» n'est en fait que la trace d'un faisceau de lumière parallèle, vertical, sur le disque gradué placé horizontalement.

À la sortie du plexiglas le rayon ne subit pas de réfraction et le rayon ressort «tout droit», c'est une astuce de conception qui peut totalement échapper à l'élève.

On sait que ce dispositif permet de bonnes conditions de mesures, le repérage des angles étant satisfaisant à chaque rotation de l'hémicylindre, puisque celui-ci est maintenu rigidement sur un disque gradué, mais sa simplicité d'utilisation n'est qu'apparente puisque la forme hémicylindrique permet une sortie du rayon sans réfraction au passage du dioptre plexiglas-air et, par ailleurs, la normale à la surface d'entrée est déjà repérée sur le disque gradué.

• À propos de l'objectif de la manipulation

Après avoir manipulé, pendant 15 minutes environ, un matériel dont il n'a pas forcément cerné tout l'intérêt, l'élève va passer le reste de la séance à faire des calculs qui le mèneront à un résultat quelque peu induit par la forme du tableau. En effet, l'objectif déclaré étant assez flou, la seule conclusion à laquelle on peut s'attendre est la suivante : la dernière ligne du tableau donne à peu près toujours le même résultat. C'est sans doute la seule découverte que l'élève peut faire au cours de cette activité !

On refuse à l'élève toute autonomie dans le déroulement de l'expérience ; on ne peut s'attendre à ce qu'il fasse preuve d'initiative dans son compte rendu en commentant judicieusement ses mesures ou en argumentant ses résultats. Le compte rendu sera le reflet de la feuille de TP, très classique, sans surprise, et ne contribuera que très faiblement à l'acquisition de savoir-faire et de méthodes.

• Comment faire évoluer nos pratiques ?

L'utilisation du temps des séances de travaux pratiques pourrait être optimisée en précisant davantage les objectifs visés au cours des activités. Nous vous proposons trois exemples d'activités expérimentales dont les objectifs respectifs diffèrent notablement.

Ainsi, selon le niveau de la classe, l'avancement du cours ou bien le matériel dont dispose l'établissement, il sera possible de choisir un type d'activité expérimentale en fonction des objectifs qui permettront de faire progresser au mieux les élèves. Il est bien entendu impossible de décliner toutes les séances de TP en trois versions d'un même thème, l'année ne suffirait plus à traiter le programme !

1.2. Des objectifs plus réalistes

Les travaux pratiques que nous réalisons au lycée peuvent s'inscrire dans trois types d'activités différentes.

1.2.1. Premier type d'activité : «Juger de la validité d'une loi»

L'objectif de ce type d'activité est de chercher un modèle mathématique qui permette d'interpréter au mieux une série de mesures et de confronter les résultats expérimentaux à l'énoncé d'une loi pour juger de sa validité dans les conditions expérimentales où l'on a travaillé.

CONTENU DE LA SÉANCE

Connaissances exigibles pour aborder ce contenu

Une expérience mettant en évidence le phénomène de réfraction a été montrée par le professeur.

Le vocabulaire (rayon incident, rayon réfracté, angle d'incidence, angle de réfraction) a été explicité ou le sera dès le début de la séance.

Matériel

Dispositif comportant une lanterne munie d'un cache permettant d'isoler un fin faisceau de lumière, un disque gradué et un hémicylindre en plexiglas.

Calculatrice ou ordinateur muni d'un logiciel tableur-grapheur.

Savoir-faire expérimentaux déjà acquis ou en cours d'apprentissage

Savoir repérer un angle d'incidence et de réfraction.

Savoir utiliser le dispositif comportant la lanterne et l'hémicylindre sur un disque gradué en degré.

Utiles pour optimiser l'objectif :

*Savoir utiliser une calculette pour faire des représentations graphiques.
ou*

Savoir utiliser un tableur-grapheur sur un ordinateur.

Objectif

Partant d'une série de mesures de couples de valeurs (i_1, i_2) chercher, parmi divers essais de modèles mathématiques, la relation entre i_1 et i_2 qui convient le mieux pour rendre compte des résultats obtenus.

Protocole

Faire les réglages nécessaires pour utiliser le dispositif dans de bonnes conditions.

Faire une série d'une quinzaine de mesures de couples de valeurs (i_1, i_2).

Exploitation des mesures

En utilisant la calculette graphique ou le tableur de l'ordinateur ou à défaut du papier millimétré, placer dans un système d'axes (i_2 vertical et i_1 horizontal) les points expérimentaux correspondant à chaque couple de mesures.

La modélisation par une droite de cet ensemble de points vous paraît-elle satisfaisante ?

Un physicien, nommé Képler, jugea devant une série de mesures telle que la vôtre que la loi $i_2 = k \cdot i_1$ pouvait assez bien convenir pour des petits angles. Qu'en pensez-vous ? Déterminer dans quel intervalle de valeurs de i_1 cette loi convient assez bien.

Un physicien nommé Descartes formula une relation de proportionnalité entre les grandeurs $\sin i_1$ et $\sin i_2$ valable pour tous les angles d'une série de mesures telle que la vôtre. Placer, dans un système d'axes ($\sin i_2$ vertical et $\sin i_1$ horizontal), les points expérimentaux.

La modélisation par une droite de cet ensemble de points vous paraît-elle satisfaisante ?

Conclusion

Quelle est la relation entre i_1 et i_2 qui traduit le meilleur accord avec l'expérience qui vient d'être menée ?

COMMENTAIRES

Bien que le matériel et son utilisation soient identiques dans les deux exemples l'esprit n'est plus le même :

– d'une part l'autonomie de l'élève est plus grande puisque l'élève doit faire les réglages préliminaires (et savoir en quoi cela consiste !) et gérer la construction de son tableau de mesures,

– d'autre part, les mesures sont davantage exploitées, l'élève ne travaille pas «en aveugle» en remplissant les cases vides d'un tableau, on lui fait emboîter le pas de grands noms de la physique, un esprit de découverte s'installe.

La question posée dans la conclusion reprend l'objectif de la séance, elle est formulée de manière précise.

On notera qu'ici c'est véritablement le modèle qui est mis en exergue, et il importe peu de faire faire des calculs de coefficients directeurs de droite aux élèves mais bien davantage de savoir si la droite sera un modèle adéquat ou non.

1.2.2. Deuxième type d'activité : «exploitation d'un modèle ou d'une loi»

L'élève connaît les lois et les modèles relatifs aux phénomènes qu'il va observer. On lui demande d'utiliser un modèle connu dans l'intention d'étudier, par exemple, l'influence d'un paramètre. Ce type de TP permet de laisser un peu plus d'autonomie aux élèves puisqu'ils sont censés posséder les outils théoriques. Ce peut être une occasion d'affermir les savoir-faire expérimentaux, l'élève étant libéré des tâches visant à des pseudo-découvertes.

CONTENU DE LA SÉANCE

Connaissances exigibles pour aborder ce contenu :

Les lois de Descartes sont connues, le phénomène de réflexion totale également.

Matériel

Dispositif comportant une lanterne munie d'un cache permettant d'isoler un fin faisceau de lumière, un disque gradué et un hémicylindre en plexiglas.

Calculatrice.

Savoir faire expérimentaux déjà acquis ou en cours d'apprentissage

Savoir repérer un angle d'incidence et de réfraction.

Savoir utiliser le dispositif comportant la lanterne et l'hémicylindre sur un disque gradué en degré.

Objectifs

Déterminer l'indice de réfraction du plexiglas en utilisant deux méthodes différentes :

- l'une nécessitant la mesure d'un angle d'incidence et d'un angle de réfraction,
- l'autre utilisant le phénomène de réflexion totale.

Réfléchir, dans chaque cas, à la précision de la mesure.

Travail à réaliser

Réaliser la première expérience :

- éclairer l'hémicylindre en plexiglas de manière à faire se réfracter la lumière sur sa surface plane,
- choisir un angle d'incidence qui permette une lecture suffisamment précise et mesurer l'angle de réfraction associé,
- en déduire une valeur de l'indice de réfraction du plexiglas.

Réaliser la deuxième expérience :

- éclairer l'hémicylindre en plexiglas de manière à obtenir un phénomène de réflexion totale sur sa face plane,
- rechercher l'angle de réfraction limite,
- en déduire une valeur de l'indice de réfraction du plexiglas.

Réfléchir aux arguments que vous pourrez apporter, lors de la mise en commun des résultats, pour faire une critique des deux méthodes expérimentales employées.

COMMENTAIRES

L'intérêt de ce type d'activité réside dans la familiarisation avec la mesure ; faire une bonne mesure, se placer dans des conditions optimales, cela s'apprend, et, le moment privilégié de cette formation est la séance de travaux pratiques où précisément une mise en commun de résultats peut s'opérer.

L'expérimentation devrait donc être suivie d'une discussion commune de la classe autour des différents résultats obtenus. Le professeur écrit au tableau les résultats de chaque poste de travail pour la première expérience.

Il demande aux élèves quel a été leur choix d'angle d'incidence et commente ce choix.

Une moyenne est calculée puis on considère la dispersion des résultats. On s'accorde sur le nombre de chiffres significatifs qu'il paraît raisonnable de conserver.

On attirera l'attention sur le fait que certains élèves peuvent avoir choisi de faire se réfracter le rayon dans le sens air-plexiglas ou bien dans le sens plexiglas-air, ils peuvent être surpris d'obtenir le même résultat pour l'indice de réfraction du plexiglas.

On reprend le même type de discussion pour la seconde expérience. Il apparaît dans ce cas une difficulté de mesure de l'angle de réfraction limite, le rayon s'étalant et devenant difficile à observer.

Une comparaison des deux méthodes peut se faire à partir des critères de facilité d'exécution et de dispersion des résultats.

1.2.3. Troisième type d'activité : «Construction d'un protocole»

L'élève part à la recherche d'un modèle ou de la valeur d'un paramètre en construisant lui-même son protocole. Il a un but à atteindre formulé d'une

phrase très simple, il a droit à l'erreur, il doit pouvoir perdre du temps, il construit son raisonnement et vérifie ses hypothèses.

Aucune liste de matériel ou de savoir-faire expérimentaux n'est donnée à l'élève afin de ne pas lui induire d'idée pour concevoir son protocole.

CONTENU DE LA SÉANCE

Connaissances exigibles pour aborder ce contenu

Les lois de Descartes sont connues, le phénomène de réflexion totale également.

Savoir faire expérimentaux déjà acquis

Savoir repérer un angle d'incidence et de réfraction.

Matériel à préparer pour répondre aux éventuelles demandes des élèves :

- cuves de différentes formes pouvant contenir de l'eau : parallépipédique, hémicylindrique, boîte de Pétri,
- eau,
- papier millimétré,
- lanterne munie d'un cache permettant d'isoler un faisceau très fin,
- planche à dessin et punaises,
- rapporteur.

Travail à réaliser

Avec le matériel de votre choix et des expériences que vous décrirez très précisément déterminer l'indice de réfraction de l'eau.

COMMENTAIRES

- Dans la situation proposée, l'élève va se heurter à certaines difficultés.

La lanterne a été volontairement désolidarisée du disque gradué pour que l'élève imagine lui-même son système de repérage. Il va devoir poser une cuve de forme judicieusement choisie, remplie d'eau, sur une feuille de papier millimétré punaisée et éclairer convenablement la cuve pour constater une réfraction.

- En ce qui concerne le professeur, l'idéal serait qu'il soit présent chaque fois qu'une erreur ou une maladresse est commise pour observer la réaction de l'élève. Il est des cas où ce dernier pourra s'en sortir seul et d'autres où le professeur devra intervenir ; c'est justement cette intervention «à la carte» qui permet de ne pas noyer l'élève sous un flot de recommandations, mais plutôt de le guider quand il en a besoin.

- La démarche proposée présente plusieurs avantages.

La feuille de TP se rétrécit singulièrement dans ce type d'activité ! Est-elle encore nécessaire ? Muni de bonnes connaissances théoriques sur le sujet qu'il aborde, l'élève part à la recherche d'un modèle ou de la valeur d'un paramètre en élaborant lui-même son protocole. Si ces TP sont bien conduits, ils devraient permettre à l'élève de vivre tous les épisodes de la pratique du chercheur, à savoir :

- 1 – identification du problème,
- 2 – formulation d'hypothèses (isolation des facteurs),
- 3 – élaboration d'un protocole,
- 4 – manipulation d'un matériel adapté dans le but de valider ou d'infirmer les hypothèses,
- 5 – conclusion.

L'identification du problème doit «induire» au chercheur les hypothèses. Ce travail d'induction se fera avec d'autant plus de créativité que les éléments propices à la «découverte» seront réunis, le hasard ayant parfois son rôle à jouer !

Cette démarche est assez séduisante, mais il faut prendre garde de ne pas céder à la tentation de tout vouloir faire découvrir à l'élève par ses propres expériences. Ce dernier n'a pas une culture scientifique assez solide et risque de s'égarer totalement en ne formulant pas des hypothèses réalistes, tant il est difficile d'induire à partir de rien ! On doit veiller à structurer la pensée de nos élèves par d'autres approches que l'expérimentation.

2. QUAND FORMER ? QUAND ÉVALUER ? ÉVALUER QUOI ?

Il est bien évident que l'on ne consacrerait pas trois séances de travaux pratiques à l'étude de la réfraction en seconde. Il est clair aussi qu'on ne peut pas soumettre l'élève à des évaluations trop répétées ; le côté ludique des séances de TP doit absolument être conservé !

Réfléchissons au cadre possible pour la formation ou l'évaluation.

Les TP de type 1 ou 2 se prêtent très bien à l'apprentissage des savoir-faire expérimentaux. Si cet apprentissage a été fait, on peut alors envisager une évaluation sommative des savoir-faire expérimentaux lors d'un TP de type 2. Dans ce cas, il faudra auparavant :

- avoir listé les critères observables propres à la manipulation,
- avoir construit une grille d'observation où apparaissent ces critères.

Comment évaluer une activité expérimentale de type 3 ? Le problème est beaucoup plus épineux... Il nous semble très difficile de réaliser une évaluation sommative sur ce type d'activité et il paraît beaucoup plus sage d'entreprendre une évaluation formative. Lors d'une activité relativement simple, comme celle qui est proposée avec la réfraction, on peut espérer observer :

- l'élaboration d'un protocole,
- l'utilisation d'un matériel,
- la gestion des résultats expérimentaux.

La difficulté que nous rencontrons pour faire une évaluation sommative de ce type d'activité (s'il faut en faire une...) est de taille : en effet, pouvons-nous réellement connaître la réflexion et les pensées de nos élèves ? Un aller-retour permanent entre l'expérience et la théorie doit leur permettre d'arriver à leurs fins. Devons-nous sanctionner une démarche qui ne soit pas tout à fait linéaire ?

3. EN GUISE DE CONCLUSION

Pour terminer cette présentation typologique des TP n'oublions pas que la formation expérimentale passe par l'utilisation du matériel et, au cours de l'année, les diverses séances de travaux pratiques devront inclure des temps d'apprentissage à l'utilisation des nouveaux instruments que l'élève rencontre. Il peut être fastidieux de passer une séance de TP complète sur ce type d'activité, mais il est néanmoins inévitable d'y consacrer du temps.

Le contrat passé avec l'élève doit être clair si on souhaite le voir acquérir de véritables compétences dans le domaine expérimental.

Quels objectifs l'enseignant doit-il se fixer pour assurer une bonne formation ?

- Former les élèves à l'utilisation du matériel.

Pour bien utiliser les instruments il faut avoir appris à le faire ; dès la classe de seconde l'élève se familiarise avec le multimètre, l'oscilloscope et

le matériel simple de chimie ; on lui apprend, sur deux ou trois séances, à utiliser les instruments et on n'évalue l'élève que lorsqu'il a acquis quelques compétences ; cette évaluation, en cours de formation, peut amener à **élaborer progressivement un guide de savoir-faire expérimentaux pour et par l'élève** allant jusqu'à la classe de terminale.

- Former les élèves à la réalisation de protocoles simples : dosage, mise en forme d'une tension à l'aide d'un oscilloscope...

Ce type d'apprentissage, nécessitant l'**enchaînement d'actes unitaires** ne sera que très modestement mis en oeuvre en classe de seconde, il se développera à mesure que les connaissances de l'élève deviendront plus complexes.

- Entraîner l'élève à une réflexion autour des expériences.

L'élève ne devrait pas toujours rester un exécutant passif des ordres écrits dans la feuille de TP conçue par le professeur ; il est certainement très fructueux de passer du temps à faire réfléchir l'élève sur le choix d'un matériel ou la conduite d'un protocole et ainsi lui permettre **d'induire ses propres hypothèses** autour de situations problèmes incluant les contraintes de l'expérimentation.

Ce travail peut se concevoir sous la forme d'un devoir écrit, collectif ou non, suivi d'une mise en commun des éléments de réflexion du groupe, conduisant à la mise en oeuvre d'expériences réalisées par les élèves.

- Observer l'élève lorsqu'il tâtonne.

À l'issue du travail de réflexion décrit précédemment on peut aller encore plus loin dans l'apprentissage en amenant l'élève à réaliser un protocole, même imparfait, qu'il a choisi lui-même, afin qu'il puisse **tirer un enseignement de ses erreurs**. Pour que cet apprentissage soit efficace il importe que l'enseignant soit très vigilant sur le travail de l'élève et mène une observation non seulement des gestes accomplis mais aussi de la démarche adoptée.

- Fournir à l'élève quelques occasions de travailler seul.

Une prise de conscience de son niveau personnel est indispensable aux progrès de l'élève, et c'est au cours d'un **travail autonome** qu'il sera capable de s'apprécier à sa juste valeur.