

Ces dernières années ont vu se mettre en place en France des épreuves écrites d'analyse de protocoles expérimentaux à l'examen de fin d'études secondaires (baccalauréat) ; des épreuves d'évaluation d'activités expérimentales sont actuellement testées. Cette mise en place a suscité des réflexions sur la place des activités expérimentales dans l'enseignement des sciences physiques. Michel Giuseppin nous fait part ici de son point de vue forgé dans son expérience de l'enseignement supérieur et secondaire et dans sa pratique de professeur d'École Normale puis d'Inspecteur Pédagogique Régional.

Place et rôle des activités expérimentales en sciences physiques

Michel GIUSEPPIN

Rectorat de l'Académie
Place Saint Jacques
31073 Toulouse cedex, France.

Résumé

Ce point de vue propose une analyse des différentes fonctions des activités expérimentales dans un enseignement de sciences physiques. Sont explicités les apports spécifiques des expériences réalisées par l'enseignant et les différentes perspectives dans lesquelles peuvent s'inscrire les activités expérimentales des élèves. Des propositions concernant le développement de démarches expérimentales sont formulées.

Mots clés : activités expérimentales, modélisation, professeur, élèves.

Abstract

This point of view proposes an analysis of the different functions of experimental activities in physics and chemistry teaching. The specific characteristics of demonstrations done by the teacher and those of the students' labwork are made explicit. Propositions concerning the development of experimental methods are formulated.

Key words : *experimental activities, modelisation, teacher, pupils.*

Resumen

Este punto de vista propone un análisis de las diferentes funciones de las actividades experimentales en la enseñanza de la física. Son explicitados los aportes específicos de las experiencias realizadas por el enseñante y las diferentes perspectivas en las cuales pueden inscribirse las actividades experimentales de los alumnos. Algunas proposiciones concernientes al desarrollo de procedimientos experimentales son formuladas.

Palabras claves : *actividades experimentales, modelización, profesor, alumnos.*

«Les sciences physiques étant une discipline expérimentale, il faut accorder beaucoup d'importance aux activités pratiques» est une phrase très souvent prononcée, qui revient comme un slogan dans de nombreux propos ou documents. S'agit-il d'un postulat, d'une mode, d'une conviction ? Avant de répondre à cette interrogation, il est possible de l'aborder d'une autre manière, en posant la question suivante : que serait l'enseignement des sciences physiques s'il n'y avait aucune approche expérimentale ? Les sciences physiques seraient alors l'objet d'une approche privilégiant l'aspect mathématique ; la confrontation des résultats avec la réalité serait alors difficile voire impossible. L'activité principale demandée aux élèves serait la résolution d'exercices de physique et de chimie. Devant un problème simple, la question immédiate que se poserait l'élève serait le plus souvent «quelle formule appliquer ?». Pour une situation problème plus complexe, la démarche s'apparenterait beaucoup à celle des mathématiques. Aux difficultés propres à cette discipline s'ajouterait celle de donner un sens physique à chacun des paramètres $x, y, z...$ de la fonction $f(x, y, z...)$ décrivant la situation étudiée. Un enseignement de sciences physiques qui n'aurait aucun support expérimental ne réussirait qu'à une élite apte à conceptualiser dans l'abstraction.

La description d'une situation expérimentale ne saurait remplacer l'observation réelle. Il me sera impossible d'oublier l'expression d'un collègue camerounais qui, voyant pour la première fois un télésiège lors d'une sortie dans les Pyrénées, eut la révélation de ce que pouvaient être ces fameux angles α (angle du sol avec le plan horizontal) et β (angle de la canne du télésiège avec la verticale). Si ce seul exemple ne saurait tenir lieu de démonstration, nous avons tous de tels exemples en mémoire. Me viennent également des souvenirs de mes difficultés liées à la géométrie dans l'espace, pour l'étude de problèmes de mécanique : la seule vue du dispositif m'aurait sans doute apporté une aide sensible dans la résolution du problème.

Qu'apportent les activités expérimentales ? Grâce à de nombreux allers-retours entre la réalité et sa modélisation, elles doivent permettre à une plus grande population d'élèves d'accéder à un bon niveau de conceptualisation. Les réflexions qui suivent, destinées à illustrer cette affirmation, doivent être placées dans un mouvement d'évolution générale affectant toutes les disciplines. Il pourrait, pour les sciences physiques, se traduire par le passage lent et progressif du «dire» au «faire» puis du «faire» au «faire faire».

En effet, l'enseignement de sciences physiques a été influencé par les apports des recherches didactiques des deux dernières décennies. La mise en place d'activités d'éveil dans les programmes de l'enseignement élémentaire a donné naissance à de nombreuses expériences pédagogiques auxquelles les professeurs de sciences physiques des Écoles Normales ont pris une part active. L'idée que l'élève doit être acteur de la construction de son savoir a germé sur ce terrain favorable. J'ai ainsi été témoin de situations dans lesquelles des élèves de CM1 et CM2 d'un tout petit village de campagne parvenaient, après deux séances de 45 minutes chacune, à estimer la durée du jour et de la nuit pour une ville donnée et une date donnée, ceci avec un globe terrestre, un projecteur de diapositives et quelques gommettes. J'aurais eu du mal à admettre un tel résultat si je n'en avais été témoin.

Les liens entre les Écoles Normales d'Instituteurs et les centres de formation de Professeurs de Collèges (PEGC) se sont établis ensuite. A ainsi diffusé dans l'enseignement des sciences physiques au collège l'idée que les élèves devaient être actifs et acteurs dans la construction de leur savoir.

Une classification élémentaire nous amène à faire la distinction entre activités expérimentales réalisées par le professeur et activités expérimentales réalisées par l'élève. Le terme d'activités expérimentales est préféré à celui de travaux pratiques (TP), car il est beaucoup plus général.

1. ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES ILLUSTRANT UN COURS

Elles se présentent sous la forme d'expériences disposées sur la paillasse, préparées à l'avance par le professeur. Elles ont comme objectif d'illustrer le concept ou la loi étudiée. Elles sont conçues exclusivement par le professeur. Quel est leur apport ?

- **Elles permettent une première approche qualitative du concept étudié.**

Cette approche qualitative est indispensable pour donner du sens à un concept. Le passage par le qualitatif est un point d'ancrage nécessaire à une majorité d'élèves. En son absence, on risque d'apporter aux élèves des réponses à des questions qui n'ont même pas été posées. Cette phase devrait permettre d'identifier les paramètres pertinents dans une situation donnée.

Quelle réalité aurait le phénomène d'induction électromagnétique s'il n'était pas introduit par des expériences qualitatives ? Quelle représentation du phénomène d'interférences ou de diffraction peut se faire un élève s'il n'a pas la possibilité d'observer les franges correspondantes et le dispositif expérimental qui permet de les obtenir ? Comment faire apparaître la différence de comportement entre un acide faible et un acide fort sans une petite expérience qualitative ? Il me semble que ce serait une erreur grave de court-circuiter cette première approche lorsqu'elle est possible, car elle permet à une majorité d'élèves de donner du sens à l'étude quantitative qui va souvent suivre.

- **Elles permettent de faire naître l'étonnement.**

Une démarche scientifique devrait s'appuyer sur le couple «étonnement - questionnement». L'expérience de cours peut déclencher cette dynamique. Pour cela il faut que le professeur joue le rôle de metteur en scène d'événements qu'il maîtrise parfaitement mais qui étonnent ses élèves. Il doit choisir les événements les plus appropriés à la problématique qu'il veut mettre en place. Le questionnement qui en découle est propice à l'émission d'hypothèses. Cette étape de formulation d'hypothèses, peu présente dans nos classes, développe la curiosité, l'imagination et la créativité des élèves. Il faut donc y apporter toute l'importance qu'elle mérite.

- **Elles permettent d'illustrer la démarche de structuration.**

Lorsqu'ils font leurs premiers pas dans l'apprentissage des sciences physiques, les élèves ne sont pas en mesure de pouvoir déduire toutes les conséquences de l'observation d'une expérience (quantitative ou qualitative). Il y a un apprentissage nécessaire. Apprendre à observer, c'est-à-dire sélectionner des faits expérimentaux, n'est pas une démarche intellectuelle spontanée. Cette démarche d'abord faite par le professeur, en interaction

constante avec la classe, permet aux élèves de comprendre le cheminement de la pensée entre les observations et les lois qui sont étudiées.

- **Elles permettent de réaliser des expériences particulières.**

Certaines situations expérimentales ne se prêtent pas à une expérimentation par tous les élèves. C'est le cas lorsque le dispositif expérimental n'existe qu'en un seul exemplaire (mouvement des particules dans des champs électriques ou magnétiques) ou lorsque les expériences sont dangereuses (réactions chimiques faites sous la hotte aspirante). L'expérience d'illustration de cours devient alors inévitable.

Dans ce domaine on peut également citer les expériences de saisie et de traitement automatique de données par un ordinateur lorsque l'établissement n'est pas doté d'une salle entièrement dédiée à l'EXAO. L'apport de l'ordinateur est tout à fait différent suivant qu'il est utilisé en illustration de cours ou qu'il est à la disposition des élèves. La rapidité de la saisie et du traitement des données permet au professeur de réaliser des séries de mesures permettant des comparaisons rapides sur le rôle d'un paramètre donné.

Nous avons souligné certains apports de l'expérience d'illustration de cours, il en existe sans doute d'autres. Nous allons maintenant tenter d'en cerner les limites.

Les limites des activités expérimentales illustrations de cours

Ces limites proviennent essentiellement des deux caractères intimement liés à la fonction de ces activités expérimentales : c'est le professeur qui conçoit le dispositif expérimental, c'est lui qui le réalise, même si parfois il sollicite l'aide ponctuelle d'un élève pour compléter le montage ou pour faire une mesure. Si le travail de conception est essentiel, la mise au point définitive du protocole expérimental est une phase particulièrement formatrice pour celui qui la réalise. Le choix des valeurs à donner aux paramètres résulte d'une analyse fine du modèle étudié et les derniers réglages d'un dispositif expérimental ont souvent consolidé les connaissances de celui qui les a faits. Les professeurs de sciences physiques savent à quel point la préparation d'une séance de travaux pratiques les amène à préciser leurs connaissances dans le domaine considéré. Je citerai ici un exemple personnel. Préparant pour un stage une expérience appelée « oscillateur à résistance négative », je plaçai dans le dispositif un potentiomètre 0-100 Ω pour « compenser » la résistance de la

bobine : 23 Ω . Après une heure d'essais infructueux, j'ai changé de potentiomètre pour un 0-1000 Ω : et cela a marché ! Explication : à la fréquence de l'oscillateur, la résistance de la bobine était de 133 Ω ; il me restait à comprendre pourquoi...

2. ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES RÉALISÉES PAR LES ÉLÈVES

Nous n'allons pas faire la distinction classique en TP et «TP-cours», mais nous allons plutôt considérer les activités expérimentales destinées à vérifier un modèle élaboré en cours, les activités expérimentales visant à découvrir et construire un modèle et les activités expérimentales ayant pour objectif d'utiliser un modèle dans la résolution d'une situation-problème.

- **Les activités expérimentales destinées à vérifier un modèle**

C'est la situation qui est rencontrée le plus couramment. Le professeur établit pendant son cours un modèle, soit par une démonstration, soit à l'aide d'expériences. La séance de travaux pratiques qui suit sera destinée à vérifier ce modèle. Une phrase des plus entendues est alors : «vous verrez ceci en TP».

La séquence d'activités expérimentales est souvent construite de manière à faire étudier séparément chaque paramètre intervenant dans le modèle. L'appareillage est parfois entièrement conçu et dédié à cette étude. Ainsi la platine prévue pour l'étude des mouvements circulaires uniformes permettait de pouvoir étudier la relation $f = m \omega^2 r$ en faisant varier successivement m (à ω et r constants), puis ω (à m et r constants) et enfin r (à ω et m constants). Ce montage reste un grand classique des épreuves orales du CAPES de sciences physiques.

On peut s'interroger sur l'intérêt de ce type d'activités. En fait, la séance de TP est centrée sur la question suivante, qui n'est jamais explicitement formulée : «telle loi est-elle vraie ?». Si la loi était fautive, il est évident qu'elle ne serait pas étudiée en cours, alors pourquoi ce type d'activités expérimentales ? Encore une fois, il est intéressant que l'élève puisse appuyer la construction de son savoir sur des situations concrètes. Les mesures faites vont permettre de mieux ancrer le modèle : dans l'exemple précédent, il est difficile d'évaluer qualitativement des vitesses de rotation. Les savoir-faire expérimentaux liés aux techniques de mesurage ne doivent pas être négligés. Ainsi dans l'exemple de la platine, il faut être vigilant sur la manière de mesurer l'allongement du ressort, sur la mise au

point de certains réglages afin que le ressort ne vienne buter sur des supports qui vont modifier l'allongement. L'évaluation de la précision des mesures est aussi importante et formatrice.

Il est possible de rendre ce genre d'activités plus riche en décidant par exemple de faire étudier les limites de validité d'un modèle théorique. La question centrale du TP est ainsi déplacée et devient : «telle loi est-elle toujours vraie ?» Les exemples sont multiples dans tous les domaines de la physique, comme de la chimie. Nous n'allons pas en donner. La recherche des limites de validité d'un modèle fait appel à la créativité et l'imagination de l'élève.

- **Les activités expérimentales exploitant un modèle**

On se propose cette fois de déterminer la valeur d'un paramètre x en utilisant un modèle qui dépend de ce paramètre. Nous allons citer quelques exemples : détermination de la valeur de la capacité d'un condensateur ou de l'inductance L d'une bobine, détermination de la concentration d'une solution d'acide ou de base, etc.

Ce type d'activités expérimentales constitue une véritable situation-problème. Si aucune méthode n'est imposée, les solutions peuvent être variées. Voilà une situation qui ne met pas le professeur dans une position très confortable. Lorsque la solution n'est pas donnée, elle est rarement unique et donc elle peut être choisie parmi plusieurs, le critère de choix étant lié aux contraintes matérielles. On peut même envisager de mettre en compétition plusieurs méthodes pour les classer suivant la précision du résultat, la facilité de mise en œuvre. Ce type de TP n'est possible qu'en fin de cycle d'études, les élèves devant posséder une culture scientifique suffisante pour être en mesure de mobiliser un ou plusieurs modèles qui permettent de répondre à la question initialement posée. Ce type de démarche devrait être plus fréquemment employé par les professeurs de sciences physiques.

- **Les activités expérimentales permettant de construire et structurer un modèle**

C'est sans doute la démarche la plus riche et la plus proche de la nature propre des sciences physiques. C'est celle qui développe le plus l'intuition, l'imagination, la créativité des élèves. C'est aussi celle qui s'appuie le plus sur leur étonnement. Mais c'est la démarche qui risque de prendre le plus de temps.

Il est possible d'imaginer plusieurs niveaux dans cette démarche, mais ils ont en commun quelques étapes fondamentales. À mon avis, le déroulement des activités expérimentales des élèves devrait faire apparaître les quatre phases suivantes :

- la formulation de la situation-problème,
- la mise au point du protocole expérimental,
- la réalisation du protocole expérimental,
- l'exploitation des résultats.

a. Formulation de la situation-problème

L'activité expérimentale part d'une interrogation, d'un questionnement dont les élèves ne connaissent pas la réponse : le titre du TP peut être une phrase interrogative. La formulation de la question peut être faite directement par le professeur, provenir d'une question apparue lors d'un cours ; elle peut également être introduite par une courte discussion entre le professeur et sa classe. La formulation doit être très précise et bien prise en compte par tous les groupes d'élèves. Prenons un exemple.

– Que se passe-t-il dans un circuit R-L-C série soumis à une tension sinusoïdale ? (question volontairement ouverte)

– Les élèves vont émettre des hypothèses (une situation d'observation de classe m'a montré qu'ils s'attendaient à ce qu'un signal alternatif amorti circule dans le circuit : ils venaient d'étudier les oscillations amorties la semaine précédente). La mise en œuvre d'une première expérience qualitative rapide permet de constater que la réponse est sinusoïdale, non amortie, de même fréquence que la tension excitatrice (la conception du montage et sa réalisation peuvent être faites par les élèves).

La formulation du problème initial devient plus précise.

– La fréquence des oscillations du circuit est-elle la même que celle des oscillations amorties ?

– La valeur de la fréquence de la tension délivrée par le générateur a-t-elle une influence sur les valeurs des grandeurs électriques que l'on peut mesurer ?

Comment mettre en évidence qualitativement puis quantitativement ces variations ? Quels paramètres faire varier ?

Sachant que la réponse d'un circuit donné est la première préoccupation, on peut faire varier soit la tension efficace de la tension excitatrice et maintenir la pulsation constante, soit maintenir constante la

tension efficace et faire varier la pulsation. On connaît bien les modèles qui sont ainsi mis en évidence dans l'un et l'autre cas.

La formulation deviendra alors extrêmement précise.

– Comment varie l'intensité efficace dans un circuit R-L-C série lorsque la tension efficace excitatrice seule varie ?

– Comment varie l'intensité efficace dans un circuit R-L-C série lorsque la pulsation de la tension excitatrice seule varie ?

Cet exemple montre que les diverses étapes de la formulation d'un problème à résoudre par une activité expérimentale doivent être adaptées à chaque cas. Bien sûr, si la première formulation est ouverte, elle doit être l'occasion d'un débat, collectif ou au sein de chacun des groupes de TP. On devrait ainsi arriver à une question simple, mais dont la réponse donne souvent lieu à plusieurs protocoles expérimentaux.

b. Mise au point du protocole expérimental

Les activités proposées par le professeur ou les élèves sont conçues dans le but de répondre au problème posé. Si la réponse nécessite la formulation de plusieurs hypothèses, le protocole expérimental doit bien cibler chaque hypothèse.

Dans l'exemple précédent, le montage, le déroulement du protocole sont fonction de l'angle d'étude choisi. L'organisation et la présentation des résultats doivent également être prévues.

Une question essentielle se pose ici. Quelle part laisser à l'élève dans la conception même du protocole expérimental ? On a déjà souligné l'importance de cette phase. Des visites de classes m'ont montré que ce qui paraît totalement utopique pour un professeur est simplement osé pour un autre. La conception d'un protocole expérimental est une phase de réflexion qui mobilise l'ensemble des connaissances acquises à un instant donné. Le choix des mesures à faire, des appareils de mesure, des domaines de variation n'est jamais le fait du hasard. Dans l'exemple précédent, la mesure de l'intensité efficace peut être faite avec un ampèremètre ou indirectement avec l'oscillographe, celle de la fréquence peut être faite à l'oscillographe, lue sur certains générateurs BF, mesurée avec un fréquencemètre. Pourquoi ne pas laisser réfléchir l'élève sur ces choix ? Entre quelles valeurs faut-il faire varier un paramètre pour mettre en évidence les phénomènes intéressants ? En chimie, lors d'un dosage avec indicateur coloré, une première manipulation rapide permet de limiter le domaine à étudier. Une deuxième manipulation précise permet de mieux encadrer le domaine d'équivalence. Cette méthode est plus rare en physique. Dans l'exemple ci-dessus, on pourrait imaginer une mise en

évidence rapide de l'existence d'un maximum pour la fonction $I_e(\omega)$, suivie d'une étude plus précise de ce maximum dans un deuxième temps. Ce n'est pourtant pas une pratique courante.

L'argument «perte de temps» est le plus invoqué lorsque l'on débat de la question précédente. L'enseignement optionnel en classe de seconde (IESP) et surtout en première S (Scientifique) constitue un espace de liberté aujourd'hui encore plus ou moins bien utilisé. Les objectifs d'un enseignement optionnel devraient, me semble-t-il, privilégier l'approche méthodologique et donner une certaine souplesse dans la gestion du temps.

c. Exploitation des résultats

L'exploitation des résultats peut prendre des formes tout à fait différentes. Citons-en quelques-unes :

– la structuration permettant de mettre en évidence le modèle (quantitativement ou qualitativement) est faite par le professeur, en interaction avec les groupes, à partir de la confrontation des résultats de chaque groupe en synthèse de la séance de travaux pratiques ;

– la modélisation est tentée par les élèves eux-mêmes, le professeur conduit alors une courte structuration finale ;

– le professeur utilise les résultats fournis par les activités expérimentales pour proposer sous forme d'exercice le modèle qu'il veut faire construire ;

– le professeur utilise en cours les résultats fournis par l'expérimentation pour mettre en évidence le modèle et sa justification théorique.

Il n'y a pas de hiérarchie dans la présentation qui précède : le choix dépend de la durée du TP, de la difficulté à modéliser, de l'avancement du cours...

L'apparition de l'ordinateur apporte dans ce domaine des possibilités encore mal exploitées, mais comporte également certains dangers. La rapidité de calcul de ces machines leur permet de faire émerger un modèle mathématique de manière quasi instantanée, dès l'entrée des données, comme il permet de mettre en mémoire les modèles théoriques. Si l'élève n'a pas suffisamment de recul par rapport à ces processus élémentaires, des confusions peuvent naître dans son esprit.

d. Conditions de réussite

La réussite d'une telle démarche exige l'adhésion du professeur. Elle ne peut être mise en place que progressivement si les élèves n'ont pas eu

l'habitude de travailler ainsi. Mon expérience personnelle me porte à penser qu'elle nécessite un document écrit distribué aux élèves. Ce document doit être élaboré avec le plus grand soin. Il doit favoriser le questionnement de l'élève, de manière à lui permettre de construire une réponse convenable. La forme du document doit évoluer en fonction de l'avancement de l'année et de la scolarisation de l'enfant. Si un document à trous peut être envisagé au collège et en classe de seconde, il est évident qu'en classes de première S et de terminale S, le document doit permettre à l'élève d'élaborer un compte-rendu des activités expérimentales en lui demandant de répondre aux questions qu'il comporte.

Les avantages d'un document écrit, bien fait, sont énormes ; il permet à chaque groupe :

- d'être en situation d'autonomie,
- d'aller à sa propre vitesse.

Le document peut être à géométrie variable : un noyau dur d'activités à faire réaliser par tous les élèves, des prolongements réservés à ceux qui vont plus vite et qui veulent aller plus loin.

3. QUELLE RELATION ENTRE ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES, COURS ET EXERCICES ?

Cette question a été abordée précédemment. Suivant le choix qui a été fait de commencer par l'expérimentation ou par l'exposé de la théorie, la relation entre le cours et les TP est différente. En tout cas l'ensemble doit constituer une unité cohérente dans la progression du professeur. Cette unité doit se retrouver dans les traces écrites conservées par les élèves. Lorsque l'on observe un cahier ou un classeur d'élève, il n'est pas rare de trouver le cours dans une première partie, les exercices dans une deuxième, les comptes-rendus de TP dans une troisième et les contrôles de connaissances ailleurs. Et pourtant chaque paragraphe constitue une entité qui comprend les résultats théoriques, les résultats expérimentaux, les exercices d'application. Pour assurer une bonne harmonie à cet ensemble, il semble évident que quelques exercices doivent être en relation avec l'activité expérimentale. En effet, pour consolider un modèle que l'on vient d'établir, les premières utilisations de ce modèle doivent être voisines des conditions expérimentales de son élaboration ou de sa validation. Il deviendra ensuite plus facile de faire utiliser le modèle dans des conditions différentes, demandant un effort de réinvestissement.

4. CONCLUSION

Par le passé, l'enseignement de sciences physiques s'est souvent résumé à l'apport de réponses toutes prêtes à des questions que les élèves ne se posaient pas. Les activités expérimentales avaient un rôle secondaire limité à la vérification des modèles exposés ou démontrés en cours. Les élèves n'étaient pas en mesure de faire le lien entre l'objet de l'étude et l'immensité de ses applications dans le monde naturel ou technologique. L'excès de formalisme a mis les sciences physiques en compétition avec les mathématiques et lui a fait perdre en grande partie son identité propre.

Les sciences physiques ont pour vocation profonde la modélisation du comportement du monde naturel et du monde des objets. La place du modèle est essentielle et centrale : son formalisme mathématique doit être connu et les élèves doivent être en mesure de l'utiliser directement et indirectement. Comment faire pour que cette construction soit solide à long terme ? Les allers-retours entre activités expérimentales, déductions théoriques, réinvestissement à l'aide de situations différentes décrites dans des exercices doivent conduire à de telles constructions.

Dans de nombreuses disciplines, la construction du savoir se fait en donnant aux élèves les moyens d'agir sur les objets que manipule cette discipline et en structurant les concepts qui s'y rattachent. Pourquoi les sciences physiques refuseraient-elles cette démarche ? Les activités expérimentales nous offrent des possibilités extraordinaires d'entrer dans cette dynamique, à condition de ne pas tomber dans un activisme artificiel. Si l'enseignant est conscient que toute manipulation, tout protocole, toute expérience sont destinés à consolider un modèle, une loi et à éclairer le lien profond entre l'activité expérimentale et la théorie, il retrouvera le plaisir de donner le goût des sciences physiques aux futures générations et de les former.