

Un enseignement concret et attractif de la physique doit-il être avant tout expérimental, théorique ?

Édith SALTIEL

LDPES Université Denis Diderot
Case 7021 - Tour 24
2, place Jussieu
75251 Paris cedex 05

Parmi les métiers du physicien, figure celui d'enseignant de sciences physiques qui a pour mission d'aider les futurs citoyens que sont les élèves à acquérir une culture scientifique et technique. Quel type de physique doit-on enseigner à tous ces élèves dont peu deviendront physiciens ? On peut distinguer, en ce qui concerne l'enseignement de la physique au niveau secondaire, trois types de positions, toutes très intéressantes.

L'enseignement est trop formaliste et dogmatique et nie la réalité : la physique est avant tout une science expérimentale. Nous n'insistons pas suffisamment sur la méthode expérimentale, sur l'observation, les expériences, les renvois à la physique quotidienne : voir le plaidoyer de P. Bergé pour l'enseignement expérimental de la physique où il insiste sur le fait qu'il faut partir de l'observation et l'expérimentation, remède sûr et efficace (Bergé, 1991).

D'autres, comme B. Diu, trouvent que ce type de propositions est par trop naïf et que *« cette démarche nie implicitement la réalité : la physique est avant tout une « science théorique ». Concrètement, en montrant aux élèves de belles manips, on éveillera peut-être chez eux de l'intérêt, mais on les trompe sur la marchandise : ils ne deviendront physiciens que s'ils ont le goût de, et des capacités pour, l'abstraction. »*

D'autres enfin constatent les difficultés rencontrées et par les enseignants et par les élèves, les échecs des différentes réformes faites de par le monde, et se demandent si la physique est une discipline enseignable : compte tenu de la difficulté de la physique, est-il raisonnable d'enseigner cette discipline très tôt, ne faut-il pas attendre que les élèves aient acquis des capacités d'abstraction, des outils théoriques suffisants pour commencer l'étude de la physique ? M. Hulin a été le premier à introduire cette idée ; mais notons bien qu'il parlait de la physique qui se fait dans les laboratoires, c'est-à-dire de la physique qui se fabrique, se crée, avec ses allers et retours entre expérimental et théorique.

Pour les chercheurs, la physique a ce double aspect : on peut en effet aussi bien considérer que c'est une science expérimentale qui a besoin de modèles théoriques ou une science théorique qui est fondée sur des faits expérimentaux (voir la conférence de A. Guinier sur le rôle de la théorie et de l'expérience en physique).

Si ces aspects complémentaires de l'expérimental et du théorique sont bien perçus en ce qui concerne la recherche, il n'en est pas de même pour l'enseignement. Pour enseigner la physique, faut-il un enseignement à dominante concrète, expérimentale, théorique ? Qu'est-il important de faire acquérir : des capacités d'abstraction, une démarche expérimentale ? Pour cela faut-il montrer des phénomènes physiques de la vie courante, montrer des expériences spécifiques, tenter de modéliser... ? Je voudrais ici rappeler que les réponses à toutes ces questions ne sont pas immédiates et que les certitudes dans ce domaine sont, contrairement à ce qu'affirment la plupart des gens, peu nombreuses et, en tout cas, loin d'être des évidences. Premier constat : il n'y a pas une méthode miracle qui permette de résoudre tous les problèmes rencontrés ; en effet, si elle existait, il y a longtemps qu'elle aurait été trouvée !! Deuxième constat : **tout individu n'est pas un réceptacle** dans lequel s'entassent des connaissances. Il ne suffit de faire un cours clair et bien structuré pour que les connaissances ainsi communiquées soient elles-mêmes, dans la tête de celui qui écoute, bien structurées. Tout être humain construit et structure ses connaissances à l'aide d'un certain nombre d'activités, activités pouvant être suscitées tant par l'expérience quotidienne que par l'activité scolaire et extrascolaire.

1. L'ENSEIGNEMENT DE LA PHYSIQUE DOIT-IL ÊTRE AVANT TOUT CONCRET, EXPÉRIMENTAL ET BASÉ SUR L'OBSERVATION ?

Je voudrais, à l'aide de trois exemples, montrer qu'un enseignement de physique ne peut pas être avant tout expérimental et basé sur l'observation.

1.1. Exemple d'électrocinétique

Des études de didactique de la physique ont montré que les jeunes élèves raisonnent en termes de courants antagonistes. Ainsi, quand une ampoule est reliée à une pile, certains élèves pensent que l'ampoule s'allume par suite de la rencontre de courants issus de chacun des pôles de la pile. Un remède consiste à réaliser une expérience en plaçant de part et d'autre de l'ampoule un ampèremètre, les ampèremètres déviant tous les deux dans le même sens. Ce fait expérimental, reconnu par tout un chacun, n'est pas contesté. Le problème apparaît lorsqu'on affirme que cette expérience démontre (ou même montre) que le courant électrique va dans un seul sens. En effet, on peut en toute rigueur l'interpréter en termes de courants antagonistes (voir également l'interprétation d'Ampère, 1820). Joshua et Dupin ont essayé, à l'aide de cette seule expérience, de convaincre, sans succès, des élèves de collège que le courant, dans un circuit série, n'avait qu'un seul sens (Joshua & Dupin, 1989).

Retenons de ceci que l'interprétation des faits observés suppose déjà une certaine conceptualisation du courant électrique et de la notion de circuit, et donc un certain niveau d'abstraction. Si, pour nous, il est évident que cette expérience "montre" que le courant électrique va dans un seul sens, c'est tout simplement parce que nous avons déjà construit un modèle du circuit électrique et acquis un certain concept de courant électrique. Méfions-nous, quand on parle d'enseignement, d'une confusion fréquente entre faits expérimentaux et interprétation de ces faits. On ne déduit pas de l'expérience telle théorie, on en déduit que le fait observé est ou non incompatible avec cette théorie, ce qui est très différent.

1.2. Exemple de relativité

Un exemple bien connu est celui "du mouvement de la terre autour du soleil". L'observation quotidienne est incontestablement que "**le soleil tourne autour de la terre**", et pourtant ce fait expérimental est pratiquement rejeté par une entourloupette qui consiste à dire que cette observation est une **apparence**, voire une illusion. Ce qui débouche sur des questionnaires où il est demandé aux gens de choisir entre les deux phrases suivantes : "*la terre tourne autour du soleil*" ou "*le soleil tourne autour de la terre*" en disant laquelle est vraie, et de s'étonner des résultats !

Nous constatons ici qu'une théorie mal vulgarisée peut amener les gens à dire qu'incontestablement la terre tourne autour du soleil et que le fait

expérimental quotidien est une illusion, alors que nos ancêtres déclaraient réels les mouvements observés depuis la terre. L'interprétation d'une observation, d'un fait expérimental incontesté est liée à une abstraction et à une théorie.

1.3. Exemple de mécanique

M. Goffard, enseignante de physique dans un lycée parisien, propose à des élèves de terminale une séance de travaux pratiques au cours de laquelle ils doivent, après avoir réalisé l'expérience, décrire ce qu'ils ont observé et ce qu'ils peuvent déduire des mesures. Un palet autoporté, pouvant se déplacer sur une table horizontale, est relié à une masse par l'intermédiaire d'un fil passant sur une poulie. A l'instant où le palet est lâché, sans vitesse initiale, la longueur L que le palet peut parcourir est plus grande que la hauteur h à laquelle se trouve la masse, par rapport au sol. Sur la table, les positions du palet sont indiquées à des intervalles de temps égaux. Il y a deux phases dans le mouvement du palet : au début le palet est accéléré et, dès que la masse a touché le sol, son mouvement devient un mouvement rectiligne uniforme. Ces deux phases, en principe, se déduisent des positions du palet au cours du temps : de plus en plus rapprochées pour devenir régulières. M. Goffard a noté que tous les élèves qui ne voient qu'une phase dans le mouvement du palet (la moitié de la classe environ) n'ont pas "acquis" le principe d'inertie ou plus généralement la relation $\vec{F} = m \vec{a}$. Ce constat signifie que pour "lire" une expérience, il faut savoir non seulement ce que l'on doit lire mais avoir déjà une idée des concepts en jeu et des lois qui les régissent. En particulier, tout élève qui ne différencie pas vraiment vitesse, accélération et force, considère le mouvement du palet sans se poser plus de questions sur le détail de ce mouvement (Goffard, 1991).

2. LA PHYSIQUE ÉTANT AVANT TOUT UNE SCIENCE THÉORIQUE, L'ENSEIGNEMENT DOIT-IL ÊTRE AVANT TOUT THÉORIQUE ?

Prenons l'autre aspect du problème maintenant : est-il suffisant de formaliser, "de faire du théorique" ? Est-ce parce que nous n'avons pas assez d'outils mathématiques que nous ne pouvons pas comprendre, appréhender les phénomènes physiques ? Est-il suffisant d'avoir écrit des équations, même justes, pour expliquer les phénomènes physiques et construire des concepts ? Je suis obligée ici de prendre des exemples historiques, car il n'y a pas d'études, à ma connaissance, qui abordent de façon approfondie ce point.

2.1. Exemple de la relativité restreinte

Chacun sait combien d'expériences ont été réalisées pour tenter de montrer l'existence de l'éther, expériences toutes négatives. Lorentz, grâce à

ses célèbres relations, a réussi à trouver un formalisme qui permette de rendre compte des résultats observés ; mais il est frappant de constater avec M.-A. Tonnelat que l'attitude de Lorentz diffère selon la nature de la grandeur qu'il considère : les longueurs sont reconnues subir une contraction effective, alors que les temps restent absolus. Pour Lorentz, les formules de transformation des temps permettent de définir un temps local qui reste plus ou moins fictif. Ce "*temps fictif*", écrit M.-A. Tonnelat, se manifeste dans l'expérience mais il reste néanmoins artificiel en ce sens qu'on peut, à chaque instant, l'opposer au "*temps vrai*" et "*absolu*" qui caractérise le système de l'éther. Le rôle du temps local est donc surtout de conserver le formalisme des équations de propagation dans un système de référence quelconque. C'est un "artifice" mathématique. Artifice, puisqu'on peut, à chaque instant, lui opposer un temps vrai et néanmoins accessible, celui de l'éther, ce qui rend la situation très différente de l'état purement asymptotique issu des hypothèses "newtoniennes". Ce qui est intéressant dans cet exemple, c'est le fait que les équations soient "correctes". Comme le dit M.-A. Tonnelat, "**la signification physique de la théorie ne parvient pas à rejoindre ce que les mathématiques veulent lui faire exprimer.**" (Tonnelat, 1974). Ajoutons que ce n'est pas non plus l'interprétation physique des expériences.

2.2. Exemple de Planck

Au début du siècle, les expérimentateurs connaissaient fort bien la forme du spectre du rayonnement du corps noir, forme incompatible avec celle que l'on obtenait en appliquant les lois de la thermodynamique statistique et de l'électromagnétisme de Maxwell. De plus, les résultats ainsi obtenus étaient absurdes en ce sens qu'ils impliquaient une valeur infinie de l'énergie totale du rayonnement. Les physiciens de l'époque cherchèrent une théorie qui permette de rendre compte de façon cohérente de ce spectre expérimental.

Planck avait publié fin 1900 (cité par O. Darrigol, 1990) la célèbre formule qui porte son nom et qui représente fort bien le spectre expérimental. Cependant, dans son raisonnement, il avait supposé que des résonateurs (dipôles électriques oscillants) agissaient sur le rayonnement contenu dans la cavité considérée ; il avait découpé, pour des "*raisons d'homogénéité de formules*", l'énergie des résonateurs en éléments finis $h\nu$ et ne s'inquiéta pas de voir ces éléments subsister dans la formule finale pour le spectre du corps noir. Un physicien d'aujourd'hui, en lisant la suite des équations introduites par Planck, en déduirait assez rapidement une discontinuité de l'énergie. Pour Planck, la valeur finie de la constante h ne pouvait se rapporter qu'à la structure interne des résonateurs, structure à déterminer, et ne pouvait absolument pas correspondre à une discontinuité de l'énergie. Pour lui, l'introduction de ces éléments était "*un artifice mathématique*" et n'impliquait pas l'hypothèse des quanta de lumière. Nous n'insisterons pas davantage sur l'interprétation compliquée de Planck, retenons seulement qu'Einstein se rendit compte que l'appareil formel de cette théorie pouvait être réinterprété d'une manière compatible avec

l'hypothèse de quanta lumineux : il suffisait d'admettre que l'énergie des résonateurs ne pouvait réellement varier que par sauts, chaque saut correspondant à l'émission ou l'absorption d'un quantum lumineux.

Là encore, une équation "correcte" peut être interprétée différemment selon les "conceptions" des auteurs.

3. QU'EN DÉDUIRE POUR L'ENSEIGNEMENT ? QU'ENTEND-ON PAR ENSEIGNER DE LA PHYSIQUE ET DE QUELLE PHYSIQUE S'AGIT-IL ?

Les réponses dépendent fortement de l'objectif que l'on se fixe, sciemment ou non. En effet,

– si l'objectif est prioritairement de motiver, de subjuguier les élèves, alors il est possible de montrer de "belles" expériences avec le risque de faire croire que la physique est quelque chose de magique au même titre que les magnifiques tours de Majax ;

– si l'objectif est prioritairement d'expliquer la physique de la vie quotidienne, on risque de noyer les élèves dans des raffinements, des approximations... qui les dépasseront, et de leur faire oublier les concepts clés et essentiels ;

– si l'objectif est de faire du qualitatif, on risque, si on n'y prend pas garde, de faire croire aux élèves que toute suite de mots est un "raisonnement" ;

– si l'objectif est d'apprendre l'abstraction (faire du "quantitatif", diront certains), le risque est de rendre l'enseignement trop théorique et inaccessible à beaucoup.

Bien sûr, dira le lecteur, on ne fait jamais l'un sans l'autre, l'enseignement est formé d'un ensemble assez complexe. Rappelons toutefois que la solution adoptée jusqu'à ce jour dans l'enseignement français (faire du qualitatif et du concret au collège et du quantitatif - c'est-à-dire formel - au lycée) a été très efficace pour dégoûter, en seconde, beaucoup d'élèves de la physique. Dans toutes les solutions envisagées par les différents auteurs, il va de soi que les élèves doivent également apprendre à raisonner, à avoir de la rigueur, **mais sans dire vraiment comment**. En particulier, l'idée que les élèves peuvent, à tout niveau, vérifier la cohérence de leurs démarches est dans le meilleur des cas implicite, mais souvent absente. Cette idée répond à une demande générale, en particulier à celle des physiciens qui ont répondu à l'enquête de la SFP¹ : éviter que les gens ne croient qu'une affirmation est un argument, et

1. Les physiciens qui ont répondu à cette enquête pensent que les étudiants de DEUG (A ou B) doivent, avant d'avoir acquis des capacités propres à la discipline, connaître la langue française, savoir rédiger, avoir un sens critique, du bon sens, savoir raisonner, synthétiser leurs connaissances, posséder de la rigueur et de l'honnêteté intellectuelle.

faire en sorte qu'un individu puisse faire des prévisions, sans être pour autant Madame Soleil, et puisse vérifier lui-même que ce qu'il affirme est cohérent et rigoureux. C'est cet aspect de la question que je souhaite développer maintenant.

Des expériences d'enseignement et des travaux de didacticiens apportent quelques éléments de réponses.

D'abord, je vais me référer aux travaux de W. Kaminski concernant l'enseignement de l'optique élémentaire en classe de quatrième, travaux qui ont largement inspiré les auteurs des futurs programmes de cette classe (Kaminski, 1991). Elle a montré qu'il est possible d'avoir une démarche à la fois expérimentale et conceptuelle introduisant un nombre limité de lois physiques, afin de pouvoir exploiter, avec des situations physiques accessibles aux élèves, l'aspect universel de ces lois et une démarche expérimentale qui consiste non pas à vérifier une loi physique ou à découvrir une loi physique, mais à vérifier **les prévisions que l'élève peut faire**. Cette démarche consiste à faire des rapprochements tout en recherchant une cohérence, à faire des allers et retours entre le théorique et l'expérimental avec un théorique accessible (exemples de la pénombre, voir en annexe).

Ensuite, je voudrais m'arrêter quelques instants sur un aspect d'un enseignement de DEUG première année de Paris 7, intitulé "initiation à la physique expérimentale", ou plus simplement "projet". Dans la section concernée, les étudiants doivent réaliser une expérience simple menant à des résultats numériques. Quinze jours après le choix du sujet, les étudiants remettent un rapport écrit sur l'aspect théorique de l'expérience (ce qui les oblige à approfondir les notions théoriques nécessaires), puis réalisent le montage, font les mesures qu'ils ont décidé de faire et terminent par un exposé oral et la remise d'un dossier écrit. Dans cette section, les étudiants peuvent répéter l'exposé final devant un enseignant ne connaissant pas le sujet. Les étudiants sont en majorité très satisfaits d'un tel enseignement qui sort du cadre scolaire, et pour lequel l'enseignant n'a pas forcément LA solution ; ils apprécient particulièrement, comme l'indique l'enquête de F. Lenoir, le rapport théorique initial car il les aide à "*comprendre le sujet*", "*approfondir une théorie*", "*vérifier le niveau de maîtrise des connaissances*", ainsi que la répétition qui "*contribue à organiser le rapport écrit en aidant à dégager l'essentiel*" (Bacri et al., 1992)." C'est l'ensemble de ces deux types d'activités (expérimentale et théorique) avec des exercices de communication et de synthèse, pour dire vite, qui permet à chacun de préciser ses connaissances et ses lacunes.

Je mentionnerai enfin un autre enseignement de Paris 7 intitulé "synthèse et communication scientifique". En deuxième année de DEUG (A, B ou MASS) et première année de licence, quelques étudiants préparent sur un sujet de leur choix (avec cependant le feu vert ou le veto de l'équipe enseignante) un dossier écrit, deux exposés oraux, un poster et une fiche 21 x 27 sur laquelle est organisé l'essentiel de leur dossier. Pour y parvenir, les étudiants sont amenés à faire, défaire, reformuler, faire des synthèses, s'apercevoir qu'ils

n'ont pas compris telle chose parce qu'ils ne connaissent pas les concepts et/ou les lois en jeu ou bien parce qu'ils ne comprennent pas le raisonnement, s'adapter au public, trouver des exemples, des illustrations, des raisonnements qui permettent aux auditeurs que sont les étudiants du groupe de comprendre. Ils apprennent ainsi à approfondir leur sujet, à dégager l'essentiel, à faire la chasse au flou, à l'ambiguïté, à mettre en évidence leurs ignorances. Cet apprentissage individuel et "sur le tas" donne un sens aux discours théoriques sur cohérence, rigueur, raisonnement, logique... Par ailleurs, l'équipe enseignante n'a pas toujours LA solution aux problèmes de physique ou de communication rencontrés (Bruneaux et al., 1990). C'est ensemble, bien souvent, qu'étudiants et enseignants parcourent un chemin assez zigzaguant pour trouver une réponse à chaque problème soulevé.

Les deux derniers exemples illustrent des enseignements où il est demandé aux étudiants de faire un travail important de **synthèse écrite et orale** dans lequel le raisonnement est prioritaire par rapport aux symboles et aux formules. En particulier, tout le travail qui amène l'étudiant à faire et écrire une synthèse est extrêmement formateur : n'est-ce pas en écrivant que, bien souvent, on clarifie ses idées, on s'aperçoit qu'il reste des points obscurs, que le raisonnement ne tient pas debout, que l'on arrive à structurer sa pensée, etc. ?

Je voudrais terminer en insistant sur le fait qu'un raisonnement en physique a besoin d'un certain nombre d'éléments sur lesquels il peut s'appuyer, éléments qui ne sont pas simplement des affirmations ou des certitudes. Je voudrais en mentionner deux qui me paraissent essentiels.

Le premier concerne la notion de "**fait expérimental**". Il est clair pour tout le monde que la physique a pour mission d'expliquer les observations et faits expérimentaux : toute théorie est acceptée tant qu'elle rend compte de ces faits expérimentaux ; dès qu'elle n'en rend plus compte, la théorie est provisoirement mise au rebut. Ceci suppose que les faits expérimentaux en question sont reconnus par tout un chacun, même si la communauté ne dispose pas d'une théorie qui permette d'en rendre compte. Des "**faits expérimentaux**" **non expliqués**, mais reconnus par la communauté des scientifiques, sont monnaie courante et constituent des éléments essentiels de la physique. Une première difficulté au niveau de l'enseignement est de bien faire comprendre que ces faits, pour lesquels on n'a pas forcément d'explications, sont susceptibles d'être observés par n'importe quel individu à condition de **connaître** de façon précise leurs **conditions d'observation** : c'est un point fondamental qui paraît évident à l'ensemble des physiciens mais qui ne l'est nullement aux yeux des élèves et des médias. En effet, au cours de l'enseignement "synthèse et communication scientifique", nous nous sommes aperçus que, pour les étudiants, tout ce que la communauté scientifique ne pouvait pas expliquer était de même nature que les phénomènes paranormaux !! Il me paraît extrêmement important de faire prendre conscience aux élèves, et ceci

à n'importe quel niveau, qu'il existe des faits expérimentaux (acceptés par l'ensemble de la communauté et pas toujours expliqués à l'aide d'une théorie) sur lesquels peut s'appuyer un raisonnement.

Le deuxième concerne l'universalité des lois physiques (dans leur domaine de validité, bien sûr). Si pour la communauté des physiciens, une loi physique (voire un principe) est, à l'intérieur de son domaine de validité, universelle, cela signifie qu'elle ne change pas selon la nature des objets physiques étudiés. Pour les élèves, c'est loin d'être le cas, comme le montrent ces deux exemples.

En électrocinétique, les élèves apprennent que, dans un circuit série, le courant électrique, à chaque instant, est le même en tout point du circuit. A l'échelle de temps de nos mesures, cette loi est toujours vraie, que le circuit soit constitué de résistances, de bobines ou de condensateurs. L'universalité de cette loi pose quelques problèmes aux étudiants qui peuvent affirmer que, dans un circuit série comprenant entre autres deux condensateurs, l'un des deux se chargera avant l'autre.

En optique géométrique, le principe de propagation rectiligne, dans un milieu où l'indice reste constant, est universel. Pourtant, combien d'étudiants tracent des faisceaux lumineux qui s'arrêtent de se propager en ligne droite après leur passage par l'image d'un objet ?

Il ressort de tout ceci qu'une solution est à chercher dans la diversité des activités proposées aux élèves, activités ayant, cependant, un certain nombre de points communs : activités au cours desquelles l'élève est acteur et non spectateur, activités qui amènent les élèves à se poser des questions, questions auxquelles les élèves peuvent répondre, et enfin activités qui passent à un moment ou à un autre par l'écrit et la synthèse. Cette physique-là peut être attrayante et amusante, même si elle demande un certain effort à chacun.

BIBLIOGRAPHIE

AMPÈRE A.-M. (1820). De l'action exercée sur un courant par un autre, le globe terrestre ou un aimant. *Annales de chimie et de physique*, n° 15.

BACRI J.-C., BERGER J. & LENOIR F. (1992). Initiation à la physique expérimentale. *Bulletin de la Société Française de Physique*, n° 84, pp.18-20.

BENSEGHIR A. (1989). *Transition électrostatique - électrocinétique : point de vue historique et analyse des difficultés des élèves*. Thèse de doctorat, Université Paris 7.

BERGÉ P. (1991). Point de vue sur l'enseignement expérimental. Congrès SFP. Caen.

BRUNEAUX J., LENOIR F., MATRICON J., PETROFF A. & SALTIEL E. (1990). L'apprentissage de la communication scientifique. *Bulletin de la Société Française de Physique*, n° 77, pp.16-19.

DARRIGOL O. (1990). Einstein et la discontinuité quantique. *La Recherche*, n° 220, pp. 446-452.

GOFFARD M. (1991). *Modes de travail pédagogique et résolution de problèmes de physique*. Thèse de doctorat, Université Paris 7.

JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1989). *Représentations et modélisations : le débat scientifique dans la classe*. Berne, Peter Lang.

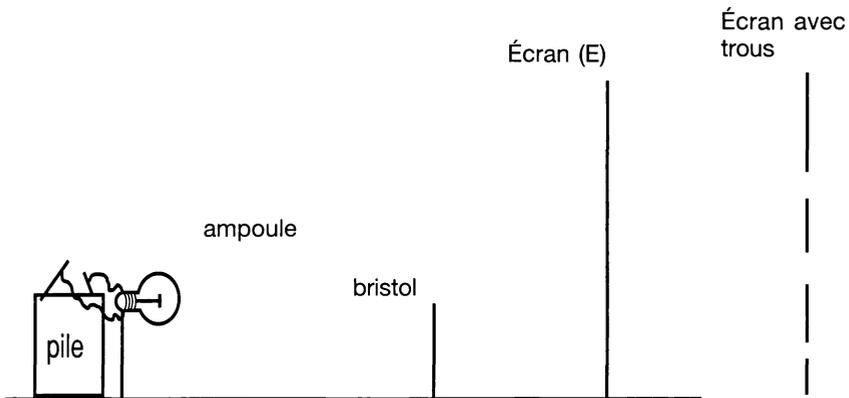
JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.

KAMINSKI W. (1991). *Optique élémentaire en classe de quatrième : raisons et impact sur les maîtres d'une maquette d'enseignement*. Thèse de doctorat, Université Paris 7.

TONNELAT M.-A. (1974). *Histoire du Principe de Relativité*. Paris, Flammarion.

ANNEXE

Le montage proposé par W. Kaminski, pour l'ombre, est le suivant :



Il est demandé aux élèves de placer l'ampoule (A) sur le support de 3 centimètres. Avant de brancher l'ampoule, il est demandé aux élèves de fixer sur l'écran (E) une feuille de papier quadrillé sur laquelle ils doivent dessiner (avec soin) l'ombre prévue, compte tenu des positions relatives du rectangle, de l'ampoule et de l'écran. Lorsque ceci est fait, les élèves allument l'ampoule et vérifient leurs prévisions.

Pour la pénombre, le montage est similaire au précédent, sauf que l'ampoule est remplacée par une bougie. L'élève doit, avant d'allumer la bougie, dessiner sur la feuille fixée sur l'écran (E) l'aspect prévu de l'ombre du rectangle. De plus, l'élève doit, toujours avant d'allumer la bougie, remplacer l'écran (E) par un écran comportant trois trous, y placer la feuille sur laquelle a été dessinée l'ombre attendue et prévoir par quel trou on pourra voir la flamme : entièrement, une partie seulement, pas du tout. C'est ensuite que l'élève allume la bougie et vérifie toutes ses prévisions, en particulier il peut constater que le trou par lequel il ne voit qu'une partie de la flamme se trouve dans la partie pénombre. Pour faire les prévisions, il "suffit" de savoir que la lumière se propage en ligne droite, tant qu'elle ne rencontre pas d'obstacle et que, pour voir un objet, il faut que notre œil reçoive de la lumière provenant de cet objet.