

Quelques suggestions relatives à l'enseignement de la physique dans le second degré (17 novembre 1975)

par Michel HULIN*
Professeur à l'Université P. et M. Curie (Paris VI)

Je voudrais présenter ici quelques remarques concernant certains aspects de l'enseignement des Sciences Physiques. Elles n'ont aucune prétention à l'originalité, mais il m'a paru qu'il pourrait néanmoins être utile de les formuler avant que la Commission n'entre dans la phase d'activité intense qui s'annonce pour les prochains mois.

1. L'ASPECT EXPÉRIMENTAL DE L'ENSEIGNEMENT

La Commission a fréquemment mis en avant que l'originalité des Sciences Physiques, en particulier par opposition aux Mathématiques, tient à leur caractère de Sciences Expérimentales, et que ce caractère doit apparaître de manière déterminante au niveau de l'enseignement.

Sans remettre en question cette composante nécessaire, je pense qu'il serait opportun d'approfondir les modalités précises de son intervention au niveau proprement pédagogique. On peut craindre en effet que la Commission ne fasse, dans ce domaine, un peu trop confiance à des intuitions teintées de positivisme, et donc douteuses. Le dialogue des deux juges d'Ondine vient à propos, et plaisamment, nous rappeler les limites de la méthode expérimentale :

– « Mon cher collègue, dans cette affaire de Kreuznach, quand nous jugeâmes la prétendue Dorothée, la servante de l'échevin..., vous étiez assez d'avis que c'était une salamandre. Nous l'avons mise au bûcher pour voir. Elle a grillé... C'était donc bien une ondine.

* Texte inédit d'une intervention devant la Commission Lagarrigue, aimablement communiqué par Mme N. HULIN.

– Hier également, cher président, avec cette Gertrude... qui servait de la bière à Tübingen... Vous l'estimiez une ondine. Nous l'avons fait jeter sous l'eau, tenue par un fil d'acier. Elle s'est noyée. C'était donc bien une salamandre».

Comme les juges de Giraudoux, le physicien mène son expérimentation dans le cadre d'une théorie au moins ébauchée, et les renseignements qu'il en tire sont largement déterminés par ses présupposés théoriques. Je ne vois pas de raison qui interdise de respecter cette prééminence de la réflexion sur l'expérimentation au niveau même de l'enseignement.

J'ajouterai qu'un effort préalable de décantation, de mûrissement préexpérimental, me semblerait de nature à assurer au recours à l'expérience, - qui reste bien entendu nécessaire, essentiel même -, un caractère en quelque sorte dramatique, propre à lui assurer un impact pédagogique accru. C'est loin d'être le cas dans l'enseignement traditionnel : comme bien d'autres, j'ai gardé le souvenir d'expériences en fait inutiles car leur résultat était acquis d'avance ; tout au plus pouvions-nous, élèves, espérer le canular expérimental qui eût placé le professeur en difficulté !

Or ce que l'expérience assure avant tout, c'est la possibilité d'un choix entre deux ou plusieurs schémas explicatifs préalablement élaborés : elle donne au physicien un recours contre l'indécidabilité. Elle joue alors pleinement le rôle d'expérience « cruciale », et, c'est en tant que telle que nous devrions nous efforcer de la faire intervenir dans l'enseignement : à cette condition seulement seront respectées et l'originalité effective des Sciences Physiques et les conditions d'efficacité pédagogique maximale.

De plus une telle démarche s'insère tout naturellement dans le cadre d'une tactique pédagogique qui, me semble-t-il, mériterait d'être au moins essayée quand notre enseignement vient heurter, chez les élèves, des conceptions antérieures très structurées et solidement ancrées : c'est, en particulier, le cas en Mécanique. Je suggérerai qu'alors nous fassions émerger d'abord ces conceptions, qu'elles soient explicitées par les élèves, puisqu'elles entrent en concurrence avec celles que nous cherchons à leur inculquer : l'expérience peut alors décider. Et cette expérience peut être très simple : car on ne lui demande pas, en général, une véritable précision quantitative, mais bien plutôt une réponse par oui ou par non.

Il reste que nous devons également nous attacher à assurer aux élèves, par le canal de l'enseignement de la Physique, une pratique manipulative, une habileté expérimentale. Je souhaiterais cependant que cette deuxième fonction assignée à l'expérimentation fût clairement distinguée de la première, sur laquelle j'ai insisté plus haut. En effet, nous abordons avec elle un deuxième niveau de difficultés, essentiellement d'ordre matériel : à quel prix nos professeurs pourront-ils, dans ce domaine, concurrencer les «kits» que manipulent chez eux ceux de leurs élèves qui sont abonnés à une revue d'Électronique ? Ce n'est pas dire qu'il faille renoncer, mais qu'il convient d'admettre qu'il y a là un amas de problèmes non résolus, d'accepter de ne pouvoir les résoudre en bloc en quelques semaines, et de ne pas faire dépendre de leur solution une possibilité de respecter la méthodologie des Sciences Physiques qui ne se heurte pas, (en tout cas pas avec la même acuité), aux mêmes obstacles.

2. LES MODES D'INTERVENTION DU FORMALISME

J'ai suggéré plus haut de préparer systématiquement l'expérience par une réflexion «théorique» préalable. Celle-ci fera nécessairement appel à une formalisation de type mathématique, (qui réapparaîtra d'ailleurs, évidemment, dans une phase ultérieure d'exploitation du modèle théorique qui aura été retenu, comme c'est déjà le cas maintenant). Mais il s'impose, dans ce contexte élargi, d'accorder à l'outil mathématique une valeur plus générale que ce n'est le cas traditionnellement, de prendre, en quelque sorte, un certain recul par rapport à sa mise en œuvre, et de ne pas le limiter à ses aspects purement algorithmiques. (Ce faisant, nous nous rapprocherons de l'esprit qui a guidé nos collègues mathématiciens lors de la réforme Lichnérowicz - ce qui, je l'espère, pourra ne pas apparaître seulement comme un inconvénient). En outre, ce qui est plus important, nous introduirons dans notre enseignement une attitude qui me semble caractéristique de la Physique contemporaine, révélatrice de sa maturité, et parfaitement transposable à un niveau élémentaire.

Je tenterai maintenant de préciser quelques points qui me semblent fondamentaux :

1) Il faut expliciter le caractère tensoriel des grandeurs physiques introduites. (Le mot tensoriel est très prétentieux : je vous prie de m'en excuser ; en tout cas, qu'il reste entre nous !). J'entends par là qu'il

convient de distinguer si l'on a affaire à un « scalaire », sans qu'aucune considération de direction, a fortiori de sens, n'ait à intervenir, ou à un « vecteur » : celui-ci doit retrouver sa réalité géométrique d'antan, momentanément obscurcie, peut-être, par un alignement inconsidéré sur l'enseignement des mathématiques.

Parmi les vecteurs, je suis persuadé qu'il est indispensable de distinguer les vecteurs (tout court) des pseudovecteurs (ou vecteurs polaires et axiaux), sous peine de perdre toute maîtrise d'images géométriques fondamentales sur lesquelles je reviendrai plus loin. (J'ai développé ce point dans un article du B.U.P.)*

Scalaire, vecteurs et pseudovecteurs sont les seuls êtres mathématiques qui aient à intervenir au niveau secondaire. Le plus grand soin devrait être apporté à ce que soit respectée l'homogénéité tensorielle des relations qui apparaîtront.

2) Les structures algébriques, c'est-à-dire les règles d'association et de transformation imposées à ces représentations mathématiques des grandeurs physiques, doivent n'intervenir que dans la mesure où elles correspondent à des associations ou transformations physiques de ces grandeurs. C'est dire que je souhaiterais que l'on revînt par exemple, dans un contexte sensiblement modifié il est vrai, à la « composition vectorielle des forces » (soit en statique, soit en dynamique). C'est dire aussi que je crois nuisible d'introduire au niveau des masses, une structure d'espace vectoriel qui implique d'imaginer des masses négatives sans réalité physique.

L'analyse préalable des opérations physiques réalisables, et qui semblent pertinentes relativement aux grandeurs liées à un système physique donné, doit ainsi suggérer la structure algébrique nécessaire à la description formalisée de ce système.

3) Les symétries d'un système doivent être systématiquement exploitées (cf. l'article du B.U.P. cité plus haut). C'est ce qui nous permettra de renouer avec la géométrie, dont nous regrettons tous qu'elle ait été à ce point sacrifiée dans la réforme Lichnérowicz. Naturellement, il ne s'agit pas de refaire en physique la géométrie qu'enseignaient jadis les mathématiciens, mais d'introduire dans notre

* « Quelques considérations élémentaires relatives aux "raisons de symétrie" », B.U.P. n° 572, mars 1975, p. 651-658.

enseignement des éléments visuels, sensibles, qui me semblent de nature à faire impression sur les élèves.

(A ce niveau, la distinction entre vecteurs et pseudovecteurs est évidemment essentielle).

4) La physique que nous connaissons est pratiquement une physique du linéaire ou du linéarisé. C'est, en toute hypothèse, le cas pour la physique enseignée dans les lycées. Cette restriction peut être admise d'emblée : de toute manière, les élèves doivent reconnaître qu'ils ne pourront «comprendre» que la physique qui se prêtera à une formalisation faisant appel aux seules structures mathématiques qu'ils connaissent. Or celles-ci (espaces vectoriels, groupes, corps, etc...) relèvent précisément de l'algèbre linéaire. De toute manière, le linéaire est le domaine du «plus simple», et la seule application d'un principe d'économie de pensée doit justifier qu'on tente d'abord une formalisation linéaire.

Cette nécessité préalable admise, elle offre un guide supplémentaire dans la démarche conduisant à l'invention même des lois physiques, et facilite l'émergence des grandeurs physiques pertinentes ; pour une part, le problème devient : quel type de grandeur devons-nous faire intervenir pour qu'elles obéissent à des relations linéaires ?

Pour illustrer l'ensemble des suggestions précédentes, j'esquisserai la démarche que l'on pourrait adopter pour introduire le champ magnétique d'un fil rectiligne parcouru par un courant :

a) Reconnaissance qualitative préalable des phénomènes magnétiques au voisinage des aimants et des circuits, par changement de l'orientation d'une boussole par exemple.

b) L'intervention même de cette boussole qui pivote suggère que l'effet magnétique du fil doit être représenté par la donnée d'un vecteur ou pseudo-vecteur : un scalaire ne conviendrait pas faute de décrire les effets d'orientation dans l'espace. Vecteur ou pseudovecteur ? De toute manière, on le supposera linéaire par rapport à l'intensité I .

Si c'est un vecteur, il est, en un point M , invariant dans la symétrie par rapport au plan (M, fil) , et donc dans ce plan. Il est changé en son opposé dans la symétrie par rapport à la droite MH . Finalement, on l'attend parallèle au fil.

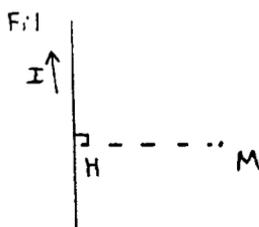


Figure 1

Si c'est un pseudovecteur, l'invariance par rapport à la symétrie dans le plan de figure suffit à assurer que \vec{B} est perpendiculaire à celui-ci.

Nous sommes prêts pour une expérience cruciale : en fait, l'expérience d'Oersted. La boussole se place perpendiculaire au fil, donc \vec{B} est un pseudovecteur, les lignes de force sont des cercles axés sur le fil, d'où le spectre de limaille, etc... (C'est le potentiel \vec{A} qui est le vecteur). (Notons d'ailleurs que l'anecdote qui court sur le travail d'Oersted - l'expérience avait été tentée avant lui, mais toujours avec une boussole initialement perpendiculaire au fil, et qui donc ne bougeait pas - suggère que les expérimentateurs attendaient un alignement de la boussole avec le fil : ils espéraient un vecteur).

3. AU DELÀ DU FORMALISME

Cela dit, il faut admettre que la plupart de nos élèves perdront vite contact avec les mathématiques. Il convient donc d'assurer de plus, une fixation de l'information qui leur est apportée qui ne dépende pas de la maîtrise d'un formalisme. Cette fixation peut intervenir essentiellement :

– au niveau sensible (surtout visuel) : il faut mettre quelques figures, quelques schémas, quelques expériences « dans l'œil » des élèves.

C'est pourquoi j'insiste tant sur la distinction entre vecteurs et pseudovecteurs. Il faut que le spectre de limaille pour le champ \vec{B} d'un courant linéaire et le spectre de poudre diélectrique du même fil électrostatiquement chargé soient deux grands points d'ancrage visuel

de notre enseignement de l'électromagnétisme. Or comment pourrions-nous passer sous silence que les lignes de force sont radiales dans un cas, circulaires dans l'autre ? Si nous visons à un impact pédagogique véritable, il faut prendre ce «taureau par les cornes» !

– au niveau du langage : il faut que les élèves puissent exprimer, en français, leurs observations, leurs raisonnements, tout ce qu'ils peuvent retenir de l'enseignement. Le vocabulaire doit avoir un minimum de précision, les mots-clés qui soulignent la logique du raisonnement («donc», «or», etc...) doivent être employés à bon escient. Actuellement, ce résultat n'est même plus atteint avec une fraction non négligeable des taupins moyens. Tant chez ceux de nos élèves qui, comme ces derniers, poursuivront des études scientifiques que chez les autres, beaucoup plus nombreux, nous pouvons, je crois, être assurés que tout effort de notre part dans ce domaine sera profitable, et pour notre discipline et pour leur formation générale. Pour que cet effort soit payant, et que l'importance de cet aspect de l'enseignement scientifique soit clairement ressentie par les élèves, je suggérerai que nous renoncions à centrer les épreuves de Physique du baccalauréat sur le traditionnel problème : nous devrions réhabiliter la question de cours, mais sous une forme dûment rénovée, disons celle d'une petite «dissertation de philosophie naturelle», qui donnerait aux candidats l'occasion d'une synthèse entre des connaissances qui interviennent dans différentes parties du cours*.

Pour résumer, je souhaiterais que la Commission acceptât de revenir, pour les critiquer, sur certaines conceptions sous-jacentes à son travail et dont je crains qu'elles ne l'aient parfois un peu fourvoyée : essentiellement l'idée d'une opposition « concret-abstrait », et un préjugé favorable au «concret». Il n'est de science que du général, comme il est bien connu, ou, en d'autres termes, que de l'abstrait, ou, si l'on préfère, de ce qui a été extrait du concret immédiat. Un enseignement scientifique, même dans le domaine des Sciences de la Nature, est donc nécessairement l'enseignement d'un certain processus d'abstraction.

Un autre préjugé, plus pernicieux encore, sous-tend le présupposé précédent : celui d'une adaptation du «concret» aux élèves issus des catégories sociales économiquement et culturellement défavorisées.

* Le lecteur peut se reporter utilement à l'article de M. HULIN paru dans le B.U.P. n° 728 (novembre 1990) : «Faire évoluer le problème de physique».

Autant dire que ces derniers ne peuvent pas faire de Physique et qu'il faut les cantonner à une sorte de phénoménologie : mais peut-être pense-t-on comme Carrel, (mais avec beaucoup de bons sentiments et plus naturellement), que les prolétaires sont voués à leur condition inférieure par leurs tares génétiques...

Le vrai problème me semble beaucoup plus être celui de l'élaboration d'une tactique (ou même d'une stratégie) pédagogiques adéquates, visant à transmettre une certaine représentation du monde physique, qui est ce qu'elle est et indépendamment de nous, plutôt qu'une sorte de troncation de cette représentation qui la rendrait en principe plus accessible. Et l'obstacle majeur que nous devons surmonter n'est pas tant celui d'un exposé des solutions que les physiciens ont élaborées pour organiser, structurer notre vision du monde, que celui de la transmission de la problématique même qu'ils ont adoptée pour parvenir à ce but. Car c'est entre les interrogations du non-physicien et du physicien en face de la nature que se situe la coupure, la solution de continuité majeure. La difficulté fondamentale qui pèse sur notre enseignement vient de ce que nous ne faisons pas véritablement entrer les élèves dans notre jeu : une sorte de docilité de certains d'entre eux, surtout quand elle peut s'étayer sur une raisonnable maîtrise des outils mathématiques que nous faisons intervenir très, (trop), tôt, peut nous donner l'illusion d'un succès partiel ; je crains qu'il ne reste extrêmement superficiel. Dans un premier temps, tâchons au moins d'admettre cet échec, et faisons effort pour que notre enseignement soit plus explicite quant à la démarche de nos sciences et à la nature même des problèmes auxquels elle s'attaque.