

RAPPORT DE LA MISSION SUR L'ENSEIGNEMENT DE LA PHYSIQUE, EFFECTUE A LA DEMANDE DE LIONEL JOSPIN (EXTRAITS)

(Rapport Bergé, Octobre 1989)

Exposé des motifs (pages 1 à 4)

La Physique est une discipline reine. Tout d'abord, elle a la même rigueur de démarche et de raisonnement que les Mathématiques. Par ailleurs, c'est la science qui donne la majeure partie des clés de la compréhension de l'univers dans lequel nous vivons et du quotidien qui nous entoure. Enfin, c'est sur elle que repose, et reposera, une grande partie des spectaculaires progrès du monde moderne ; de ce fait elle constitue une base incontournable pour l'homme du XXème siècle.

Discipline exigeante mais aussi très concrète, donc en prise directe avec le monde réel, *elle permet une riche formation de l'esprit* de ceux à qui on l'enseigne et qui la pratiquent. Etant un *élément de culture* indispensable de l'homme moderne, elle mérite d'être enseignée *dès le plus jeune âge.*

Pour toutes ces raisons, son enseignement exige d'être mené avec un soin particulier.

Or, que constate-t-on aujourd'hui ?

Tout d'abord, et de manière très générale, l'enseignement est profondément marqué par la *tradition du cours magistral* : l'élève écoute passivement la bonne parole du maître. Trop peu d'efforts sont faits vers des formes plus actives et autonomes de l'appropriation des savoirs ; *il est pourtant bien connu qu'on ne sait bien que ce que l'on est allé chercher soi-même.*

En ce qui concerne plus particulièrement la Physique, influencée peut-être par son alliée indispensable (et actuellement dominatrice), les Mathématiques, *elle a progressivement et insidieusement formalisé son enseignement*¹. La démarche, les raisonnements, sont souvent *déductifs et dogmatiques* et la démonstration théorique est, plus que l'expérience, retenue comme preuve suffisante.

Pourtant la Physique, science expérimentale par excellence, doit voir son *enseignement s'appuyer sans cesse sur l'observation* de faits et de phénomènes avant de les modéliser et de les mathématiser : on doit privilégier la méthode *inductive* et le recours systématique à l'expérience.

Certes, il est à la fois beaucoup plus économique et moins contraignant de faire un enseignement surtout théorique ; mais à ce jeu, *la Physique perd son âme, son intérêt et son attrait auprès des jeunes. Il faut redonner ses lettres de noblesse à l'enseignement expérimental de la Physique* et remettre en place la démarche scientifique. Non seulement la Physique y gagnera, mais aussi les Mathématiques, qui pourront trouver une illustration vivante et attractive de ses contenus à tous les niveaux. Paradoxalement, les frontières entre les deux champs disciplinaires ne peuvent que s'estomper dans ce retour aux sources.

¹ Notons que ce travers est typiquement français.

L'évidence expérimentale sera la meilleure occasion de favoriser un enseignement interdisciplinaire ou d'introduire fort naturellement les notions, a priori abstraites, de mathématiques.

De plus, cette revalorisation nécessaire de l'aspect expérimental de la Physique est de nature à *lutter contre une pernicieuse hiérarchie s'établissant dans notre société, qui place l'abstrait au-dessus du concret et le théorique au-dessus du pratique*. Quelle meilleure leçon contre cette dérive que de montrer comment l'abstrait naît et vit par le concret et que le théorique est bien souvent induit par l'expérimental ?

L'Education Nationale doit se doter de tous les *moyens nécessaires en personnels, en matériel et en locaux*², pour présenter de belles expériences et, encore mieux, *faire construire* de belles expériences aux élèves. La Physique est une occasion unique de *développer chez les élèves l'esprit de curiosité et le sens de l'observation, puis le jugement critique*, toutes qualités extrêmement utiles dans une vie d'adulte, qu'elle soit scientifique ou non.

On ne doit pas craindre de considérer que la *démarche initiale* de l'apprentissage de la Physique doit être *qualitative*, voire même *empirique*. Il faut faire manipuler les élèves et leur *faire appréhender le plus possible une physique proche du monde réel*, en n'hésitant pas à encourager une démarche non conformiste, prélude indispensable à l'éclosion de la créativité et de l'esprit d'invention.

L'apprentissage de la Physique doit être inductif, et conduire de l'observation concrète à la loi ou au modèle sous-jacent ou du cas particulier vers une certaine généralisation. Ne pas mettre dans l'esprit du jeune (et éventuellement enlever) toute idée de suprématie de la formulation mathématique sur l'observation expérimentale : cette formulation n'est qu'un outil, certes indispensable, mais qui doit intervenir *après la compréhension qualitative* (voire "manuelle"). Ne pas oublier que l'on a souvent associé "échec en Physique" à "non manipulation".

Certes, il convient de ne pas tomber d'un excès dans l'autre et d'un enseignement trop mathématisé et formel à un apprentissage empirique et seulement qualitatif ; la modélisation et la mathématisation doivent, certes, intervenir, mais en leur temps et à leur juste place.

En résumé, il faut mettre sans cesse l'accent sur les aspects concrets de la Physique.

En favorisant cette tendance, nous avons une chance de *former à nouveau des têtes bien faites plutôt que trop pleines, d'attirer un plus grand nombre d'élèves vers les carrières scientifiques et de faire éclore dans les esprits la créativité et l'imagination* caractéristiques de ceux qui pratiquent la démarche scientifique.

Pour réaliser ce plan de renouveau de l'enseignement de la Physique³, nous proposons quelques remèdes dont certains ne peuvent devenir effectifs qu'à terme ; mais il est indispensable de les proposer dès aujourd'hui :

a) Tout progrès dans l'enseignement passe d'abord par une *meilleure formation des maîtres*. Les *Instituts Universitaires de Formation des Maîtres* auront ce rôle capital, dans lequel il faut particulièrement mettre en lumière un *apprentissage de l'expérimentation par la recherche* en laboratoire de Physique Expérimentale. Par ailleurs, le couplage recommandé des enseignants avec le monde de la recherche et de l'industrie assurera une mise à jour permanente de l'enseignement prodigué. Cette *revalorisation de la condition d'enseignant*

² Compte-tenu de la décentralisation, ceci implique pour les Communes, Départements et Régions, de faire l'effort nécessaire.

³ La réflexion s'est limitée à l'enseignement primaire et secondaire et, compte-tenu de la spécificité de la discipline, elle a principalement porté sur le secondaire.

passer par celle de l'image que s'en fait le public et par la qualité des individus que la profession attirera. Ceci implique, bien entendu, une *solide réévaluation des salaires*.

b) Des enseignants parfaitement formés sont une condition nécessaire ; il faut en plus que leur nombre permette de *réduire les effectifs par classe*, particulièrement pour les travaux pratiques ou dirigés. Par ailleurs, *l'équipement en matériel* doit être sérieusement amélioré, *des locaux adaptés doivent être créés ou aménagés, et du personnel de laboratoire recruté*.

c) Toute tentative de changement de l'esprit de l'enseignement de la Physique échouera tant que la *forme et l'esprit de l'examen ou de l'évaluation* resteront ce qu'ils sont. Des épreuves calculatoires entraîneront nécessairement un enseignement formel. Nous proposons donc d'aller progressivement vers un style d'épreuves *ouvertes et plus qualitatives révélant* des qualités plus en rapport avec celles de l'esprit expérimental et créatif. Par ailleurs, notons que l'on ne peut faire l'économie d'une évaluation expérimentale (épreuves pratiques).

d) Etant entendu que pour une part importante l'échec scolaire est lié à un manque de méthode dans le travail intellectuel, *nous proposons qu'à tous les ordres de l'enseignement soit donnée une formation spécifique de méthodologie du travail intellectuel et scolaire*.

e) Il est en général plus rapide et plus facile d'apprendre que de comprendre, et les contenus étant devenus encyclopédiques et, par endroits, inutilement difficiles et abstraits, les élèves n'ont pas le temps d'assimiler les notions et concepts qui défilent à grande vitesse. *Un allègement des contenus est donc nécessaire*. Cet allègement ne peut aller sans une *remise en question complète de l'organisation actuelle en filières hiérarchisées* (dont les méfaits ont été reconnus depuis longtemps). Pour la remplacer, nous proposons une *structure modulaire avec tronc commun et modules* (ou options). Le tronc commun assure la base minimale dont l'assimilation doit être effective ; les modules permettent d'offrir des compléments dont la nature et le niveau sont adaptés *au goût, aux possibilités et à la personnalité des élèves*. Les modules doivent mettre en jeu *d'autres formes d'enseignement*, plus propices à l'épanouissement de qualités individuelles et au travail autonome.

f) Nous considérons aussi qu'un grand pas en avant serait fait *si l'enseignement technologique était sorti du dédain où il est tenu actuellement, car trop souvent associé à l'échec scolaire* : aussi proposons-nous de l'inclure dans cet enseignement modulaire (avec, bien entendu, des modules concrets et pratiques adaptés et un tronc commun spécifique pour la terminale).

Note : Nous nous sommes toujours placés au cours des divers travaux de la commission, *dans la perspective du moyen et du long terme*. Bien que certaines de nos propositions puissent être applicables presque immédiatement, beaucoup d'autres impliquent une meilleure formation des maîtres, des conditions de travail différentes, une évolution des mentalités... C'est dire que nombre de propositions présentées ne devraient être introduites que *progressivement* et ne prendraient réellement effet que dans 5 ans environ.

L'interdisciplinarité (pages 21 à 23)

1) L'interdisciplinarité mathématiques-physique

On entend trop souvent dire au professeur de Physique "on ne peut pas introduire telle partie, les élèves n'ont pas encore acquis, en mathématiques, telle notion". Ce découpage, fort arbitraire entre ces deux disciplines, nuit à l'image de l'unité des savoirs, handicape un déroulement harmonieux des programmes et prive les élèves d'une introduction concrète de concepts injustement considérés comme abstraits.

Nous donnons, à titre d'exemple, quelques notions ou concepts de mathématiques pouvant avantageusement être introduits par le biais de l'expérimentation en Physique, l'idéal étant que l'enseignement en soit donné conjointement par les deux professeurs.

Vecteur : Force agissant sur un ressort, vitesse d'un mobile ; on voit sa direction, son sens, sa norme.

Composition de vecteurs : système de trois fils, deux poulies, trois masses (ou ressorts). La composition peut être directement tracée graphiquement à partir des positions des fils.

Produit scalaire : Travail d'une force (nécessairement un scalaire), d'où $F \cdot I = \text{scalaire}$. Travail sur un plan incliné $F \cdot I \cos \alpha$. De même pour la puissance $F \cdot V$.

Produit vectoriel : loi de Laplace, règle des trois doigts.

Barycentre : Centre d'inertie, modèle en carton, équilibre.

Fonctions : Linéaires ou non d'après le relevé graphique des caractéristiques d'un dipôle, abscisse, ordonnée ; $U = f(i)$. Fonction inverse $i = g(U)$, surtout intéressant avec caractéristiques non linéaires.

Résolution graphique : d'équations linéaires ; type $y = ax + b$, caractéristique d'un générateur à résistance interne ; point de fonctionnement : résolution de $U = RI$, $U = E - rI$.

Bilinéarité de type $P = UI$.

Fonction sinusoïdale : le courant alternatif, l'oscillateur électronique.

Notions sur les équations différentielles :

- Pour le premier ordre : vidange d'un réservoir ou décharge d'un condensateur $dV/dt = -aV$, on relève la caractéristique $V = f(t)$ et vérifie son caractère exponentiel sur papier logarithmique.
- Pour le deuxième ordre : chute d'un corps lâché sans vitesse initiale $d^2z/dt^2 = a$. On peut vérifier expérimentalement que $z = z_0 + a t^2/2$. Autre exemple : l'oscillateur harmonique $m d^2X/dt^2 = -kX$. On vérifie que la solution est oscillante.

Notions sur l'intégrale (ou la primitive) à partir de l'exemple ci-dessous : la conservation de l'énergie amène à constater que $kX^2/2$ est le travail du ressort. D'où un raisonnement graphique faisant sentir que l'aire "sous" la droite $F = kX$ représente ce travail. L'intensité efficace et la tension efficace sont aussi de bons cas illustrant l'idée d'intégrale.

2) Cas particulier des Sciences de la Terre et de l'Univers

Il ne paraît pas utile d'insister sur l'interdisciplinarité Physique-Chimie naturellement réalisée du fait que, actuellement du moins, c'est le même professeur qui enseigne ces deux matières. Nous préférons mettre en lumière une très riche interdisciplinarité possible entre Physique et Sciences de la Terre et de l'Univers. Cette interdisciplinarité porte, en particulier, sur l'Astrophysique. Elle pourrait s'articuler autour des domaines suivants (liste non limitative) :

Optique des instruments d'observation ; illustration de la limite introduite par la diffraction ; réfraction atmosphérique.

Spectroscopie d'astres, liaison avec la physique atomique.

Propagation d'ondes, vitesse de la lumière.

Interaction gravitationnelle, lois de Newton, lois de Képler, mouvement des planètes.

Physique nucléaire, rayonnements, particules, relativité.

Terminons ce chapitre en remarquant qu'évidemment le *français* est la matière interdisciplinaire par excellence. Mais à force d'être évidente, l'interdisciplinarité correspondante n'est pas toujours exploitée comme elle le devrait. Pourtant, l'échec scolaire – au collège en particulier – est bien souvent lié à une *non-maîtrise du langage*.

La Physique, comme les autres sciences, est l'occasion d'exercer l'usage de la langue dans un *cadre différent*, et très complémentaire de celui de la littérature. Par exemple, une question de Physique étant résolue, il n'est pas toujours facile, mais très formateur, d'*explicitement* clairement méthodes et résultats, oralement d'abord, puis, exercice plus difficile encore, par écrit. D'autre part, lire et comprendre des *textes scientifiques* (ou d'histoire des sciences) diversifie salutairement le registre des lectures purement littéraires. Enfin, la *comparaison des acceptions* de certains mots de la langue courante avec celles, plus spécifiques, que ces mêmes mots acquièrent dans diverses disciplines est source d'enrichissement.

La formation par la physique... ou au-delà de l'enseignement du contenu (page 24)

L'enseignement de toute discipline a pour fin de transmettre des savoirs spécifiques ; au-delà, il convient d'analyser quelle formation de l'esprit beaucoup plus générale peut être développée par son enseignement. Le caractère, à la fois expérimental et très rigoureux de la Physique, lui confère une place particulière. Elle est l'occasion de mettre en oeuvre des capacités intellectuelles des élèves que les autres disciplines prennent rarement en compte.

La Physique est une science expérimentale. A ce titre, elle doit être enseignée à partir de l'*observation*, au départ qualitative, de phénomènes expérimentaux, et dans toute la mesure du possible, dans des conditions où les élèves eux-mêmes peuvent manipuler. C'est la raison pour laquelle la Physique a (avec d'autres disciplines, certes) une vocation très naturelle à *former l'esprit à la méthode expérimentale* et, au-delà, à développer une certaine *habileté – voire une "compréhension" – manuelle*. Les exigences toutes particulières de rigueur et de finesse des réglages, spécialement aiguës dans certaines expériences de Physique, constituent un terrain particulièrement favorable. Cet exercice, indissociablement intellectuel et pratique, est complémentaire de toute forme d'enseignement purement théorique qui, à tort, privilégiant exclusivement les qualités intellectuelles, pourrait former des "*débiles pratiques*". Il y a dans ces exercices de manipulations une belle occasion de réhabiliter une forme de travail concret et d'intelligence pratique de nature à réduire l'éternelle et néfaste opposition (ou, pire, hiérarchie) entre le "théorique" et "l'appliqué".

De même, la Physique est un terrain d'excellence pour induire un mode de pensée caractérisé par le *raisonnement logique et cartésien* (telle l'*analyse critique* de la cause et de l'effet), logique qui peut s'appliquer par la suite à de nombreux domaines. On peut créer par là des armes propres à lutter contre toutes les formes d'irrationalisme et d'obscurantisme et transmettre une attitude critique vis-à-vis des sollicitations de tous ordres auxquelles la vie moderne soumet le citoyen.

Par ailleurs, la reproductibilité et la précision d'une expérience de Physique permettent le relevé fidèle de phénomènes quantitatifs. L'existence de ces relevés pourrait permettre, ainsi que nous l'avons déjà souligné, l'introduction de plusieurs concepts classiquement enseignés, jusque là, en Mathématiques (fonction, dérivée, intégrale, calcul vectoriel, etc). Mieux encore, l'exploitation de ce type de relevés expérimentaux pourrait être l'occasion d'un *enseignement "collectif"* regroupant le professeur de Mathématiques et de Physique introduisant, en synergie, les concepts donnés ci-dessus à titre d'exemple. Même s'il n'est pas

effectivement collectif, ce type d'enseignement peut avoir un effet d'écho d'une discipline sur l'autre – sous réserve d'un véritable travail en équipe pédagogique.

Conclusions et recommandations (page 71)

Face à l'important déficit de scientifiques formés dans notre pays, la motivation essentielle de la Commission de Physique a été de réfléchir aux améliorations de nature à *augmenter le nombre de vocations scientifiques*. Au-delà de l'aspect quantitatif, nous avons orienté notre réflexion vers une meilleure formation qualitative de scientifiques, en privilégiant – par le canal de la méthode expérimentale – le développement de la *créativité*, de l'*imagination* et de l'*esprit d'invention*. Indépendamment de tout réflexe corporatiste pour la discipline que nous enseignons, que nous pratiquons et pour laquelle nous avons, naturellement, un certain "penchant", nous constatons que la Physique joue un rôle central au coeur de l'enseignement des Sciences, pour le développement de l'esprit scientifique et comme enrichissement complémentaire de l'apprentissage des mathématiques. Par ailleurs, le *rôle culturel* de la Physique dans la vie d'honnête homme est à souligner : elle lui rend intelligible une bonne partie du monde qui l'entoure.

Or, force est de reconnaître une *désaffection pour les Sciences* en général, et pour la Physique – telle qu'elle est présentée aujourd'hui – en particulier ; cette dernière n'exerce plus sur les jeunes l'attrait que devrait produire son caractère tout à la fois rigoureux et expérimental. Nous avons déjà souligné que l'un des principaux remèdes consistait à revaloriser d'urgence l'*aspect expérimental et concret* de la Physique en la dégageant du formalisme exagéré dans lequel elle s'est progressivement installée et qui rebute plus d'un élève. Il faut donc replacer l'enseignement de la Physique *au coeur du monde réel* et quotidien et donner "à voir et à toucher" de beaux phénomènes qui permettront d'introduire des concepts profonds.

Le point capital de tout enseignement est celui de la *qualité de ses maîtres*. Or, il apparaît que l'enseignement des sciences souffre, principalement au niveau du primaire et du collège, d'une insuffisante formation des maîtres à l'esprit scientifique et à la méthode expérimentale. C'est la raison pour laquelle nous recommandons que dans les Instituts Universitaires de Formation des Maîtres, *le niveau de formation culturelle soit celui de la maîtrise* pour tout enseignant du secondaire et que tous les maîtres aient une *formation professionnelle de haut niveau*, dont celle que l'on acquiert par le contact avec la recherche expérimentale. Cette formation initiale doit se prolonger par un *couplage constant avec les laboratoires* de recherche et l'industrie ; une incitation devrait être faite au niveau des *chercheurs* et autres *professionnels de la science* pour qu'ils *s'ouvrent à une collaboration* avec les enseignants (et pas seulement avec ceux du supérieur).