

Brève histoire critique de l'enseignement de la physique en France

Le texte qui suit n'est pas une réflexion d'historien, loin s'en faut. L'évocation de quelques éléments concernant l'histoire de la discipline et son enseignement en France a pour fonction essentielle de contribuer à éclairer les objectifs et les enjeux de la réforme entamée en 1999. Le point de vue adopté est donc résolument celui de concepteurs de programmes, dont le travail exige dès l'entame une certaine mise en perspective des réformes. C'est cette mise en perspective qui est ici proposée.

Elle ne concerne que la physique. Le fait que, en France, le même professeur enseigne la physique et la chimie ne doit pas masquer que les deux disciplines ont leurs spécificités propres. Du reste, des pays voisins du nôtre ont fait historiquement d'autres choix : en Allemagne, par exemple, l'enseignement de la physique est couplé à celui des mathématiques, celui de la chimie à celui de la biologie. Un état des lieux de l'enseignement de la chimie semblable à celui qui est proposé ici pour la physique reste à faire.

On trouvera dans l'ouvrage « Les sciences au lycée, un siècle de réformes des mathématiques et de la physique en France et à l'étranger », dirigé par B. Belhoste, H. Gispert et N. Hulin (Vuibert et INRP eds.) ainsi que dans l'étude de Dominique Pestre « Physique et physiciens et France (1918-1940) » (Edition des Archives Contemporaines), des éléments historiques pertinents et une bibliographie utile.

1. Qu'est-ce qu'un programme ?

Un programme d'enseignement résulte d'un ensemble de forces de nature très diverses. La façon dont la discipline se perçoit elle-même, la façon dont la société la perçoit et ce qu'elle lui demande, la formation, les références et les valeurs du corps enseignant, les traditions syndicales, l'implication des associations parentales, la nature de la population scolaire, certains choix politiques concernant le système d'éducation (notamment le système de filières), constituent autant de forces plus ou moins intenses qu'il s'agit de traiter à un moment donné. De plus, ce réseau de forces est interprété par un groupe d'individus particulier (les rédacteurs), et il est certain qu'un même réseau de forces sera interprété différemment par deux groupes d'individus différents. La confection d'un programme appartient donc à la catégorie des problèmes d'optimisation sous (nombreuses) contraintes, dont on sait qu'ils conduisent en général à plusieurs solutions de qualités voisines. Dans ces conditions, chercher à déterminer le « meilleur » programme, n'est pas nécessairement pertinent. Ce qui importe, en revanche, c'est d'explicitier au mieux les choix qui ont conduit à telle ou telle solution, d'en montrer la *cohérence*, de sorte que les différents participants au système éducatif puissent les apprécier au mieux, quitte à les remettre en cause si le besoin s'en fait sentir.

1. Mise en perspective.

Au cours des 50 dernières années, l'enseignement de la physique au lycée a connu deux grands mouvements de réforme. Chacun a tenté de répondre à un *vrai* problème, à savoir :

- 1) Comment répercuter dans l'enseignement les grandes avancées de la discipline au cours du XX^e siècle ?
- 2) Comment répercuter dans l'enseignement le formidable développement technique qui structure, avec l'efficacité parfois redoutable que l'on connaît, notre environnement quotidien ?

Pour répondre à la première question, un travail de fond fut mené dans les années 70 par la commission Lagarrigue.

Ce travail était indispensable et fut très salubre. Rappelons-nous (ce « nous » ne concerne que ceux qui ont l'âge requis pour qu'il s'agisse d'une mémoire vivante !) qu'à la fin des années cinquante, les ouvrages de physique utilisés au lycée proposaient encore « l'hypothèse atomique » en annexe de fin de chapitre, et cela, près de cinquante ans après que Jean Perrin eût publié son merveilleux livre, *Les atomes*, et trente ans après l'attribution du prix Nobel couronnant les travaux qui y sont consignés ! La physique au lycée était traditionnellement constituée d'une succession de sujets ayant peu de rapports les uns avec les autres, sinon d'être, comme il se doit, relatifs au monde naturel : mécanique, hydrostatique, dilatation des liquides et des gaz, calorimétrie, électricité, magnétisme etc., autant de classes de phénomènes introduits par des dispositifs expérimentaux particuliers, décrits avec beaucoup de minutie, et régis par des lois empiriques locales. L'unité de la physique n'était pas apparente.

Ces caractéristiques renvoyaient pour une part à l'état de la discipline elle-même pendant la première moitié du XXème siècle. On a naturellement tendance à considérer que deux des caractéristiques essentielles de la recherche scientifique depuis la dernière guerre, à savoir :

- i) établir un développement harmonieux entre théorie et expérience,
- ii) constituer un champ d'activités structuré à l'échelle internationale,

ont toujours prévalu. Un examen, même rapide, de la situation au début du siècle montre qu'il n'en est rien. La physique en France eût beaucoup de mal, pendant la première moitié du siècle, à établir un dialogue fécond entre physique théorique et physique expérimentale. La physique théorique était mal appréciée et

relativement peu développée¹. Louis de Broglie souligne en 1940 que, avant la guerre de 14, la théorie cinétique des gaz ou la théorie électromagnétique de Maxwell n'avaient pas, dans l'enseignement universitaire, toute la place qu'elles auraient dû avoir, et que la théorie de la relativité ou celle des quanta étaient souvent systématiquement ignorées (il semble bien que la remarque était encore largement valable pour les années 40 !). Paul Langevin était l'un des rares à faire exception en ce qui concerne la théorie de la relativité. Léon Brillouin, pour sa part, note que Fabry, chez lequel étaient développées (avec beaucoup de talent du reste) la spectroscopie et l'optique expérimentales, n'était aucunement intéressé par les problèmes théoriques, et ne portait aucun intérêt à l'interprétation de ses expériences (de grande qualité au demeurant). Quant à Henri Bouasse, connu pour ses nombreux ouvrages de physique, il est en quelque sorte le théoricien de la méfiance vis-à-vis de la théorie. Il écrit ainsi en 1923, à propos de la théorie de la relativité, qu'il qualifie d'« hypothèse métaphysique » : « en définitive nous, physiciens de laboratoire, aurons le dernier mot, [...], nous nous soucions de ces merveilles comme d'un petit copeau »².

Le poids des mathématiques joua sans doute un rôle important. Les esprits tournés vers l'abstraction étaient orientés vers les mathématiques, à la rigueur vers la physique mathématique, pas vers la physique théorique. Or la physique mathématique s'intéresse à la cohérence d'une théorie physique du point de vue des mathématiques, elle ne cherche pas, comme la physique théorique, à alimenter la physique expérimentale des questions que la formalisation suggère. Le physicien mathématicien a l'esprit tourné vers la rigueur et la pérennité des

¹ Les exemples qui suivent sont tirés de l'étude de Dominique Pestre, *Physique et physiciens en France (1918-1940)* Ed. des Archives Contemporaines.

² Cité par N. Hulin dans *Les sciences au lycée...*, Op. cit.

résultats que les mathématiques produisent³, le physicien théoricien a le sien tourné vers l'expérience et s'accommodera s'il le faut d'un *bricolage théorique* provisoire qui permet d'avancer : ainsi le modèle atomique que Bohr propose en 1913 peut être taxé de bricolage (génial, certes !), et s'il convainquit un certain nombre de physiciens de l'époque, c'est qu'il permettait d'exprimer la constante de Rydberg de l'atome d'hydrogène à l'aide des constantes fondamentales : un tel résultat ne pouvait être le fait du hasard, et donnait du poids aux règles *ad hoc* que posait Bohr. La période 1915-1925 fournit un exemple extraordinaire de ce bricolage foisonnant de la physique théorique européenne, qui s'aventure dans le terrain vierge du monde quantique armée du seul *Principe de correspondance*, lequel exige que le comportement classique de la matière soit obtenu comme limite, en un certain sens, du comportement quantique. Dans ce foisonnement, il faut bien reconnaître que la France ne fut présente que par la contribution de Louis de Broglie en 1924. Ecartelée entre la physique mathématique et la physique expérimentale qui proclamait son auto-suffisance, la physique théorique ne parvint pas à acquérir en France une place semblable à celle qu'elle connut dans d'autres pays d'Europe, comme l'Allemagne, l'Angleterre, la Hollande ou le Danemark. Les figures que l'histoire a retenues, comme celles de Jean Perrin ou Paul Langevin, ne sont pas, en réalité, représentatives de l'état de la discipline à l'époque.

D'autres éléments jouèrent également un rôle. L'hécatombe produite par la guerre de 14-18, notamment, fut plus sensible chez les jeunes universitaires en France qu'en Allemagne en raison d'un système de conscription plus démocratique, qui envoya donc à la boucherie intellectuels et prolétaires de concert.

³ Henri Poincaré, qui était considéré comme un physicien mathématicien, est sans doute une figure à part. Inventeur de ce que l'on appelle aujourd'hui la théorie du chaos, ses considérations sur le hasard déterministe sont d'une étonnante modernité.

La décennie qui suivit fut marquée par une forte hostilité à l'égard de tout échange avec l'Allemagne⁴ et, de façon plus générale, par un isolationnisme nettement affirmé⁵ : tout s'oppose, en France, à ce que des jeunes puissent effectuer des séjours à l'étranger. Une certaine ouverture sur le monde accompagne la création en 1928 de l'Institut Henri Poincaré, qui prévoit dans ses statuts que des conférenciers étrangers doivent être invités. Mais l'Université demeure toujours aussi fermée, si bien que le changement reste modeste : dans les meilleures années, une dizaine de scientifiques étrangers sont invités à Paris, et une dizaine de professeurs de la Sorbonne partent en mission à l'étranger. Louis de Broglie et ses élèves dirigèrent leurs préoccupations concernant la nouvelle mécanique quantique vers des questions de physique mathématique et d'épistémologie sans liens avec l'expérience (qu'il s'agisse de physique du solide, de physique nucléaire ou de chimie), et cette orientation les maintint à l'écart des grands mouvements de la discipline. Des personnalités comme Frédéric et Irène Joliot-Curie ou Léon Brillouin font, par leurs liens avec la communauté internationale, figures d'exception. Ainsi la physique en France, par beaucoup d'aspects, n'eut pas les moyens d'effectuer la *mise à jour* permanente qui est la marque du développement harmonieux d'une discipline scientifique.

Le renouveau est venu de la génération des physiciens d'après-guerre qui sont pour la plupart allés compléter leur formation à l'étranger : Etats-Unis ou Angleterre. Ce renouveau est amorcé dès les années 45-50, malgré la saignée opérée par les nazis pendant l'occupation. L'École des Houches, fondée en 1951, a joué parallèlement un rôle crucial dans la formation des jeunes de l'époque et dans le processus de rénovation de la

⁴ Lorsque Paul Langevin tente de forcer le boycott en invitant Albert Einstein en 1922, celui sera bien reçu au Collège de France et à la Société de Philosophie, mais l'Académie des Sciences et la Société française de physique refuseront de le recevoir !

⁵ Cet isolement culturel revendiqué ne touche pas seulement les sciences.

physique en France, parce qu'elle contribuait à l'établissement d'une véritable *communauté*, et que cette communauté était d'emblée en prise sur la physique mondiale⁶.

La commission Lagarrigue marque l'apport de cette génération à l'enseignement de la physique. Cette commission (dont le président était un physicien des particules, la chose n'est pas indifférente) chercha à mettre l'accent sur l'*unité* de la discipline, introduisit d'emblée une vision microscopique des phénomènes macroscopiques, et insista sur les principes généraux, les « super-lois », comme les appelait Michel Hulin, un des principaux animateurs de cette commission : symétries, invariances, lois de conservation (énergie, quantité de mouvement, moment cinétique). Programme ambitieux, dont l'origine tenait à une réflexion interne à la discipline, et qui s'adressait à des élèves faisant le choix d'étudier la physique. Le programme auquel cette réflexion, souvent de grande qualité, donna naissance proposait une progression relativement rigoureuse et une construction progressive de la physique au cours des années de lycée, mais au prix d'un enseignement assez abstrait et relativement formel...jusque dans les travaux pratiques.

Un exemple permettra d'explicitier le propos. En classe de seconde était mis en place le principe de l'inertie⁷. C'est un des principes fondateurs de la mécanique, qui exprime que si un mobile n'est soumis à aucune force, ou à des forces qui se compensent, son centre d'inertie est animé d'un mouvement rectiligne uniforme (vitesse constante). Pour travailler ce principe fut conçue une « table à coussin d'air » sur laquelle un

⁶ Pour ne citer que quelques noms de théoriciens ayant personnalisés ce renouveau : Anatole Abragam, Claude Bloch, Claude Cohen-Tannoudji, Jacques Friedel, Pierre-Gilles de Gennes, Alfred Kastler, Maurice Lévy, Albert Messiah, Louis Michel, Philippe Nozières...

⁷ Cf. l'analyse d'Edith Saltiel dans *Les sciences au lycée*, édité par B. Belhoste, H. Gispert et N. Hulin, Ed. Vuibert et INRP

mobile cylindrique se déplace comme un hydrospeed sur l'eau de la Manche. Ce dispositif permet de s'affranchir des frottements habituels et de travailler avec un mobile quasi-isolé. On lance le mobile auto-porteur, on réalise un enregistrement du mouvement, et l'on vérifie que sa vitesse, sur les quelque 50 cm de longueur du dispositif, n'a pas varié de façon mesurable. Ceci devait permettre de vérifier, ou d'établir (selon l'école épistémologique du professeur...), le principe d'inertie. Mais l'expérience est-elle vraiment convaincante ? Ce que l'on constate, aux incertitudes expérimentales près, sur une distance de 50 cm vaut-il... jusqu'à l'infini ? Galilée lui-même, qui faisait rouler des billes sur des plans inclinés, n'avait pas osé franchir le pas, et s'il pensait qu'un mobile quasi-isolé aurait bien, localement, un mouvement rectiligne uniforme, n'en affirmait pas moins qu'à plus grande échelle, sa trajectoire épouserait celle de la Terre, et serait donc circulaire... Enseigner la physique, est-ce donc exiger de l'élève qu'il soit convaincu d'un principe aussi important par un argument aussi faible ? Ce que l'élève apprenait en réalité, c'était à *faire un travail expérimental et effectuer soigneusement un dépouillement de données* : réalisation de l'enregistrement, tracé des vecteurs vitesses en différents points, détermination de leur module, autant d'activités utiles et formatrices, mais qui ne font véritablement sens que pour un élève se destinant *déjà* aux sciences. Cette activité ne représente en réalité pas un travail de réflexion sur le principe de l'inertie *lui-même*. Ce principe, si on lui restitue son statut véritable, qui est de constituer un outil heuristique pour découvrir les interactions d'un objet avec le milieu environnant, peut intéresser en réalité un public vaste. Mais pour cela, il faut partir de situations de la vie courante et en faire l'analyse critique du point de vue des interactions à l'œuvre, au lieu de travailler directement avec un système épuré et passer ainsi son temps à établir les *lois de la table à coussin d'air*⁸.

⁸ La table à coussin d'air peut heureusement être utilisée de façon plus...heureuse : lors d'une collision de deux mobiles auto-porteurs, constater qu'il existe un point, le centre d'inertie du système, qui suit une trajectoire

Vers la fin des années 80, une réaction plaça l'objet technique au centre des préoccupations. Ce mouvement correspondit pour une part à l'établissement de la seconde indifférenciée et des filières première-terminale (1986). Si la majorité des élèves fréquentant la classe de seconde des lycées généraux et technologiques ne poursuivent pas d'études scientifiques (puisqu'ils optent pour la filière L ou la filière ES), le programme de physique doit être conçu comme faisant sens *dans l'année*. Pour séduire et rendre la discipline attractive, il fut décidé de partir des objets familiers. L'idée ayant sa logique, elle fut étendue à la filière scientifique également. Le programme de physique de seconde fut ainsi organisé autour de la production et la réception du son, celui de première, autour du concept d'énergie (sous toutes ses formes, mécanique, transferts thermiques, travail, machines thermiques, énergie nucléaire etc.). En chimie, le programme de seconde s'ouvrait sur la chimie des champs et des jardins. En terminale S, il se clôturait par des chapitres sur les savons, les parfums, les médicaments.

La démarche a sa cohérence. Cependant, ainsi que nous allons l'analyser, c'est, pour dire vite, le type-même de la mauvaise bonne idée. Ce choix fut d'ailleurs contesté par Philippe Nozières, alors membre du premier Conseil national des programmes, mais le ministère trancha en faveur du Groupe des rédacteurs. Pourtant, tenter d'expliquer par exemple la physique du microphone ou du haut-parleur, qui repose sur l'électromagnétisme, sans connaître rien du champ magnétique est une gageure intenable. Et Pierre-Gilles de Gennes, dans un entretien à la revue *Pour la Science*, s'interrogeait en avril 1996: « *Qu'enseigner ? Un groupe de pression puissant, au sein de*

rectiligne uniforme, même sur 50 cm, est surprenant : la curiosité s'accroche tout naturellement à ce qui questionne l'intuition. Mais cela ne relève pas plus du programme d'une classe de seconde généraliste dont les élèves pour leur majorité ne se destinent pas aux sciences.

l'Education Nationale, pense que l'école doit expliquer les techniques modernes. Le programme de physique, en Seconde, présente les amplificateurs opérationnels, les hauts-parleurs, un certain nombre d'appareils de ce genre. C'est, à mon avis, une catastrophe, car on parle de joules et de watts sans savoir ce qu'est une énergie, une force, un travail : on met la charrue avant les bœufs. On lutte contre le trop abstrait en enseignant les amplificateurs : quelle vision restreinte du sens pratique ! Ce qui est aujourd'hui proposé confond la technique et la science. Je ne fais pas de hiérarchie entre les deux, car elles sont également indispensables, mais on ne peut former à l'esprit scientifique en enseignant seulement la technique (l'inverse est également vrai) ».

Sur le fond, ce qui est en jeu ici, c'est le double mouvement de l'activité scientifique : élaboration de connaissances fondamentales d'une part, développement technologique d'autre part. La physique fabrique du simple en recherchant de l'identique dans le divers ou, selon le mot de Jean Perrin, *en recherchant de l'invisible simple derrière le visible compliqué*. Et elle le trouve, c'est cela le miracle. La technologie, quant à elle, réalise des objets complexes à partir des lois connues, théoriques ou empiriques. Il est fondamental de distinguer les deux démarches. Le cœur de la physique s'identifie avec la première. Car partir d'un objet technique, comme le baladeur en classe de seconde, pour construire un cours de physique se heurte nécessairement à un obstacle insurmontable, qui tient à ce que tout objet moderne est un concentré de 3 siècles de science : la physique toute entière y est à l'œuvre. Electricité, magnétisme, mécanique, ondes, sans parler de la physique quantique et de la chimie des matériaux, tout cela est présent dans le moindre appareil électro-ménager. Ainsi l'objet technique est source d'une infinie complexité qui interdit à l'élève de se constituer des repères structurants.

Les livres, richement illustrés, deviennent des catalogues boursouflés d'objets de toute nature dans lequel l'élève ne peut distinguer l'essentiel du secondaire. Au hasard, dans l'un des ouvrages (de très belle présentation au demeurant) traitant de l'ancien programme de seconde : le chapitre « réception sonore » commence par une description de l'oreille interne, définit ensuite l'intensité acoustique et le décibel (avec un encart sur la fonction logarithme, en seconde !), présente l'audiogramme, puis, sans transition, introduit le phénomène d'induction magnétique pour expliquer le fonctionnement d'un microphone, en signalant au passage que les alternateurs de l'EDF utilisent aussi ce phénomène... Comment un élève moyen pouvait-il se repérer dans un tel parcours ? Rappelons que c'est au cours de la dernière décennie que l'image de la physique auprès des élèves de lycée n'a cessé de se dégrader.

L'objet technique doit s'aborder en *sortie*, non en *entrée* : reconnaître dans un objet complexe un effet physique, un principe, une loi *déjà* identifiés est une démarche de complément indispensable, et gratifiante pour l'élève qui a le sentiment d'avoir acquis des clefs de compréhension du monde environnant.

Ce qu'il s'agit de montrer, en cours de physique, c'est que la physique *élabore du simple* par un processus d'abstraction spécifique. L'abstraction n'est certes pas l'apanage des sciences, toutes les disciplines y ont recours. L'abstraction est au cœur de la langue : tout mot est un concept, donc résulte d'un processus d'abstraction du réel. Mais tout concept n'est pas un concept *scientifique*. La spécificité du processus d'abstraction dans les sciences de la nature, c'est qu'il conduit à l'élaboration d'un petit nombre de *lois universelles*. Il y a mille façons de progresser dans cette compréhension.

Un exemple illustrera le propos : un lac de montagne a peu de chose en commun avec de l'eau dans un bac à glace, pourtant ils gèlent tous les deux *par le dessus*. Les deux systèmes ont donc

quelque chose en commun. En l'occurrence, le coefficient de dilatation thermique de l'eau en dessous de 4°C est négatif : l'eau la plus froide surnage (elle est moins dense), c'est donc elle qui atteindra la température de solidification en premier. La remarque peut être faite à l'école primaire, et la compréhension complète du phénomène, qui met en jeu l'activation des liaisons hydrogène à basse température, requiert une bonne connaissance de la mécanique quantique et de la physique statistique. Entre ces deux limites, un continuum d'interrogations et de réponses partielles, qui ont toutes en commun d'illustrer que *la physique, c'est la recherche forcenée du point de vue d'où les choses se ressemblent*. Cette démarche ne s'oppose pas à la recherche d'effets nouveaux⁹, qui est une motivation forte à la fois chez les théoriciens et chez les expérimentateurs.

2. La réforme actuelle

Le Groupe d'experts, prolongement du Groupe technique disciplinaire (GTD) constitué en janvier 1999, a travaillé dans la perspective de rompre avec la logique précédente.

La réforme actuelle résulte, plus précisément, de trois préoccupations :

1. un certain retour au fondamental,
2. une pratique expérimentale et une approche de la théorie s'appuyant sur une mise en place du questionnement,
3. une recherche de convergences avec les disciplines voisines : sciences de la vie et de la Terre et mathématiques.

Le retour au fondamental ancré sur la pratique expérimentale évite une présentation formelle de la discipline. L'insistance sur la mise en place du *questionnement* est cependant cruciale : c'est

⁹ Dans leur confrontation quotidienne, le théoricien rêve souvent de suggérer à l'expérimentateur une expérience à laquelle il n'a pas pensé ; l'expérimentateur, de mettre en évidence un effet pour lequel le théoricien n'a pas d'explication...

elle qui évite que le travail expérimental se réduise à une simple gestuelle, et que le travail théorique se réduise à de simples manipulations mathématiques. La question mérite qu'on s'y arrête un instant.

Une situation expérimentale est irréductiblement complexe, puisqu'il s'agit d'étudier un phénomène particulier à l'aide d'*instruments* qui dans leur fonctionnement mettent en jeu d'*autres* phénomènes. La tentation est parfois grande de traiter cette complexité par la rédaction de feuilles de travaux pratiques où tous les gestes à faire sont prédéterminés, sans que la clef de leur raison d'être soit à jamais accessible aux élèves. Or une expérience est toujours une réponse à une question : que va-t-il se passer si j'effectue telle perturbation sur un système ? quel dispositif dois-je mettre en place pour tester telle hypothèse concernant un phénomène observé ? L'oubli trop fréquent de cette phase de questionnement relatif à la détermination du protocole adéquat conduit à des travaux pratiques presse-bouton où l'on peut avoir tout fait et n'avoir rien appris.

De façon analogue, la formalisation ne s'identifie pas avec la manipulation mathématique. Toute mise en équation est précédée par une phase de *modélisation* du système étudié, qui fait partie de la formalisation. Car on ne raisonne pas sur le réel, mais sur sa représentation, donc sur des abstractions. C'est dans cette phase d'élaboration qu'il faut faire des choix, *être actif*, donc hésitant, confronté à des représentations intuitives plus ou moins pertinentes etc. On a souvent tendance à considérer que cette activité de modélisation est trop difficile pour l'élève, et que cette activité relève du travail préparatoire du professeur, ou du manuel. Pourtant si l'élève n'a pas accès à cette dimension de la physique, celle-ci risque de se réduire à un ensemble de recettes formelles dont le sens demeurera toujours flottant. Même dans les situations physiques les plus simples, il est possible de mettre en œuvre l'idée que *comprendre, c'est recréer le réel par la pensée*.

La pratique du questionnement fait donc pleinement partie du message essentiel de l'enseignement des sciences : montrer à *l'élève* que le monde peut lui être intelligible. N'oublions pas, non plus, que l'émotion esthétique attachée à cette intelligibilité constitue un puissant facteur d'intérêt pour les sciences.

Nous pouvons à présent caractériser plus en détail le nouveau programme de physique du lycée. Quelques remarques permettront de mieux saisir l'articulation des trois années.

1) La seule théorie physique fondamentale accessible à des élèves de lycée est la mécanique classique. Tous les autres sujets abordés en physique seront repris dans le cadre qui leur donne tout leur sens, pour ceux qui continueront dans cette voie, à l'Université ou en classes préparatoires aux Grandes Ecoles, qu'il s'agisse d'électromagnétisme, de thermodynamique, de physique quantique, atomique ou nucléaire. C'est la raison pour laquelle la progression en mécanique est étendue aux trois années : principe de l'inertie en seconde, première approche des lois de Newton et introduction du concept d'énergie à partir du travail d'une force en première S, formalisation complète en terminale S.

2) L'électricité ne figure pas au programme de la classe de seconde. La logique du choix est de réaborder le sujet avec un point de vue qualitativement nouveau, *après* que la loi de Coulomb et la notion de charge électrique ont été introduites. L'électricité est donc reprise à partir d'un point de vue *microscopique*, en s'aidant de ce qui a été vu en mécanique (mise en mouvement de charges électriques).

3) L'optique géométrique, qui avait disparu du tronc commun de la filière S, est réintroduite en première S, avec un prolongement dans la spécialité de terminale S.

4) Le thème sous-jacent de la classe de terminale S est l'évolution temporelle des systèmes. Le choix d'un thème transversal multiforme permet de limiter les exigences relatives à chaque sous-domaine abordé.

En classe de seconde, par rapport à la réforme Lagarrigue, on tient compte de la contrainte, rappelée plus haut, tenant à ce qu'il s'agit d'une classe de détermination : *la majorité des élèves (environ les deux-tiers), ne se destinent pas aux sciences*, puisqu'ils suivront la filière L ou la filière ES. Que faut-il enseigner, dans ces conditions, en physique ?

Le programme de l'année doit à la fois *faire sens par lui-même*, tout en fournissant des bases pour ceux qui continuent dans la filière S. La dimension culturelle est nécessairement importante.

Avec pour fil conducteur l'exploration de l'Univers, le programme est structuré autour de quelques grandeurs physiques de base : *espace, temps, mouvements et forces, température et pression*. On évite ainsi d'aborder la physique par ses différentes subdivisions, ce qui laisse une grande liberté de choix au professeur pour traiter le programme. Comme il s'agit d'un changement important par rapport au programme précédent, nous en précisons ici le traitement proposé.

Les thèmes *Espace et temps* permettent de mettre en place des ordres de grandeur. Déterminer la distance d'un objet par parallaxe, mesurer le rayon de la Terre (méthode d'Erathostène) et la taille d'une molécule (expérience de B. Franklin) sont des activités qui permettent de couvrir 15 des 40 ordres de grandeur de l'Univers observable (de la taille du noyau à la distance parcourue par la lumière depuis l'époque estimée du big-bang). Le thème *Mouvements et forces* a un but précis et limité, mais ambitieux : expliciter la genèse du principe de l'inertie à partir d'exemples courants et utiliser ce principe pour mettre en évidence des forces. Le support de cette partie est la gravitation (du projectile au satellite). La conception aristotélicienne du mouvement (où la vitesse était le signe d'une force appliquée) est mise en regard de la conception galiléenne-newtonienne (c'est le changement de la vitesse qui révèle une force appliquée). Enfin on propose, par l'interprétation des concepts de température et de

pression en termes d'agitation moléculaire, de mettre en place le double regard allant *du monde microscopique au monde macroscopique*. L'objet d'étude support de cette partie est l'état gazeux.

Pour la *filière S*, la logique est différente : il s'agit dorénavant d'élèves se destinant en principe aux sciences. A l'objectif culturel s'ajoute celui de l'acquisition d'une certaine maîtrise technique, tant sur le plan théorique qu'expérimental, et celui d'une préparation à l'après-baccalauréat.

En classe de *première S*, la mise en place de la mécanique est poursuivie de façon progressive. La progression force-travail-énergie devrait permettre une meilleure appropriation du concept d'énergie que l'approche plus globale et plus ambitieuse, mais plus qualitative et plus incertaine aussi, du précédent programme. Le reste du programme a pour but d'*élargir* l'éventail des *phénomènes physiques* vus par les élèves, mais pour lesquels les exigences théoriques sont moins importantes : introduction de la loi de Coulomb, du champ magnétique, approche énergétique de circuits électriques en courant continu, optique géométrique.

En classe de *terminale S*, l'élève acquiert ce qui est nécessaire pour une première compréhension de ce que représente le *déterminisme* en physique : l'évolution d'un système repose sur l'ensemble constitué par une équation d'évolution et des conditions initiales. Les systèmes mécaniques fournissent les exemples les plus achevés de la démarche, mais celle-ci est illustrée également par des exemples relevant d'autres types de phénomènes : décroissances radioactives et systèmes électriques. L'élève constate que des phénomènes très différents peuvent être régis par des équations formellement semblables. Au cours de l'année, une nouvelle classe de phénomènes est introduite : les ondes (mécaniques). Pour cette partie, le formalisme est réduit au minimum : il s'agit, dans cette première approche, de se familiariser avec la phénoménologie des ondes progressives.

Le thème sous-jacent du programme de terminale S est donc *le temps*. Il s'agit en partie d'un retour sur le programme de seconde, où l'élève était initié à une première réflexion sur les échelles de temps des phénomènes observables. Trois ans plus tard, l'élève en détient certaines clefs de compréhension.

4. Rapports avec les discipline voisines

De façon générale, il existe dans la société actuelle une forte demande d'interdisciplinarité, et cette demande a été répercutée explicitement lors de la constitution des GTD en 1999, tout au moins en ce qui concerne les sciences expérimentales. Répondre à cette demande dans le cadre scolaire nécessite cependant d'en analyser la fonction afin de préciser des modalités concrètes de pratique interdisciplinaire et leurs limites.

L'existence de champs disciplinaires bien identifiés ne relève en effet pas de corporatismes dépassés, même si les frontières entre disciplines fluctuent au gré de leur développement et n'ont pas un sens absolu. Notre compréhension du monde naturel fait apparaître différentes échelles de structuration de la matière, d'où émergent ce que l'on peut appeler des *niveaux de réalité* bien définis. A chacun de ces niveaux correspondent des concepts, un langage, une culture spécifiques, dont il est important que l'élève, au cours de ses années de formation, saisisse le sens.

Mais le formidable succès du développement scientifique et technique fait surgir des problématiques nouvelles. Un exemple : si la production d'énergies utilisables ou l'industrie chimique ont des effets climatiques à long terme, il faut bien, à un moment ou à un autre, aborder ces différents aspects *ensemble* : ce qui apparaît comme un besoin d'interdisciplinarité n'est rien d'autre que l'émergence d'un niveau de réalité *nouveau*, qui peut se constituer à son tour comme un nouveau champ disciplinaire – en l'occurrence, les sciences de l'environnement.

Cette approche, centrée autour des *objets de connaissance*, permet d'aborder les rapports entre disciplines en évitant la notion de *discipline de service*, par exemple les mathématiques

pour la physique, la physique pour la chimie, la chimie pour la biologie. S'agissant par exemple des rapports entre les mathématiques et la physique, il suffit de prendre au sérieux l'idée que les mathématiques ne sont pas, contrairement à ce qu'on entend souvent, un simple *outil* pour la physique, mais qu'elles en sont *constitutives*, pour changer leur dialogue. L'utilisation parfois démagogique de l'idée que la physique peut se faire « avec les mains, sans équations » est, de ce point de vue, pernicieuse.

Plus généralement, des convergences thématiques peuvent être obtenues en recherchant des objets de connaissances dont la compréhension fait naturellement appel à des regards multiples.

Signalons enfin que la pratique du questionnement établit tout naturellement une liaison entre sciences et français : la langue naturelle est en effet celle de la question que l'on se pose et de l'analyse critique des résultats obtenus, théoriques ou expérimentaux.

Deux directions ont été explorées, qui demanderont à l'être plus dans le futur.

En première L, l'enseignement scientifique de physique-chimie et de sciences de la vie et de la Terre s'appuie, pour les deux-tiers du temps, sur des thèmes communs aux deux disciplines : les représentations visuelles du monde d'une part, l'alimentation et l'environnement de l'autre¹⁰.

En terminale S, sur la partie du programme relative à la radioactivité, un couplage fort physique-mathématique-sciences de la Terre a pu être établi : l'observation en travaux pratiques de physique de la désintégration du radon (gaz radioactif présent dans le sol en tout lieu) permet de se familiariser avec le phénomène de radioactivité (il faudra pour cela doter les établissements du matériel nécessaire) et de prendre conscience

¹⁰ Il est peut-être utile de signaler qu'un tel programme n'a pu être élaboré qu'à partir du moment où un *groupe mixte* comprenant des membres des deux GTD a été constitué.

de l'ordre de grandeur de la radioactivité naturelle ; en cours de mathématiques, les élèves étudient la loi de probabilité résultant des processus élémentaires de « mort sans vieillissement », et les sciences de la Terre utilisent la décroissance radioactive comme horloge¹¹.

5. Débats pédagogiques

Le résumé précédent indique quelques enjeux actuellement en débat dans l'application des nouveaux programmes.

- *Faire que les élèves perçoivent la dimension culturelle de la discipline.*
- *Faire que les élèves perçoivent l'unité de la discipline.*
- *Mettre en place une meilleure intrication entre les disciplines, y compris les disciplines littéraires.*
- *Mettre en place une pratique du questionnement : c'est probablement la question la plus difficile à résoudre pour les enseignants, puisqu'elle implique une modification des pratiques de classe.*

Signalons une dimension non encore abordée ici et qui relève probablement plus d'une pédagogie de projet comme celle que les Travaux personnels encadrés (TPE) tentent de mettre en place : celle des choix de société où la science est impliquée.

Qu'il s'agisse des questions relatives à l'approvisionnement en énergie dans les 50 ou 100 prochaines années, ou celles posées par la biologie, ou les modifications anthropiques de l'environnement, la société civile aura de plus en plus l'occasion de se prononcer sur des questions dans laquelle la science est partie prenante. Or la logique du laboratoire et celle de la cité ne sont pas les mêmes. Celle du laboratoire est, pour aller vite, celle du vrai et du faux (quels que soient les guillemets dont les uns ou les autres désirent encadrer ces notions), celle de la cité devrait

¹¹ Notons que là encore, ce travail a nécessité une « retraite » de quelques jours des trois groupes d'experts.

relever de la démocratie de la décision. La figure de l'*expert* est ici cruciale, car c'est lui qui est à la charnière du savoir scientifique et de la décision politique. Or les questions que la cité pose au spécialiste scientifique et qui transforme celui-ci en expert ne sont en général pas celles que le chercheur se pose dans son laboratoire. Le chercheur, au laboratoire, simplifiera son système jusqu'à obtenir des réponses fiables. À l'expert, la cité pose des questions auxquelles en général il ne sait pas répondre, car le système qu'il connaît est replacé dans la complexité du monde, et personne ne maîtrise les paramètres de cette complexité. Pensons à un spécialiste de l'eau auquel un Conseil Général va s'adresser pour évaluer le sort de tel ou tel cours d'eau. Le spécialiste, en tant qu'expert, est donc placé sur le terrain de l'*incertain*.

Comment traiter, dans l'enseignement, ce thème ? Comment développer cette *culture de l'incertain* dans les cursus scolaires ? Les nouveaux programmes de mathématiques ont donné une place plus grande aux statistiques et aux probabilités. Cette innovation importante aura des conséquences à long terme, notamment parce que les élèves percevront que l'aléatoire ne laisse pas totalement désarmé. Mieux même : certains processus totalement aléatoires peuvent conduire à des lois parfaitement déterministes. Le nouveau programme de terminale S de physique-chimie permet d'aborder cette question à plusieurs reprises : au sujet de la loi de décroissance radioactive en physique et au sujet de la notion d'équilibre en chimie.

6. Progression

Il n'y a pas eu, jusqu'à présent, de réflexion d'ensemble sur la progression de l'enseignement de la physique depuis le primaire jusqu'au lycée. L'ordre dans lequel les réformes récentes ont été mises en place : collège d'abord, puis lycée, enfin école primaire avec le Plan de rénovation de l'enseignement des sciences, cet ordre contingent va conduire dans les prochaines années à un effort d'homogénéisation qu'il

est prématuré d'aborder ici. On se bornera à risquer une remarque d'ordre général concernant la définition des disciplines.

L'identification de champs disciplinaires distincts fait partie, on l'a vu, de la progression de l'élève dans la connaissance des sciences. Il faut donc s'interroger sur la pertinence à distinguer physique, chimie, géologie, technologie, sciences de la vie, mathématiques en primaire ou dans les premières années de collège. Distinguer les sciences de la vie des autres sciences suppose de caractériser la vie et de s'intéresser aux processus qui lui sont spécifiques. Considérer la technologie comme *discipline à part* des sciences ne devient pertinent que lorsqu'on s'intéresse *dans le détail* aux processus de fabrication des objets : est-ce utile avant la classe de troisième ou de seconde ? Distinguer la chimie de la physique n'a pas grand sens avant la seconde (du reste, les programmes de collège n'insistent nullement sur la distinction), où il devient possible de commencer à caractériser l'échelle des phénomènes propres à la chimie. Sur un autre plan, comment traiter les rapports privilégiés que la physique entretient avec les mathématiques, qui constituent probablement la discipline la plus cumulative de toutes ?

Ne pourrait-on concevoir les années de collège et de lycée comme mettant en place un double mouvement d'éclatement d'une part et de recombinaison partielle d'autre part : de la « leçon de choses » à la mise en place des champs disciplinaires au cours des années de collège, puis la recombinaison de ces champs disciplinaires à travers des convergences thématiques sur le modèle de ce qui est proposé au sujet de la radioactivité en terminale S ?

Aux deux extrêmes, des objets de connaissance. Mais au début du collège, proposés pour des activités de démontage conceptuel ; à la fin du lycée, pour des activités de reconstruction.