

Revue de Métrologie
Poids et Mesures 27^e année n°1, 1949

L'Enseignement de la Physique

par M. Louis de BROGLIE, de l'Académie Française,

Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences (PRIX NOBEL)

On s'est peu préoccupé, semble-t-il, d'étudier l'histoire de l'enseignement des différentes sciences. Cette histoire, si on la faisait, montrerait sans aucun doute que l'enseignement d'une science est toujours un peu en retard sur son état actuel. En un sens, cela est normal car on ne doit introduire dans l'enseignement que des résultats bien établis qui ont résisté victorieusement à l'épreuve du temps et de la critique et qui sont en quelque sorte venus prendre leur place dans le cadre général de nos connaissances. Néanmoins, cette « inertie » de l'enseignement vis-à-vis des progrès aujourd'hui si rapides des sciences n'est pas sans présenter quelques inconvénients, voire quelques dangers : elle risquerait même de ralentir ce progrès si elle avait pour résultat de donner aux jeunes esprits en formation une vue trop archaïque et trop statique de la Science et les empêchait d'apprécier l'importance des conquêtes nouvelles. Dans l'enseignement des sciences, comme dans beaucoup d'autres domaines, la vérité est dans un juste milieu ; au prix d'un effort continu d'adaptation, il faut conserver ce qui mérite d'être conservé et renouveler ce qui doit être renouvelé.

Le problème se pose avec une acuité particulière dans une science en très rapide évolution comme la Physique. Il prend même ici un aspect particulier par le fait que la Physique est aujourd'hui scindée en deux parties qui, bien qu'ayant de nombreux contacts, sont cependant très distinctes : la Physique des phénomènes à grande échelle dite souvent « Physique classique » parce qu'elle fut la première constituée, et la physique des phénomènes à très petite échelle ou « Physique atomique » dont le développement extrêmement rapide n'a commencé qu'il y a une cinquantaine d'année. La Physique classique, dans laquelle on peut faire rentrer la Mécanique qui est une branche de la Physique, s'occupe de connaître et d'interpréter les faits physiques que nous pouvons directement observer autour de nous ; elle étudie les mouvements, les vibrations, les sons, la capillarité, la chaleur, l'électricité et le magnétisme, la lumière... Dès l'Antiquité, les philosophes de la Grèce se sont préoccupés d'étudier ces phénomènes, mais c'est surtout à partir du XVII^e siècle que cette physique classique a pris son essor. Le XIX^e siècle en a vu le plein épanouissement et, bien qu'il reste dans son domaine encore bien des problèmes à résoudre et des recherches à effectuer, elle a atteint aujourd'hui un haut degré de perfection. Aussi a-t-elle depuis longtemps pénétré dans tous les ordres d'enseignements. Dans tous les programmes de Physique, depuis l'enseignement du premier degré jusqu'à l'enseignement supérieur, on voit figurer, plus ou moins développées naturellement, des notions de Mécanique, d'Acoustique, de Thermodynamique, d'Electricité ou d'Optique. Il en est de même dans l'enseignement technique, ce qui est bien naturel puisque la Physique classique reste encore à l'heure actuelle à la base de la plus grande partie des applications de la Physique.

Mais, nous l'avons dit, depuis plus de 50 ans, les physiciens ont tourné une part importante de leurs efforts vers l'étude de la Physique atomique ; ils ont réalisé de ce côté des

progrès admirables tant par leur rapidité que par les horizons nouveaux qu'ils nous ont ouverts sur les très petites structures de la matière. De la découverte des électrons et de la radioactivité jusqu'à la conquête de l'énergie nucléaire, la Physique atomique a, depuis un demi-siècle, volé de succès en succès. Et, comme il arrive toujours en pareille matière, ces succès ont ouvert aux hommes de nombreuses possibilités nouvelles dans le domaine de la pensée et dans celui de l'action. Du point de vue spéculatif, nous avons acquis une connaissance beaucoup plus complète de la matière, identifiant et étudiant les diverses sortes de particules élémentaires, apprenant à connaître la structure des atomes et des molécules et retrouvant ainsi, sous une forme nouvelle, la vieille hypothèse atomique de la matière, découvrant même l'existence d'une structure corpusculaire de la lumière que le succès des théories ondulatoires de Fresnel et de Maxwell avait conduit à écarter. La structure et la stabilité des édifices atomiques ont pu être précisées ; les interactions entre la matière et le rayonnement (émission, absorption, diffusion des radiations par la matière) ont pu être mieux comprises. La théorie des Quanta, la Mécanique ondulatoire, la théorie quantique des champs sont arrivées à rendre compte, dans des synthèses logiquement cohérentes, d'un grand nombre de phénomènes de l'échelle atomique ; mais cela n'a pas été sans peine et, pour réconcilier des phénomènes en apparence contradictoires, il a fallu introduire des idées entièrement nouvelles et tout à fait étrangères à la Physique classique. Il en est résulté un élargissement considérable de nos conceptions, et cette véritable révolution intellectuelle, qui comporte d'importants aspects philosophiques, ne doit plus aujourd'hui être entièrement ignorée des esprits cultivés. Mais, si du point de vue spéculatif la Physique atomique nous a apporté des connaissances et des conceptions du plus haut intérêt, elle nous a aussi, parce qu'en définitive savoir c'est pouvoir, permis de réaliser des applications nouvelles. Il est presque inutile de rappeler que l'Electronique est devenue à elle seule une branche capitale de la Physique appliquée dont dérivent en particulier tous les progrès de la Radioélectricité, de la Télévision et de l'Optique électronique. Le phénomène de la diffraction des électrons par les structures cristallines, prévu par la Mécanique ondulatoire et dont la découverte fut pour la confirmation de cette théorie hardie l'expérimentum crucis, est aujourd'hui utilisé pour l'étude des états de surface. Quant à nos connaissances sur les noyaux des atomes, nous savons tous qu'après avoir semblé pendant quelque temps n'être que des curiosités pour physiciens, elles se sont révélées comme mettant entre les mains des hommes le plus formidable moyen d'action dont ils aient jamais disposé.

Le développement en quelque sorte explosif de la Physique atomique pose la question des répercussions qu'il doit avoir sur l'enseignement de la Physique. Celui-ci est encore presque entièrement consacré à la Physique classique : à peine voit-on apparaître dans certains programmes récents quelques timides allusions aux découvertes de la Physique atomique. Doit-on changer complètement ces programmes ? Doit-on ajouter à l'enseignement de la Physique classique celui de la Physique atomique ou même, du moins en partie, substituer l'enseignement de la Physique atomique à celui de la Physique classique ? Le problème est grave : il est particulièrement difficile à résoudre dans les établissements supérieurs et dans les grandes écoles où l'on cherche à donner aux élèves, en un temps souvent très limité, une vue complète et approfondie de l'état actuel de la Science. Naturellement, ici comme ailleurs, on trouvera des « conservateurs » qui plaideront en faveur du maintien plus ou moins intégral des programmes actuels, et des « réformistes » qui feront valoir la nécessité de les rajeunir entièrement en les mettant au niveau de l'état présent de la science. Examinons sans passion les arguments que les uns et les autres peuvent faire valoir en faveur de leur opinion.

Les partisans du maintien des programmes actuels feront d'abord valoir, et non sans raison, que la Physique classique est beaucoup plus « stabilisée » que la Physique atomique. Tandis que la Physique atomique, en tumultueux développements, risque sans cesse d'être amenée à modifier ses points de vue et ses conceptions, la Physique classique, comme ces terrains anciens où les tremblements de terre et les manifestations du volcanisme ne sont plus guère à craindre, paraît à l'abri des trop grands changements. Les théories qu'elle enseigne, appuyées sur d'innombrables et solides expériences, approfondies depuis des décades par des esprits éminents, conservent toute leur valeur dans un large domaine d'applications. La Mécanique classique de Newton garde toute sa valeur pour la plupart des problèmes de la Mécanique céleste et de la Mécanique terrestre : sur ces terrains très étendus, elle reste et restera inexpugnable. Sans doute, pour étudier le mouvement des électrons et autres particules élémentaires, il faut faire appel à la Mécanique relativiste d'Einstein, puis à la Mécanique ondulatoire ; sans doute, pour interpréter certains phénomènes très délicats de l'Astronomie, il faudra faire appel à la théorie de la Relativité généralisée, mais ce sont là des problèmes assez particuliers, et l'élève d'aujourd'hui, s'il veut demain se spécialiser dans leur étude, aura toujours le temps d'apprendre les théories nouvelles dont il aura besoin. Il pourra alors appuyer ses connaissances nouvelles sur le fondement solide de la Mécanique et de la Physique classique, qu'il aura eu le temps de bien approfondir, ne s'étant pas aventuré trop prématurément sur le terrain encore assez mouvant par endroits des théories de la Physique contemporaine. D'ailleurs, ces théories contemporaines sont difficiles, plus rebelles à notre intuition que les conceptions classiques, et les élèves en cours de formation dans l'enseignement supérieur n'ont pas encore la maturité d'esprit suffisante pour en aborder l'étude avec fruit et, pourrait-on dire, sans danger, le danger étant ici la confusion d'idées que peut produire l'ingestion trop rapide de notions mal comprises et insuffisamment « digérées ». Il faut bien dire qu'il y a du vrai dans toute cette argumentation.

Et puis, ajoutera-t-on, un grand nombre de ceux qui étudient la Physique dans les écoles supérieures ont en vue de devenir non pas des physiciens purs ou des professeurs, mais des techniciens et des ingénieurs, et il convient de leur apprendre avant tout ce qui peut leur être utile dans leur future carrière. Or, actuellement, mises à part l'Électronique dont le domaine très vaste est néanmoins particulier, et quelques techniques très spéciales comme l'étude des états de surface par exemple, c'est encore la Physique classique qui règne en maîtresse sur la presque totalité des applications techniques ou industrielles dans le domaine de la Mécanique appliquée, de la Thermodynamique, de l'Électricité industrielle et de l'Optique instrumentale. Sans doute, les utilisations de l'énergie nucléaire joueront-elles peut-être un grand rôle dans la civilisation de demain, mais il s'écoulera probablement encore pas mal d'années avant qu'elles ne soient d'un usage courant. Puisque le temps consacré à l'enseignement de la Physique est nécessairement limité, ne vaut-il pas mieux enseigner aux élèves les connaissances qui ont le plus de chance d'être utiles à la majorité d'entre eux, d'autant plus que ces connaissances sont aussi les plus facilement accessibles ? Ceux qui, plus tard, physiciens, professeurs ou ingénieurs, auront besoin de connaître les résultats nouveaux de la Physique, les apprendront d'autant plus facilement que leur formation classique aura été plus solide et qu'ils auront mieux appris dans un domaine relativement aisé l'usage des idées claires et des raisonnements corrects. Et tout cela, encore, paraît très raisonnable.

Passons maintenant aux arguments des tenants de l'opinion opposée. Il leur paraît tout d'abord absolument inacceptable que des jeunes gens ayant fait des études supérieures de Physique puissent ignorer presque totalement les découvertes les plus remar-

quables, disons les plus sensationnelles, de la Physique contemporaine. Alors que même le grand public a entendu parler des progrès de la Physique atomique, de la libération de l'énergie nucléaire, voire même des aspects philosophiques des théories relativistes et quantiques, est-il admissible qu'un jeune savant diplômé n'ait pas sur ces questions des données précises ? Certes, ces questions sont difficiles, mais n'est-ce pas en exerçant les jeunes esprits à une gymnastique intellectuelle ardue qu'on les rendra plus propres à comprendre et à utiliser les conquêtes chaque jour plus complexes de la science ?

Et puis, logiquement, la connaissance des phénomènes physiques à très petite échelle devrait précéder celle des phénomènes physiques à grande échelle, car ceux-ci doivent en dernière analyse s'expliquer par ceux-là. Les propriétés que nous constatons dans les corps solides, liquides ou gazeux, dérivent des propriétés et des interactions de leurs atomes et de leurs molécules : la théorie cinétique des gaz nous en apporte une preuve frappante. Comment comprendre le véritable sens des notions thermodynamiques telles que celles de température et d'entropie, si l'on ne connaît pas l'interprétation qu'en donne la Mécanique statistique ? La Thermodynamique classique est une belle science « drapée dans ses symboles » ; mais elle est froide et austère, elle ne s'anime et ne s'éclaire que si on la vivifie en l'interprétant à l'aide des images atomiques et statistiques. De son côté, la Mécanique classique n'est qu'une première approximation de la Mécanique relativiste, et, l'une comme l'autre, ne sont que des premières approximations de la Mécanique ondulatoire. N'aurait-on pas aujourd'hui une vue plus exacte des théories de la Mécanique en étudiant d'abord les formes les plus approfondies et les plus complètes de ces théories, pour en voir dériver ensuite, à titre de dégénérescences, les formes les plus usuelles et les plus anciennes ? Celui qui n'a étudié que les équations classiques de l'électromagnétisme et l'interprétation de la lumière par la théorie des ondes n'a pas une vue complète de l'état actuel des questions ; peut-on lui laisser ignorer que le champ électromagnétique est quantifié et qu'il y a des photons dans la lumière ? Ne serait-il pas plus logique de partir de l'existence des photons et de montrer que les équations de Maxwell et la théorie électromagnétique de la Lumière sont un résultat macroscopique des lois statistiques qui les régissent ? Si certains de ces arguments sont en pratique contestables, il est évident qu'en principe ils sont parfaitement exacts.

Enfin, les réformateurs insisteront sur le fait que des branches déjà étendues de la technique, telle que la Radioélectricité et les autres rameaux de l'Electronique, jouent à l'heure actuelle un rôle très important dans l'industrie et dans la civilisation contemporaines. Ils feront valoir que l'utilisation de l'énergie atomique peut, plus rapidement qu'on ne pourrait le croire, bouleverser entièrement les conditions du progrès industriel dans un monde où les combustibles s'épuisent et où il faudra bien les remplacer par d'autres sources d'énergie. Dès aujourd'hui, diront-ils, il faut tourner l'attention des jeunes gens vers ce qui sera bientôt le principal aliment de l'industrie humaine, d'autant plus que dans ce domaine nouveau d'applications presque tout reste encore à faire.

Nous voulons essayer maintenant, en tenant compte des arguments brandis de part et d'autre, d'arriver à dégager une sorte de conclusion moyenne. On peut, nous semble-t-il, accorder à ceux qui défendent le maintien des programmes actuels qu'un enseignement trop développé de la Physique nouvelle dans les Ecoles supérieures non spécialisées dans cette étude comporterait des inconvénients et des dangers, parce que cette Physique nouvelle compte encore des parties en pleine évolution et parce que ces conceptions sont souvent difficiles à bien assimiler : on risquerait d'encombrer la mémoire des élèves d'idées exactes mais mal interprétées, ou d'affirmations qui seraient promptement démenties

par les progrès de la Science, ce qui, dans l'un ou l'autre cas, risquerait d'engendrer dans leur esprit la confusion ou le scepticisme. Pareille chose risque infiniment moins d'arriver dans l'enseignement de la Physique classique où nos connaissances sont d'un abord plus aisé et reposent le plus souvent sur des bases mieux assurées.

Nous accorderons aussi aux « conservateurs » que l'argument de leurs adversaires fondé sur une sorte d'antériorité logique de la Physique atomique sur la Physique classique n'est pas convaincant. Assurément, du point de vue philosophique, cette antériorité existe, et l'un des buts de la Physique théorique, qui est peut-être même son but essentiel, doit être de montrer comment les lois des phénomènes molaires résultent statistiquement des lois (à caractère probabiliste, nous le savons aujourd'hui) des phénomènes corpusculaires. Mais cette synthèse est loin d'être achevée et, dans les parties où elle commence à nous apparaître, elle présente souvent un caractère de complexité telle qu'il ne peut pas être sérieusement question de l'introduire dans l'enseignement non spécialisé : comment faire comprendre à des élèves non spécialisés que l'existence des photons est compatible avec la validité à grande échelle des équations de Maxwell pour le champ électromagnétique, alors que la démonstration de ce fait exige l'intervention des conceptions les plus délicates de la théorie quantique des champs et que les spécialistes de ces questions ont souvent, eux-mêmes, la plus grande peine à les exposer clairement ? Assurément, il est plus facile de faire comprendre comment la mécanique statistique, jointe à l'hypothèse atomique, peut rendre compte des lois classiques de la Thermodynamique. Mais un élève qui aura consacré beaucoup de temps à comprendre la Mécanique statistique et aura souvent, de ce fait, car son temps est toujours limité, négligé de s'exercer aux applications de la Thermodynamique classique, saura-t-il résoudre les problèmes les plus simples concernant par exemple les machines thermiques ? Peut-être pas ; et, s'il est destiné à devenir ingénieur, on voit à quel point sa formation s'en trouvera rendue insuffisante.

Il y a d'ailleurs une raison très forte pour ne pas suivre dans l'enseignement l'ordre logique qui, partant de l'échelle moléculaire, chercherait à s'élever à l'échelle molaire, mais de suivre précisément l'ordre inverse. C'est qu'en effet cet ordre inverse est celui même que les hommes ont suivi dans leur connaissance progressive des phénomènes physiques, et *qu'ils devaient nécessairement suivre*. Les premiers phénomènes physiques que l'homme ait constatés sont ceux qu'il peut percevoir directement avec ses sens sans le secours d'aucun instrument, ni d'aucune interprétation théorique : ce sont nécessairement, par leur nature même, des phénomènes molaires. Ces phénomènes, il lui a fallu déjà beaucoup de peine et de travail pour arriver à les classer et à les interpréter dans le cadre de ce que nous appelons maintenant la Physique classique. Ce n'est que beaucoup plus tard, il n'y a guère plus d'un demi-siècle, qu'il est parvenu, par des moyens indirects, à l'aide d'appareils délicats et en faisant constamment des interprétations théoriques, à découvrir et à étudier les phénomènes particuliers et à constituer ainsi la Physique atomique au sens large du mot. Or, de même que le fœtus d'un être vivant passe par des phases successives qui récapitulent l'évolution de l'espèce à laquelle il appartient, de même l'esprit de l'enfant et du jeune homme récapitule en quelque sorte l'histoire de l'esprit humain. L'enfant s'intéresse uniquement au monde molaire parce que c'est lui qu'il apprend à connaître par ses sensations naïves : il n'en aura d'abord qu'une connaissance confuse, elle ne s'éclaircira qu'au moment où se développeront dans son esprit les facultés d'abstraction et de généralisation. Le jeune homme qui aborde l'étude scientifique de la Physique ne conçoit bien encore que le monde molaire : il doit, nous semble-

t-il, continuer à revivre l'histoire de l'esprit humain en apprenant d'abord la Physique du monde molaire, c'est-à-dire la Physique classique. Ensuite, s'il en a le goût, il pourra chercher à dépasser les limites de ce terrain solide pour se lancer dans les recherches plus périlleuses de la Physique atomique. C'est pourquoi nous pensons que la Physique classique doit conserver, dans le premier enseignement de la Physique supérieure, une place prépondérante.

Cela veut-il dire que tout est à rejeter dans l'opinion de ceux qui veulent introduire la physique atomique dans l'enseignement ? Non, assurément. D'abord, ils ont raison d'affirmer qu'à l'heure actuelle un esprit cultivé, et à plus forte raison un jeune savant, ne doit pas ignorer les découvertes capitales de la Physique contemporaine. Ils n'ont sans doute pas non plus tort de dire que la Physique atomique, dont la connaissance est déjà très utile à beaucoup d'ingénieurs, peut être appelée beaucoup plus vite qu'on ne le pense, et notamment par l'utilisation de l'énergie atomique, à prendre une place essentielle dans la technique et dans la civilisation humaine. Il importe donc de donner aux élèves de Physique dans les écoles supérieures, et peut-être même déjà dans l'enseignement élémentaire, quelques notions précises sur les principales découvertes et les principales conceptions de la Physique atomique, sans entrer dans trop de détails et nuire par cela à l'étude plus approfondie de la Physique classique. On éveillera ainsi leur curiosité, on leur donnera en cette matière une culture générale indispensable aujourd'hui, on les préparera à aborder plus tard, s'ils le désirent, l'étude de ces problèmes complexes à un âge où leur maturité sera suffisante pour qu'ils en tirent profit et ne risquent plus de s'y égarer.

Examen approfondi de la Physique classique, vue générale sur la Physique atomique sans entrer trop dans des détails incertains ou difficiles, telle nous paraît être la meilleure formule pour les débuts de l'étude de la Physique supérieure dans les établissements de haut enseignement. Naturellement, si les études se prolongent, si les élèves ont en vue de devenir des physiciens ou des professeurs d'un niveau élevé, l'heure viendra pour eux d'approfondir la Physique atomique sous tous ses aspects, mais ce travail ne leur sera profitable et sans inconvénient que s'ils possèdent en Physique classique des bases bien assurées.

Peut-être, quand la Physique atomique sera plus sûre de ses résultats, quand l'habitude nous aura rendu ses méthodes plus familières, en un mot quand l'esprit humain sera en ce sens plus évolué, un moment viendra-t-il où un enseignement plus précoce de la Physique atomique deviendra possible et même utile. Mais ce n'est pas encore pour demain.

Louis DE BROGLIE,
de l'Académie Française.

Lutzana
Balances et Bascules
automatiques et électro-optiques
BAGNOLET PRÈS PARIS - **SUCCURSALE A LYON**
68 AV GAMBETTA AUTOBUS 76 ou 101 - **10 RUE TRONCHET**