

só nós, professores de Física, podemos observar, é o de se escolherem sempre, para exercícios de aplicação, equações que tenham raízes inteiras. Compreendemos que haja interesse em escolhê-las deste modo durante os primeiros tempos do ensino pois isso facilita a verificação do resultado a que os alunos chegaram. Mas que se faça isso, e só isso, sistematicamente (nos primeiros anos, repetimos), é que não achamos admissível. As suas consequências são graves. Durante o 4.º, 5.º e 6.º anos dos liceus, o aluno (caso muitíssimo geral) só tem conhecimento das raízes inteiras da equação. Vai para a Física, aplica-lhe a sua Matemática e, se o resultado final tem que ser obtido por meio dum cociente, o aluno põe-se à espera de qualquer destas duas consequências: ou o resto desse cociente é zero e então tudo lhe corre às mil maravilhas (o problema está certo, com certeza); ou o resto é diferente de zero e então... o problema está errado.

É ver o desprevenido estudante olhar desconfiado para o professor e balbuciar: «mas isto não dá resto zero!» ou então «isto não dá contas exactas!» Esta é a verdade que a prática nos tem ensinado: os alunos só «acreditam» que um problema de Física está certo quando, na hipótese de obterem o resultado final por meio dum cociente, o resto deste seja zero. Tudo aliás se conjuga para que o erro se mantenha e prolongue: o ensino da Matemática, os problemas que se escolhem, nas aplicações, para que nunca se fuja a resultado tão agradável, e até os pontos de exame, de Física e de Química, onde os valores numéricos que se atribuirão às grandezas, são propositadamente escolhidos, a título de «facilitar as contas», de modo que tudo se resolva sem o menor esforço. Isto é deveras seducativo porque afasta completamente a escola da vida. Parece-nos que o assunto merece ser ponderado.

ANTOLOGIA

SCIENCE ET TECHNIQUE

par Paul Langevin

Extracto da última conferência do grande cientista Paul Langevin, recentemente falecido, intitulada *La Pensée et l'Action* e editada pela «Union Française Universitaire». A «Gazeta de Matemática» presta, assim, à memória do grande físico, uma simples homenagem.

Notre science est issue, pour une grande part, des besoins de l'action. Cela est bien connu pour les mathématiques, depuis l'arithmétique et la géométrie jusqu'au calcul différentiel et intégral. Les progrès de l'astronomie sont liés soit au problème de la mesure du temps, soit au désir de prévoir les positions relatives des astres ou l'avenir des hommes, soit, dans l'antiquité comme à l'époque de la Renaissance, aux besoins croissants de la navigation. L'optique, telle qu'elle a été développée surtout par Galilée, Kepler, Descartes, Newton, a suivi une marche parallèle à celle de l'astronomie dont elle s'est efforcée de satisfaire le besoin toujours plus grand de précision dans l'observation du ciel.

A peu près à la même époque, le développement de la mécanique, qui a commencé également avec Galilée, Descartes, Huyghens et qui s'est épanoui avec Newton est étroitement lié aux problèmes posés par la balistique et par l'astronomie. Le calcul différentiel et intégral a été créé au dix-septième siècle pour répondre aux questions posées par les méca-

niens, les balisticiens et les architectes. Au dix-neuvième siècle, la thermodynamique et la connaissance précise des lois qui régissent les gaz et les vapeurs se sont développées lorsque les applications de la machine à vapeur ont commencé à prendre une importance essentielle. Et depuis que, sous cette influence, notre grand Sadi-Carnot a énoncé pour la première fois les principes essentiels de la thermodynamique, cette science domine une grande partie de la physique et de la chimie pures ou appliquées. Ainsi, dans tous ces exemples, les besoins de l'action ont déterminé l'activité de la pensée.

En sens inverse, les besoins de la pensée une fois manifestés, le souci de comprendre, ce que j'ai appelé la «sainte curiosité» ne laissent pas à l'esprit de repos tant qu'il n'a pas contruit une interprétation des phénomènes naturels, soit pour calmer l'inquiétude ancestrale, soit, de plus en plus nettement, dans un but de satisfaction intellectuelle. Les résultats de cette recherche, la science pure qu'elle permet de créer, se sont montrés d'une surprenante fécondité au point de

vue de l'action par les applications imprévues auxquelles ils ont donné lieu.

En suivant la voie qui conduit à la science par les besoins de l'action, on sait à l'avance ce qu'on veut obtenir et on cherche des moyens de plus en plus rationnels et précis pour y parvenir.

Dans le second cas, au contraire, ce qui est particulièrement impressionnant c'est que le seul souci de comprendre conduit à des applications bien plus merveilleuses que les rêves les plus ambitieux. Il en est ainsi, par exemple, pour l'oeuvre de Pasteur qui, parti d'un problème purement physico-chimique et cristallographique a été conduit . . . à l'étude des fermentations puis à la découverte du monde microbiologique et à une puissante action sur les maladies qu'il n'avait absolument pas en vue au départ et que personne n'aurait cru possible avant qu'elle apparaisse comme le résultat d'une recherche de science pure.

Même surprise dans le cas de Berthelot, dont les recherches de synthèse organique, entreprises pour résoudre la question des forces vitales, pour savoir si les produits engendrés *in vivo* pouvaient l'être *in vitro*, ont donné lieu à l'extraordinaire développement industriel des matières colorantes, des parfums, des produits pharmaceutiques, des matières plastiques, avec une richesse et une diversité qui dépasse de loin la nature elle-même.

C'est surtout dans le domaine de l'électricité que se sont révélées des possibilités complètement insoupçonnées, des applications merveilleuses que, pour ma part, je ne me lasse pas d'admirer. La possibilité de communiquer en moins d'un dixième de seconde avec un point quelconque de la surface de la Terre, par radiotélégraphie, radiophonie ou télévision et même de prendre contact avec la Lune par écho hertzien dépasse ce que l'imagination la plus ardente aurait pu prévoir il y a cinquante ans. Le savant ou le technicien qui se serait posé a priori de semblables problèmes aurait été pris pour un fou, et légitimement puisqu'il n'aurait aucune chance d'aboutir. Et pourtant tout cela devait sortir des recherches complètement désintéressées concernant le mystérieux phénomène de l'écille électrique connu depuis l'antiquité.

Non seulement une première application de ces recherches a été celle du paratonnerre de Franklin, mais, un siècle plus tard, a commencé le merveilleux développement de l'électrotechnique prolongé par celui de la radiotechnique et appelé à transformer complètement les conditions d'existence des hommes.

On ne se lasse jamais de rappeler le coup de génie de Maxwell qui, par souci d'esthétique et pour mettre plus de symétrie et de cohérence dans les équations de l'électromagnétisme, a modifié certaines d'entre

elles, et concluant, des équations ainsi modifiées, à l'existence possible d'ondes de nature électromagnétique se propageant avec la même vitesse que la lumière. De là deux conséquences d'importance capitale, l'une d'ordre théorique, l'autre d'ordre expérimental. D'une part, la théorie électromagnétique de la lumière est venue libérer la physique des difficultés que laissait subsister après Fresnel la théorie des ondulations; d'autre part, l'Académie de Berlin ayant mis au concours en 1880 la vérification expérimentale des idées de Maxwell, Henri Hertz réussit en 1887 à produire électriquement les ondes prévues par Maxwell et à leur reconnaître les propriétés d'une lumière de grande longueur d'onde. Puis les ingénieurs s'en sont emparés et ont créé notre radiotechnique actuelle.

C'est encore le souci de comprendre le mécanisme du courant électrique qui, par l'étude de la décharge dans les gaz raréfiés, a conduit à la découverte des rayons cathodiques et de la structure granulaire de l'électricité, de l'électron, première étape franchie il y a cinquante ans dans l'exploration précise du monde des atomes. Une première série d'applications absolument imprévisibles est celle des rayons cathodiques à l'oscillographie, c'est-à-dire à l'analyse des phénomènes dans le temps à l'échelle du dix-millionième de seconde, d'où la possibilité de la télévision, par exemple, et du radar dont la carrière commence à peine et qui s'est déjà montré d'une extraordinaire souplesse.

Plus surprenante et susceptible d'applications plus merveilleuses encore, est la chaîne continue des découvertes qui a suivi celle des rayons cathodiques et dont chacune a entraîné la suivante: rayons X, radioactivité naturelle puis artificielle, chimie nucléaire, libération de l'énergie atomique.

Ainsi, non seulement la pensée résout des problèmes posés par les besoins de l'action, mais encore, une fois mise en marche et construisant la science pure, elle se montre d'une extraordinaire fécondité pour créer de nouvelles possibilités d'action.

Il semble même qu'on puisse aller plus loin et affirmer qu'aucune recherche vraiment scientifique, si abstraite et désintéressée qu'elle paraisse, ne reste sans trouver tôt ou tard ses applications, qu'aucun effort de pensée n'est perdu pour l'action. Je viens d'en donner des exemples dans le domaine des sciences physico-chimiques; il en est de même pour les sciences naturelles et pour les mathématiques.

Les recherches si longtemps méconnues de Mendel sur l'hérédité sont à l'origine d'une science nouvelle, la génétique, dont les applications se font de plus en plus importantes et nombreuses.

En mathématiques, les exemples abondent. Les anciens géomètres comme Euclide et Apollonius s'étaient intéressés aux courbes qu'ils ont appelées coniques

puisqu'on les obtient par section plane d'un cône de révolution. Ils en ont étudié avec beaucoup de soin les propriétés. C'était là, je crois, curiosité pure puisqu'il a fallu attendre deux mille ans pour que Kepler et Descartes en trouvent des applications, le premier à l'astronomie en énonçant les lois du mouvement elliptique des planètes et préparant ainsi l'oeuvre de Newton, le second en résolvant, grâce à sa connaissance approfondie des propriétés des coniques, les problèmes posés par Kepler de la loi de réfraction de la lumière, et de l'anaclastique ou dioptré parfait qui donne, d'un point à l'infini, comme une étoile, une image réellement ponctuelle.

Des applications peut-être encore plus imprévues sont celles des nombres que les algébristes du dix-septième siècle ont appelés imaginaires et qu'ils ont introduits pour permettre de résoudre toutes les équations du second degré et par suite, comme l'a montré d'Alembert, toutes les équations d'un degré quelconque. Ils ne se doutaient pas que ces nombres imaginaires fourniraient aux ingénieurs électriciens d'aujourd'hui le moyen le plus simple pour traiter les problèmes posés par la technique des courants alternatifs. La physique moderne, et particulièrement la mécanique ondulatoire font un usage constant de ces nombres complexes.

Il en est de même pour la théorie des groupes, branche des mathématiques développée surtout après les travaux d'Evariste Galois, mort à vingt ans en 1831. Cette théorie, dont le but primitif était d'éclairer profondément le mécanisme de l'algèbre et ce qui concerne la résolution des équations algébriques, s'est singulièrement élargie et trouve maintenant des applications dans tous les domaines des mathématiques et de la physique; en géométrie, en cristallographie, en théorie des quanta, en théorie de la relativité il n'est plus possible de se passer de la notion de groupe. En relativité restreinte, par exemple, un rôle fondamental est joué par un groupe de transformations que nous appelons le groupe de Lorentz. M. Elie Cartan a montré combien la notion de groupe éclaire ce qui concerne la difficile théorie de la relativité généralisée grâce à laquelle le génie d'Einstein a pu résoudre les difficultés que laissait subsister la mécanique céleste de Newton et aborder ou résoudre de manière entièrement nouvelle les problèmes de la gravitation et de la structure de l'Univers.

Cette théorie, qui nous apporte la représentation du monde la plus satisfaisante obtenue jusqu'ici fait usage, non seulement de la théorie des groupes, mais encore d'autres parties des mathématiques développées antérieurement sans aucun souci des applications, par exemple de la théorie des tenseurs qui fournit actuellement à la physique le moyen le plus souple et le

plus parfait de représentation des grandeurs, et aussi des géométries non euclidiennes ou non riemaniennes construites par les mathématiciens dans un but exclusif de clarification et de généralisation.

Il est très remarquable que ces géométries les plus générales qui on trouvé d'abord leur application en physique en permettant d'unifier profondément les deux sciences jusque là indépendantes que sont la physique et la géométrie, ont trouvé récemment leur emploi en électrotechnique. Quelques années avant la guerre, j'ai fait partie à Liège d'un jury chargé d'examiner des travaux des candidats au prix Montefiore; nous avons été unanimes pour donner la première place à un ingénieur américain, Gabriel Kron, qui a montré combien l'emploi des géométries les plus générales et du calcul des matrices, intimement lié au calcul tensoriel, permet de simplifier et de généraliser la solution des problèmes d'électrotechnique concernant la construction et le calcul des machines à courant continu ou à courant alternatif.

Je vous conterai encore l'histoire du major Mac Mahon qui s'occupait de théorie des nombres et plus particulièrement du difficile problème des carrés magiques. Quand on lui demandait la raison de cette préférence, il répondait, soucieux de ne pas laisser abîmer par l'usage les outils délicats qu'il forgeait: «Parce que c'est la seule partie des mathématiques qui ne puisse servir à rien». Il est mort avant d'avoir eu le chagrin de constater que ses carrés magiques fournissent le moyen le plus simple pour résoudre les problèmes d'armures posés par la technique du métier Jacquart. Georges Teissier me dit qu'ils rendent également des services dans la solution de problèmes agricoles tels que celui de la rotation des cultures.

Si tout effort de pensée vient ainsi féconder l'action, réciproquement le développement de la technique vient mettre au service de la science des moyens d'action toujours plus puissants sans lesquels certaines recherches seraient impossibles. Le cyclotron, par exemple, qui permet d'opérer des transmutations en lançant des noyaux atomiques les uns contre les autres, le grand électro-aimant de Bellevue, utilisent des courants électriques puissants que seules les grandes stations centrales modernes sont capables de fournir. Le développement des industries métallurgiques, travaillant en liaison avec les laboratoires de recherche, a permis de créer des alliages nouveaux dont les propriétés élastiques, thermiques ou magnétiques viennent constamment apporter à la science de nouveaux moyens d'investigation. Ainsi nous constatons, dans l'état actuel des choses, une solidarité de plus en plus étroite, une liaison de plus en plus intime entre la science et la technique, entre les formes modernes de la pensée et de l'action.