

L'HISTOIRE DE LA PHYSIQUE PEUT-ELLE ECLAIRER LES OBSTACLES EPISTEMOLOGIQUES ?

Jean Rosmorduc

Le concept d'obstacle épistémologique a été défini par G. Bachelard à partir de ses études sur l'histoire de la physique et de la chimie et de son expérience d'enseignant de sciences physiques. Le présent article propose une analyse de l'évolution de la physique des origines à nos jours et met l'accent sur quelques-uns des problèmes rencontrés par l'historien de la physique. Au fil du travail, quelques cas d'obstacles épistémologiques sont exposés.

obstacles épistémologiques, histoire des sciences ...
et pédagogie

Dans un livre récent, J.L. Martinand, dans le cadre d'un développement sur le concept d'"objectif-obstacle" qu'il a proposé, rappelle que la source théorique en est "la notion d'obstacle épistémologique, élaborée par Bachelard en explorant l'histoire des idées scientifiques". Partant, il envisage de "faire rejoindre deux courants : celui des pédagogues qui cherchent à travers les objectifs à rendre plus efficaces les actions didactiques et celui des épistémologues qui s'intéressent aux difficultés qu'affronte la pensée scientifique" (1). Je voudrais dans le présent article, non seulement relever au fil de l'histoire de la physique quelques exemples qui illustrent la conception de l'auteur de "La formation de l'esprit scientifique", mais aussi, en analysant quelques-uns des problèmes qui se posent à l'historien des sciences, contribuer à l'instauration de cette collaboration que J.L. Martinand appelle de ses vœux. Aux didacticiens ensuite de dire si les approches évoquées sont susceptibles d'apporter des éléments aux procédures d'apprentissage des sciences physiques.

Dans mon esprit, il ne s'agit que d'une illustration de différentes questions que j'ai croisées en étudiant l'histoire de la physique et en essayant d'envisager ses apports à la compréhension de cette discipline. Ce n'est pas une étude approfondie du procès de la physique. Ce n'est pas non plus une réponse exhaustive à toutes les interrogations que j'ai pu rencontrer le long de mon parcours. De nombreux sujets sont simplement évoqués ; un travail complet à leur propos nécessiterait la lecture de plusieurs articles et ouvrages. Ce que je tente ici est, non d'écrire un texte clos, mais de proposer une introduction à un débat, lequel constituerait une étape vers cette collaboration que je viens de mentionner.

I.CONSTITUTION DE LA PHYSIQUE

I.1. Les origines

tout commence par
des actions
sur la matière

"Héritier d'une longue tradition scientifique" (2), l'homme du néolithique et de la protohistoire, après des millénaires d'observations répétées, de tâtonnements divers, d'expériences..., possède de multiples armes et outils - instruments à percussion, arc et flèches, propulseur pour armes de jet, ciseaux, tour de potier, miroir d'obsidienne... (3). A travers quantité de techniques, il pratique donc ce que le physicien et philosophe E. Mach appelait des "expériences mécaniques" (4), tous ces gestes que Leroi-Gourhan classait parmi les "formes élémentaires d'action sur la matière" (5).

sans s'interroger
sur le pourquoi

Pratiques inspirées par les besoins de la vie, sans doute aussi guidées par une curiosité qui, dit le même auteur, "est le moteur de toute recherche" (6). Pratiques empiriques, patiemment mises au point, transmises et améliorées de génération en génération. De bouche à oreille : l'écriture n'existe pas. Recettes, techniques, mais non sciences. On connaît les gestes, leur efficacité, on ne connaît pas les raisons de cette efficacité. Les recherche-t-on seulement ? L'on sait qu'un levier permet de redresser une sagaie tordue, de soulever plus facilement une masse. Essaye-t-on de savoir pourquoi ? Et, si cela est tenté, comment fait-on pour passer d'une observation - essentiellement qualitative, d'ailleurs - à un énoncé formalisé, c'est-à-dire à une "loi", et cela sans antécédent d'aucune sorte, sans "maître" ?

la quantification
apparaît avec
les échanges et
les besoins
de prévision

Les tribus, les peuplades, après la "révolution agricole" qui marque le néolithique, produisent de plus en plus de nourriture. Elles élèvent des animaux. Un artisanat relativement spécialisé apparaît. Les groupes humains qui détiennent des surplus d'aliments, d'objets..., sont amenés à les échanger contre d'autres marchandises. Il leur faut donc savoir compter, savoir aussi comparer les quantités qui ne relèvent pas d'une simple numération. D'où l'apparition du calcul, et celle de la balance dont les formes déjà élaborées existent à Sumer et dans l'Ancien Empire Egyptien. L'agriculture nécessite un calendrier ; son établissement fait appel à l'observation astronomique. Les grandes constructions religieuses exigent des connaissances de géométrie, de même que le calcul des surfaces servant pour une part de base à la détermination des impôts. Il en est ainsi, également, des quelques évaluations de l'astronomie naissante.

Science de l'espace, la géométrie est donc "la branche la plus ancienne de la physique" (7). Il s'agit toutefois, aux grandes époques de Babylone et de l'Empire des Thoutmosis et des Ramsès, d'un catalogue de recettes, d'une "pré-science", non d'une science reposant sur un

"paradigme" bien défini - le concept de "paradigme" en histoire des Sciences est développé par Kuhn (8) -. Dans le cours de ces transformations, peut-être à partir des premières représentations symboliques des nombres, l'écriture est apparue (au cours du III^e millénaire A.C.). Un outil indispensable à l'essor des sciences est né.

1.2. De "l'expérience première" (9) à la physique d'Aristote et à celle de l'impétus

La situation est restée en l'état, pendant des siècles, pour la majeure partie des domaines qui constituent, depuis le XIX^e siècle, les principales spécialités de la physique. L'on sait, depuis Thalès (VII^e siècle A.C.) au moins, que l'ambre frotté attire des corps légers (brins de paille, poussières...), que la "pierre d'aimant" (ou "pierre de Magnésie") en fait autant du fer. Quelques explications de ces phénomènes sont avancées ; la plupart relèvent de l'animisme - voir à ce propos le chapitre VIII, L'obstacle animiste, de l'ouvrage de Bachelard, p 149-167 - , quelques-unes (celles d'Epicure, de Lucrèce, par exemple) ont un caractère plus matérialiste, mais s'apparentent souvent au substantialisme - de même, voir chapitre VI, L'obstacle substantialiste, p 97-129. Après l'introduction, dans l'empire Mulsuman puis en Europe Occidentale, de la boussole (probablement importée de Chine), les propriétés de l'aimant font l'objet d'une étude que l'on peut qualifier d'expérimentale. L'auteur en est l'ingénieur militaire français du XIII^e siècle, Pierre de Maricourt, qui la synthétise sous forme d'une lettre adressée à l'un de ses collègues (10). Il n'émet toutefois aucune hypothèse sur l'origine des effets observés. La minéralogie est embryonnaire, la cristallographie n'est pas encore née. Les phénomènes thermiques ne sont pas véritablement abordés. L'optique, alors admise comme une partie de la géométrie, fait l'objet d'un traitement particulier. Les lois de la réflexion de la lumière sont démontrées par Euclide (III^e siècle A.C.), la réfraction est abordée expérimentalement par C. Ptolémée (I^e - II^e siècle) qui présente ses résultats sous forme de tableaux de valeurs respectives des angles d'incidence et de réfraction. Il est à noter que la lumière est considérée être une forme idéale du feu (idée qui subsistera jusqu'à la fin du XVIII^e siècle) et que la plupart des philosophes (les aristotéliens exceptés), ainsi que des géomètres, admettent que les yeux émettent des rayons lumineux, ce qui est peut-être à comparer à certaines idées (qui semblent toutefois plus confuses) de jeunes enfants, telles qu'elles apparaissent dans les travaux d'E. Guesne.

La mécanique est la seule science physique qui, au moins à partir d'Aristote (IV^e siècle A.C.), forme un en-

une évolution
très lente
au début

l'aspect descriptif
prévaut

quelques lois
en optique

la mécanique,
science "vraie"

sur des bases
énoncées par
Aristote

une rationalité,
image de la société

le langage mathéma-
tique ...

semble constitué, développé sur la base d'un "paradigme" bien défini. Elle correspond donc à la définition que Kuhn donne d'une "science normale" (11). A l'origine de l'édifice aristotélicien figurent diverses "expériences premières", complétées par quelques observations plus élaborées. Citons : la relation entre l'action d'une force (d'un "moteur" si l'on reprend la traduction littérale du terme utilisé par le philosophe) ; la proportionnalité entre la valeur de cette force et la vitesse du mobile ; l'idée qu'un corps, abandonné à une certaine hauteur, tombe d'autant plus vite qu'il est plus lourd ; l'immobilité de la Terre... La sphéricité de notre planète est connue, probablement depuis Pythagore (Ve siècle A.C. ?) ; elle est déduite de l'observation des bateaux s'éloignant en mer, de celle de la forme circulaire de son ombre au cours d'éclipses... L'opinion d'Aristote sur l'immobilité de la planète au centre de l'univers, bien que très largement majoritaire sans doute parmi les philosophes et les astronomes, n'est pas partagée par tous ; témoin l'argumentation qu'il développe pour la démontrer et contredire l'affirmation inverse du pythagoricien Philolaos (12). Autre conjecture plutôt contraire, elle, à l'expérience commune : pour expliquer le mouvement d'un projectile après qu'il ait, par exemple, quitté la main du lanceur (ou la corde de l'arc, s'il s'agit d'une flèche), Aristote prétend que le dit mouvement est conservé par l'air, le mobile reprenant ensuite son "mouvement naturel" quand la gravité l'emporte...

La dynamique du Stagirite constitue une synthèse des connaissances dans cet important secteur de la physique : l'étude du mouvement. C'est l'une des illustrations de la tentative, caractéristique cruciale de la science grecque classique, de "rendre compte de l'ordonnance de l'univers d'une façon purement positive et rationnelle" (13). Les points de départ en sont, très certainement, des constatations immédiates, perçues par l'esprit d'un individu, certes très intelligent, mais dont le cadre mental est déterminé par le contexte d'une société du IV^e siècle A.C. "Nous ne pouvons connaître que dans les conditions de notre époque et dans les limites de celle-ci" (F. Engels) (14). Ce qui mène l'un des analystes d'Aristote à considérer que sa physique tend "trop souvent à donner à l'apparence sensible grossièrement interprétée la valeur d'une véritable preuve expérimentale", et qu'elle "repose sur des affirmations arbitraires (...) fruits d'une expérience grossière, inspirée du sens commun et étrangère à tout esprit critique." (15).

Toute autre est la statique d'Archimède, de peu postérieure à l'oeuvre d'Aristote (16). D'une part parce qu'elle est, pour l'essentiel, exacte. D'autre part parce qu'elle est formulée en langage mathématique, à l'inverse de sa devancière. Quelques-unes des raisons apparentes de l'inégalité des développements peuvent être suggérées : les bases concrètes de l'édification de la discipline - les

permet une expression
correcte des lois ...

en liaison avec
le développement
des techniques

l'impetus, nouvelle
cause du mouvement ...

proche de l'"élan"
des enfants

le début d'une
révolution

constatations d'expériences courantes, en l'occurrence - sont, dans de cas de la statique, plus faciles à constituer que dans celui de la dynamique. Les pratiques de la société antique de l'époque, si l'on préfère, se prêtaient à l'expression correcte de certaines des lois de la statique, non à celle des lois de la dynamique - nous reviendrons plus loin sur les pratiques de la société grecque -. Le contexte scientifique et technique a par ailleurs changé. Le travail du physicien de Syracuse est postérieur à cette considérable synthèse mathématique que constituent "Les éléments" d'Euclide (Euclide, 323-285 A.C.) - fondements des mathématiques, et notamment de la géométrie, pour les siècles à venir ; remarquons d'ailleurs qu'Archimède est aussi un très grand mathématicien, ce que n'était pas Aristote. Par ailleurs, il est contemporain du début de l'essor de l'École d'Alexandrie dont l'une des caractéristiques est l'intérêt porté à la technique par des personnages qui étaient mathématiciens et physiciens. Il faudrait peut-être recenser les concepts nécessaires à l'expression de la statique et à celle de la dynamique, puis examiner si les hommes de l'Antiquité connaissaient les uns et les autres. Je ne pense pas que les difficultés des approches respectives des deux spécialités soient ici en cause ; l'expérience montre que l'apprentissage de la statique par les élèves, par exemple, n'est pas plus aisé que celui ultérieur de la dynamique.

La dynamique d'Aristote est restée en vigueur pendant des siècles. Sa théorie relative au mouvement des projectiles a été contestée, au XIVe siècle, par Jean Buridan, Recteur de l'Université de Paris. En substance il affirmait que la force imprimait au mobile ce qu'il appelait un "impetus". Quand l'action de la force cesse, ce serait cet "impetus" qui causerait la poursuite du mouvement. Contrairement à la thèse d'Aristote sur le rôle qu'il attribuait à l'air, l'idée de Buridan paraît conforme à "l'expérience première", celle des nombreux lanceurs de projectiles (archers, manieurs de balistes, artificiers, etc) notamment, comme l'écrit A. Koyré (17). Il est à noter que les enfants expliquent couramment le mouvement d'une pierre en disant qu'elle conserve "l'élan" qui lui a été communiqué par la main, cette notion "d'élan" étant somme toute très voisine de "l'impetus" de Buridan (18).

1.3. La révolution scientifique

"Pendant 2000 ans, les vieilles sciences limitées et traditionnelles ont été cultivées dans les plates-bandes d'une philosophie qui les abritait : la philosophie du concept. Et la Révolution commence à peine, au XVIe siècle, qui s'opèrera en plusieurs temps, dans les divers compartiments du savoir - et ne se fera réellement qu'au XIXe

siècle" (19).

qui commence
avec Copernic

Il est de coutume de dater cette "révolution" de 1543, année de la publication de l'ouvrage de N. Copernic "De Revolutionibus orbium coelestium".

Pour essayer de résoudre harmonieusement les contradictions entre les observations des astronomes et le modèle de l'univers proposé par eux, le chanoine polonais substitue, au système géocentrique affirmé depuis l'Antiquité, une représentation héliocentrique. Sa justification implique l'élaboration d'une nouvelle mécanique, permettant notamment de réfuter l'argumentation d'Aristote visant à démontrer l'immobilité de la Terre. Cette mécanique a été l'oeuvre de plusieurs mathématiciens et physiciens : Galilée, d'abord, auquel ses ouvrages valent d'être condamné par l'Inquisition en 1633 ; mais aussi S. Stevin, Descartes, Torricelli..

une nouvelle
démarche

Au-delà de cette nouvelle mécanique, c'est une démarche scientifique profondément novatrice - c'est-à-dire une approche autre de la compréhension des phénomènes de la nature - qui émerge des travaux du XVIe et de la première moitié du XVIIe siècle. Ses caractéristiques principales : le recours à l'expérimentation systématique qui se superpose à la simple observation ; la traduction en expressions mathématiques des lois physiques ; la mesure, c'est-à-dire la quantification des résultats de l'observation et de l'expérience ; enfin, le rejet du "principe d'autorité", invoqué depuis l'Antiquité pour justifier les affirmations de l'ancienne physique.

rejetant les
arguments d'autorité

Si cette démarche affecte l'astronomie et la mécanique, elle concerne également d'autres domaines. Elle provoque pour certains d'entre eux un essor inédit - c'est le cas de l'optique par exemple ; l'étude du magnétisme - avec la publication du traité "De Magnete" de W. Gilbert - reprend le travail de P. de Maricourt (20) et l'étend, les explications "animistes" ou "substancialistes" des phénomènes subsistant toutefois. L'hydrostatique et l'hydrodynamique se développent. L'analyse des phénomènes acoustiques dérive des travaux en mécanique des fluides. A la fin du siècle, les réalisations de Otto de Guéricke créent l'électrostatique expérimentale...

qui touche tous
les domaines

Il est d'usage de mettre particulièrement l'accent sur l'évolution de la mécanique. C'est, d'ailleurs, ce que je viens de faire. Cela tient pour une part au rôle joué par cette science dans la formation de la physique et à l'influence qu'elle a pu exercer sur d'autres sciences et sur la philosophie (21). Cela tient aussi à l'impact historique du procès de Galilée et à la part des progrès des "arts mécaniques" - c'est-à-dire des techniques - dans les transformations des sociétés occidentales aux XVIe et XVIIe siècles. Mais d'autres sciences ont également subi des bouleversements d'une ampleur équivalente. Il en est ainsi, selon G. Simon, de l'optique (22). Pour lui - suite aux travaux expérimentaux de Ptolémée au début de notre ère, puis à ceux de ses successeurs moyenâgeux

de la mécanique ...

à l'optique

(Ibn al Haytham, Witelo...) - les ouvrages de Képler (23) marquent, pour l'optique géométrique, une mutation comparable à celle que représente l'oeuvre de Galilée pour la dynamique. Le XVIIe siècle a été, après l'utilisation de la lunette par le Florentin à partir de 1609, une période de création de plusieurs instruments optiques (lunettes astronomiques, microscopes, télescopes à miroir...). La fin du siècle a vu la découverte de divers phénomènes - diffraction (Grimaldi, 1665), couleurs des lames minces (Hooke, 1665), double-réfraction (Bartholin, 1669), dispersion (Newton, 1675)... - et la formulation des premières théories scientifiques sur la nature de la lumière (Newton et Huygens).

se dégager
des présupposés

La physique, dans le cours de cette "révolution scientifique" qui commence - comme l'écrit L. Febvre - au XVIe siècle, s'affranchit pour partie des impératifs de la perception immédiate, ou plutôt "que l'on croyait immédiate", dirait-on en paraphrasant K. Pomian (24), parce que le sujet observant la nature était (est) conditionné par tout un ensemble de présupposés idéologiques, par des habitudes..., par toute une culture déterminant assez largement ses réactions supposées "spontanées", sa "connaissance première". Pour partie seulement, car si des pans entiers de l'approche des réalités physiques sont transformés (25), certaines des appréhensions des physiciens continuent à relever de la perception courante - celles de l'espace et du temps, par exemple - . La physique de l'espace - la géométrie - est celle dont Euclide a établi les fondements, Descartes en édifiant toutefois une branche nouvelle - la géométrie analytique - dont le développement favorisera la traduction mathématique des lois physiques, notamment de celles de la mécanique. Rappelons que ce "cadre euclidien" subsistera jusqu'à la théorie de la relativité restreinte incluse, cette dernière liant cependant les concepts d'espace et de temps, distincts en mécanique classique.

pour une plus grande
mathématisation

1.4. Mécanisme et déterminisme "laplacien"

l'ouvrage fondamental
de Newton ...

L'une des oeuvres majeures de la physique classique - et de la physique "tout court", d'ailleurs - est "Principes mathématiques de la philosophie naturelle" publié par Newton en 1687 (26). C'est une synthèse, utilisant souvent des formulations que les présentations ultérieures de la mécanique ont perpétuées, des découvertes effectuées depuis le début du siècle. L'auteur y intègre divers apports qui lui sont spécifiques : définition de la masse (et donc distinction nette de la masse et du poids) ; principe fondamental de la dynamique (dont l'idée initiale a été esquissée par Galilée)... , loi de la gravitation universelle... Comme l'écrira plus tard E. Mach, "l'énoncé formel des principes de la mécanique encore généralement acceptés aujourd'hui" est défini dans ce livre et,

depuis (Mach écrit à la toute fin du XIXe siècle), "aucun principe essentiellement nouveau n'a été posé et le travail accompli en mécanique depuis lors a été un développement déductif, formel et mathématique, sur la base des principes newtoniens." (27)

cristallise les
descriptions
mécanistes des
phénomènes physiques

Ce livre est aussi l'une des composantes principales d'une conception mécaniste de l'univers, dont les prémisses existent déjà chez des auteurs de l'Antiquité, et dont divers constituants apparaissent chez les physiciens du XVIIe siècle : Galilée, Descartes, ..., Mersenne, ..., Huygens... Pour ces savants, les phénomènes qui se produisent dans la nature, ceux du moins qui interviennent dans la matière "inerte" (c'est-à-dire non vivante), sont régis par les "lois" de la mécanique, celles-là mêmes dont Newton a énoncé les principales. L'univers est un immense mécanisme, dont les mouvements sont déterminés par la loi de gravitation universelle. Et toutes les branches de la physique, quelles que soient leurs spécificités par rapport à la mécanique, doivent relever, dans leur domaine particulier, de lois dérivées de celles qui guident les mouvement des corps.

la mécanique
décrit tout ...

Dans cette optique on peut considérer qu'une spécialité donnée aura atteint l'état de maturité quand on sera capable de traduire son contenu sous forme de lois mécaniques. C'est la conception que Newton, Huygens, Fresnel plus tard retiennent pour la science de la lumière, que Coulomb admet pour l'électrostatique, que Maxwell lui-même postule pour l'électromagnétisme...

dans une optique
entièrement
déterministe ...

Les déistes jugent que ce parfait ordonnancement du monde est "l'ouvrage d'un être tout puissant et intelligent" (28), c'est-à-dire de Dieu. C'est le "Dieu-horloger" de Voltaire, le Dieu-mécanicien" de tous les auteurs chrétiens de l'époque (29). Il est d'autres savants qui, en apparence du moins, font dans leur pratique scientifique abstraction de l'hypothèse divine jugée inutile, mais n'en professent pas moins une conception similaire. L'un des plus caractéristiques est Laplace, auteur du monumental "Traité de mécanique céleste" (30), scientifique officiel et très puissant, homme politique, du 1er Empire et de la Restauration. Laplace reste notamment, en histoire des sciences, l'exemple type de défenseur du déterminisme absolu - ou mécaniste, si l'on préfère - des lois de la nature. Pour lui, une connaissance parfaite de ces lois, des conditions initiales, des différents facteurs intervenant, devrait permettre de prévoir exactement le cours futur des événements et, à l'inverse, de reconstituer le passé (31). Le hasard est, en fait, éliminé des processus ; il ne saurait, dans cette perspective, représenter autre chose qu'une imperfection momentanée de l'état des connaissances scientifiques.

Le déterminisme laplacien imprègne toute la pensée scientifique du XIXe siècle, malgré l'essor de la mécanique et de la thermodynamique statistiques (Clausius, Maxwell, Boltzmann...) à partir du milieu du siècle. La

ce qui ne va pas
sans poser de
problème ...

en interdisant
toute dialectique

physique du XIXe siècle est profondément mécaniste, ce qui a, dans quantité de secteurs, posé de difficiles problèmes à ses artisans. Que l'on songe, par exemple, aux péripéties de l'histoire de l'éther lumineux à cette époque, aux différents "modèles" mécaniques de l'éther proposés par Fresnel, Maxwell... (32). Et je ne pense pas être imprudent en affirmant que cette forme de déterminisme nous influence toujours largement, que la conception mécaniste de la causalité qu'elle implique opère encore la plupart du temps, à l'exception (et encore !) des domaines où la démarche probabiliste est de règle. "Penser dialectiquement" est difficile et, même dans le cadre d'une telle pratique intellectuelle, une fois les contradictions cernées, les diverses interactions recensées et évaluées, l'idée d'une détermination assurée ne resurgit-elle pas ? En bref, la conception laplacienne quelque peu modernisée n'est-elle pas partie intégrante de nos "structures mentales" actuelles ? Est-ce là - ou non - un "obstacle épistémologique" ?

1.5. "Le nouvel esprit scientifique"(33)

un faisceau
de connaissances ...

contredit peu à peu
ce mécanisme ...

par affirmation
d'une dualité

Le XXe siècle marque, dans l'histoire de la physique, un bouleversement complet de nombre des conceptions antérieurement retenues. La relativité d'Einstein remet en cause les concepts courants d'espace et de temps. A cet égard le changement est, par rapport à la perception commune, plus profond que celui qui avait été apporté par la révolution scientifique du XVIe siècle. Avec la relativité généralisée, l'espace-temps n'est plus euclidien. La loi de conservation de la masse a été remplacée par celle de conservation de l'énergie. L'implantation de la théorie atomique en chimie au XIXe siècle, la découverte des rayons cathodiques, l'étude des propriétés du noyau de l'atome à la suite de la découverte de la radioactivité..., ont affirmé la discontinuité de la matière pondérale. Celle de l'électricité a également été démontrée. L'hypothèse de Planck, consécutive aux travaux sur le rayonnement thermodynamique, l'explication donnée par Einstein de l'effet photoélectrique ont mené à conclure que le rayonnement - et donc la lumière - est lui aussi, du moins dans certaines circonstances, discontinu. La synthèse, réalisée par L. de Broglie en 1923, affirme que la matière au sens usuel du terme (un ensemble de corpuscules, donc, si l'on retient les derniers développements) et la matière-lumière sont l'une et l'autre duales : à la fois onde(s) et corpuscule(s). Cette théorie est notamment confirmée par les expériences de Davisson et Germer. Le développement de la physique quantique conduit à considérer que, à l'échelle subatomique, les concepts habituels de corpuscule, de

trajectoire... n'ont pas de sens..., que l'on ne peut plus situer la position d'un corpuscule en un point de l'espace mais déterminer la probabilité de présence dans une région d'une entité définie par quelques caractéristiques physiques...

des modèles
devenus ambigus ...

En paraphrasant une expression de F. Halbwachs (34), on pourrait dire qu'une représentation de la physique par un "modèle-image" est, au XXe siècle, devenue impossible. Comment, par exemple, retranscrire sous forme de schéma figuratif une réalité qui est, à la fois, onde et flux de corpuscules. On ne peut plus, non plus, décrire un atome comme une petite sphère, ou même une sorte de "système solaire miniature", sauf à des fins de vulgarisation, et encore en précisant qu'il ne s'agit que d'un croquis pédagogique ne prétendant pas être une "photographie" de l'atome réel. On ne peut pas davantage, comme le pensaient possible les newtoniens du XIXe siècle, " ... ramener les phénomènes naturels à des forces invariables d'attraction et de répulsion, dont l'intensité dépend uniquement de la distance" (35). Ce qui est vrai de tel ou tel système physique l'est de l'ensemble de cette science. Paul Langevin, qui fut en France l'un des propagandistes de la théorie de la relativité et de la théorie quantique, écrivait en 1939 dans le premier numéro de la revue "la Pensée" que... "nous assistons à un moment particulièrement important du développement de cette chose vivante qu'est notre raison" (36). L'exercice de cette raison à la compréhension des phénomènes physiques, c'est-à-dire l'expression de leur **rationalité**, est très différente de ce qu'elle a pu être dans un passé encore assez récent. "... la tendance dominante de l'esprit étant d'assimiler toute réalité nouvelle à des schémas antérieurs", écrit J. Piaget, "l'accommodation à la nouveauté se réduit à une modification minimum de ces schémas" (37). L'opération était déjà difficile à réaliser au cours de la révolution scientifique des XVIe et XVIIe siècles. L'histoire de la physique moderne nous montre qu'elle est aujourd'hui impossible. On ne peut plus se contenter d'un simple ajustement de la conception mécaniste du siècle précédent.

pour rester
en accord ...

avec la rationalité

2. DE QUELQUES ASPECTS...

Je voudrais dans ce sous-chapitre, non reprendre une analyse détaillée du processus que je viens de survoler rapidement, mais évoquer brièvement quelques-uns des problèmes qui me sont apparus chemin faisant.

2.1. La méthode... quand même !

la méthode est
contestée ...

pour ses
utilisations ...

mais elle existe !

il suffit de prendre
du recul ...

Il est aujourd'hui de bon ton de contester la méthode scientifique. "Les" méthodes, si l'on préfère, tant il est vrai que l'application de quelques principes communs à des domaines différents conduit à des procédures dissemblables à bien des points. Enfin, ce qui nous intéresse ici, c'est la physique, que l'on peut tout de même créditer d'une méthode assez clairement définie et dont s'inspire largement ce que l'on appelle communément "la" méthode scientifique. Partant de la mise en cause - fort juste au demeurant - de diverses applications (militaires, notamment) de découvertes scientifiques, de la constatation des dégâts causés à l'environnement par les pratiques industrielles d'un certain mode de production, des effets de la transposition dans le système productif de principes inspirés par la démarche scientifique (ce que l'on appelle la "rationalisation de la production")..., certains en sont venus à prendre à partie les sciences dans leur globalité - certains courants post-soixantehuitards notamment, qui s'expriment dans des articles de l'ouvrage de A. Joubert et J.M. Levy-Leblond (38) - et quelques-uns à nier purement et simplement la méthode scientifique (39). Au-delà, la littérature de ces dernières années abonde de textes glorifiant telle ou telle néophilosophie ésotérique et/ou mettant sur le même plan la méthode des sciences, et celles, supposées, de l'alchimie, de l'astrologie, de la philosophie Zen, etc.

Au risque de paraître ramer à contre-courant (encore que nombre des critiques du début des années 70 aient, depuis, nettement infléchi leur discours), j'affirme ici l'existence d'une méthode en physique dont les éléments principaux ont été repris par les autres disciplines scientifiques, les unes et les autres en adaptant l'application en fonction des spécificités de leur domaine d'étude particulier. J'en affirme aussi la validité dans le secteur de compétence qui est le sien et pour lequel elle a été conçue.

On peut démontrer cette validité, partiellement tout au moins, en vérifiant la réalité des prévisions et des applications que la physique a permises. On peut aussi la justifier à partir de l'histoire de la physique et notamment de sa méthodologie. L'évolution de cette science peut être divisée en une succession d'étapes dont la caractérisation varie en fonction des critères retenus. Ces derniers peuvent privilégier, non les transformations de telle ou telle spécialité, mais celles de la méthode d'analyse de la réalité matérielle. Ce qui présente, entre autres, l'avantage de saisir l'histoire de la physique dans sa globalité.

De ce point de vue, l'ethnologie et la préhistoire nous permettent de reconstituer les modes d'approche des so-

et de regarder
l'histoire

ciétés primitives ; à partir des tablettes d'argile mésopotamiennes, des papyrus égyptiens, des documents chinois et indiens..., on peut se faire une idée de la manière dont procédaient les Anciens ; les textes grecs sont suffisamment nombreux pour que nous puissions détailler assez précisément les méthodes des philosophes de la Grèce classique, l'oeuvre d'Aristote nous apportant un tableau exhaustif de ses conceptions ; les renseignements ne manquent pas sur le Moyen-Age et, à partir du XVIe siècle, nous suivons sans peine le processus de constitution de la méthode expérimentale, déjà élaborée chez Galilée et F. Bacon, confortée par Newton, codifiée au XIXe siècle, sa dimension critique étant amplifiée par les développements contemporains (40).

une progression
constante ...

Il est, je pense, inutile d'insister outre mesure sur le caractère formateur d'une telle perspective historique. Vue sous cet angle l'histoire des sciences se présente comme un élément important de la constitution de l'esprit critique. Elle permet aussi de montrer que ce n'est pas l'application de la méthode scientifique qui conduit à des résultats contestables, voire aberrants, mais des défauts ou des erreurs dans cette application. Les physiques de l'Antiquité et du Moyen-Age sont essentiellement qualitatives, les grandeurs physiques - indéfinies la plupart du temps - sont tout au plus estimées. A partir de Galilée, les concepts se diversifient, se précisent et s'affinent ; les grandeurs sont **mesurées**, ce qui veut dire que l'essor des théories physiques va de pair avec la mise au point d'instruments d'observation et de mesure, patiemment perfectionnés ensuite. De plus en plus, au cours du XIXe siècle, les physiciens essayent de déterminer la précision de leurs évaluations. Au fil des siècles l'on est donc passé d'un ensemble de jugements subjectifs sur la Nature à des déterminations dans lesquelles la part d'objectivité va grandissante et est de mieux en mieux appréciées (41).

vers l'objectivité

2.2. Ressources et limites des raisonnements par analogie

bonne ou mauvaise
approche ?

L'ancienne physique faisait grand usage du raisonnement par analogie, certains auteurs plus récents le justifiant par des considérations d'ordre métaphysique (42). Le XVIIIe siècle, grande époque de la "philosophie naturelle" est justement baptisé par F. Halbwachs "l'âge de l'analogie" (43). Ce mode d'approche a continué à être pratiqué par la suite, y compris dans le cadre de la recherche en physique, et la pédagogie en fait toujours souvent usage - comme par exemple l'"analogie hydraulique" utilisée dans des présentations élémentaires de l'électricité -. Jugé positivement par les uns - J. Perrin (44), par exemple, le classe parmi les éléments déterminants du progrès scientifique, estimant que les grands savants ...les Galilée... les Joule... les Carnot ...

ont possédé à un degré extraordinaire le sens des analogies -, très sévèrement par les autres - A. Cresson (45), lui, le juge "... un procédé d'inférence des plus dangereux..." ajoutant : "se fier au raisonnement analogique, c'est dans une multitude de cas se condamner à l'erreur" - il ne me semble mériter, en fait, ni encensement, ni opprobre. Plus satisfaisante l'opinion affirmée par M. Bunge : "l'analogie est ... un outil à double tranchant. D'un côté, elle facilite le travail de recherche dans les voies inconnues en nous invitant à étendre l'acquis de nos connaissances à de nouveaux domaines. Mais d'un autre côté, si on admet l'idée que le monde présente des aspects variés, l'analogie ne peut pas être étendue indéfiniment, car c'est précisément ce dont on ne peut pas parler en termes usuels qui est nouveau" (46).

une démarche qui
fait progresser ...

Une bonne illustration de ces facettes contradictoires des apports de l'analogie est l'histoire de la théorie ondulatoire de la lumière. Aristote tente de donner une explication de la vision en la comparant à une autre sensation dont le processus est connu, l'ouïe. Il sait que la voix, par exemple, provoque une oscillation de l'air ambiant, laquelle entraîne une vibration d'une partie de l'oreille. Par analogie, il conçoit que la lumière est due à une vibration d'un milieu intermédiaire qu'il baptise "diaphane", qui à son tour fait vibrer des "humeurs" contenues dans l'oeil.

tout en
questionnant ...

La démarche est reprise par les physiciens scholastiques du Moyen-Age, puis par le physicien hollandais C. Huygens au XVII^e siècle. Ce dernier, dans le cadre cette fois d'une véritable théorie ondulatoire, imagine un modèle de ce milieu intermédiaire qu'il nomme, lui, "ether". Se basant sur les connaissances acquises, essentiellement depuis le début du siècle, sur la propagation des vibrations mécaniques dans les milieux fluides, il figure la lumière, tout comme le son, sous forme d'une vibration qui, compte tenu de l'analogie retenue, est parallèle à sa direction de propagation - c'est-à-dire longitudinale (47). Le même raisonnement est retenu au XVIII^e siècle par Euler, puis par T. Young qui, découvrant en 1802 les interférences lumineuses, les explique en utilisant le modèle établi par Huygens. Fresnel - qui se consacre à l'optique à partir de 1814 et développe, à l'aide des ressources mathématiques de son temps, une théorie ondulatoire inspirée de celle de C. Huygens - en fait autant. Il rend compte ainsi parfaitement, dans le cadre d'un Mémoire couronné en 1818 par l'Académie des Sciences, des phénomènes de diffraction. Mais il ne parvient pas, à l'aide du modèle de la lumière défini, à expliquer certaines expériences relatives à la polarisation de la lumière. En fait, l'analogie avec le son, jusque-là instrument de progrès de la théorie ondulatoire, atteint ici ses limites. Elle devient de fait, pour Fresnel, un "obstacle épistémologique" dans le sens où G. Bachelard le

et faisant obstacle

comprend. Il faudra attendre cinq ans (de 1816 à 1821) pour que le physicien se résolve à le franchir, en proposant un autre modèle dans lequel la vibration lumineuse est perpendiculaire à la direction d'un rayon, c'est-à-dire "transversale", permettant ainsi l'essor d'une optique ondulatoire qui figure parmi les réussites scientifiques les plus remarquables du XIXe siècle.

2.3. Quelques remarques sur le rôle des mathématiques

L'histoire des sciences montre à l'évidence que les mathématiques et les sciences de la matière inerte (astronomie comprise) se sont mutuellement fécondées depuis fort longtemps. Quelques exemples parmi une foule d'illustrations possibles : la trigonométrie est issue des besoins de l'astronomie et de l'optique géométrique avant de contribuer - notamment après les travaux des mathématiciens arabes au Moyen-Age et ceux de F. Viète au XVIIe siècle - au développement ultérieur de la physique ; la fonction de la géométrie euclidienne a déjà été évoquée ; le calcul infinitésimal - construit par Newton et Leibniz à la fin du XVIIe siècle - a été, et est encore, l'un des instruments les plus puissants de l'édification des théories physiques ; citons, parmi les apports plus récents, le calcul des probabilités, la théorie des groupes, le calcul vectoriel, le calcul matriciel...

un outil
puissant ...

Il est certain que l'une des caractéristiques décisives de la "révolution galiléenne" est la mathématisation des procédures de la physique, mathématisation rendue possible par les progrès de la géométrie, l'introduction des chiffres dits arabes, l'apparition de la géométrie analytique... Et, parmi les déclarations de principe les plus importantes de l'histoire de la physique, figure incontestablement l'affirmation de Galilée : "La philosophie est écrite dans ce très grand livre qui est ouvert constamment devant nos yeux, je veux dire l'Univers. Mais on ne peut le comprendre si auparavant l'on n'a pas appris à en entendre le langage, à connaître les caractères avec lesquels il est écrit. Il est écrit en langage mathématique et les caractères en sont des triangles, des cercles et autres figures géométriques, sans le moyen desquels il est humainement impossible de comprendre un seul mot. Sans cela, on se trouve en vain dans un obscur labyrinthe..." (48). Depuis le Florentin ce rôle des mathématiques est allé grandissant et, bien plus encore qu'au XVIIe siècle, l'usage de la modélisation mathématique en physique est aujourd'hui primordial.

et nécessaire ...

Mais une chose est de constater cet état de fait, de juger que l'évolution dans ce domaine était nécessaire aux progrès de la physique, de dire comme le fait J.M. Lévy-Leblond que les mathématiques sont pour la physique bien plus qu'un langage et que "celles-ci ont avec celle-là un rapport de constitution (*)." (49) ((*) sou-

ligné par J.M. Lévy-Leblond), une autre est de retenir, comme de nombreux penseurs l'ont fait pendant des siècles, la pensée mathématique comme modèle pour la pensée physique (50). Il y a, me semble-t-il, nécessité de poursuivre de ce point de vue la réflexion sur le lien entre les mathématiques et la physique, en y intégrant les apports de l'histoire. Il est certes parfaitement vain - et tout à fait rétrograde - de plaider pour un retour à une physique intuitive, à une physique des qualités, qui n'est plus aujourd'hui de mise. Mais certaines formes de "mathématisme", certaines transcriptions modernes du pythagorisme de jadis, ne sont-elles pas également aberrantes ? L'explication scientifique n'a nul besoin de "Grand architecte", fut-il mathématicien (51) et la fécondité des modélisations mathématiques ne doit pas faire perdre de vue le caractère indispensable de l'adéquation au réel, critère fondamental de la physique. En d'autres termes une éducation tendant à inspirer l'idée que la mathématique est globalement un modèle pour la physique ne crée-t-elle pas de fait un "obstacle épistémologique" dans l'esprit des enseignés ? S'agit-il simplement d'une traduction contemporaine des oppositions entre Platon et Aristote - telles qu'elles ont été perçues par certains des auteurs principaux (Képler, Galilée...), ou s'agit-il d'une déviance autre ?

mais dont il faut
se détacher

2.4. Contre le dogmatisme

L'on a souvent invoqué l'apport possible de l'histoire des sciences à la lutte contre le dogmatisme (52). L'enseignement des sciences, mettant obligatoirement en évidence l'état contemporain de ces disciplines, est-il nécessairement dogmatique ? Peut-être pas, mais le fait est qu'il en est souvent ainsi et que le "Paradigme" du moment tend - l'histoire des sciences le démontre abondamment - à se transformer rapidement en dogme. Et le recours au dogme - fréquemment, d'ailleurs, solution de facilité - est un obstacle certain à la formation d'un esprit scientifique et à ses progrès ultérieurs.

dogmatisme ...

ou esprit critique ?

L'arme contre le dogmatisme est l'esprit critique. A sa constitution doit contribuer l'initiation à la méthode expérimentale et la **pratique** effective de cette méthode. L'histoire des sciences peut, de toute évidence, y participer également, le tout étant de définir où et comment il faut l'introduire. La réponse n'est pas simple.

2.5. De quelques erreurs et théories erronées

Quelques-unes des erreurs, faites par les savants au cours des siècles, ont été exposées à maintes reprises (53). Certaines d'entre elles ont, à certains égards, joué un rôle positif. Citons par exemple Newton, affirmant la

des erreurs flagrantes ...

mais néanmoins utiles ...

sous un aspect parfois aberrant

proportionnalité de la dispersion et du pouvoir réfringent d'une substance transparente, et en concluant à l'impossibilité de fabriquer des objectifs et oculaires achromatisés. Ce qui l'amène à étudier la réalisation de télescopes à miroir. Citons aussi H. Poincaré conjecturant que les rayons X sont dûs à la fluorescence excitée, dans le verre, par les rayons cathodiques, ce qui conduit H. Becquerel, pour vérifier cette assertion, à avoir recours à un corps naturellement fluorescent (la pechblende)... et à découvrir la radioactivité naturelle. La formulation d'une hypothèse fautive, obstacle au progrès d'une certaine manière, devient par ailleurs un élément d'un autre progrès. Ce n'est sans doute toutefois pas le cas général, quantité d'erreurs commises - et dont on ne connaîtra sans doute pas la plupart d'entre elles, seules celles qui ont fait l'objet d'une publication parvenant à notre connaissance - n'ayant pas participé, sinon par leur réfutation, à l'évolution des sciences.

Il est une catégorie particulièrement intéressante, c'est celles de théories erronées, justifiant à leur époque du qualificatif de "paradigme" et donc base de la "science normale" de leur temps, qui ont suscité des travaux qui ont ensuite contribué à l'essor de cette science, et par conséquent joué un rôle positif. Je pense, entre autres, à la théorie de l'impetus déjà citée, à la théorie du phlogistique dans la chimie du XVIIIe siècle, à la théorie de l'éther luminescent déjà citée également...

On peut se demander aussi si certains raisonnements par analogie ne sont pas à classer dans la même catégorie. Il en est ainsi, par exemple, de la démarche qui a conduit en 1827 Ohm à formuler ses lois bien connues de l'électrodynamique. Il s'est basé pour ce faire sur la théorie analytique de la propagation de la chaleur établie par Fourier (54). On peut aussi mentionner Maxwell qui a démontré les lois de propagation du champ électromagnétique en considérant qu'il s'agit d'une onde mécanique, se déplaçant dans un "éther" fort complexe, auquel il attribuait des caractéristiques à bien des égards contradictoires.

Il y a de ce point de vue, me semble-t-il, une réflexion à poursuivre sur les processus d'élaboration des connaissances dans le domaine des sciences de la Nature, réflexion dont l'importance pour la didactique de ces disciplines n'échappe à personne. Et, concernant le dernier point évoqué, on ne peut pas ne pas se poser la question : l'analogie est-elle "dans les choses", ou seulement "dans les têtes" ?

3. UNE REALITE SOCIALE

Je suis fréquemment conduit à rappeler une phrase de

la physique,
produit social ?

Renan - "... la science... est indépendante de toute forme sociale..." (55)... - en opposition avec la thèse - que je partage - développée par J.M. Lévy-Leblond : la physique est une "réalité sociale", c'est-à-dire une production d'une société donnée (56). Elle est la traduction, dans l'esprit humain, des propriétés de la matière et donc d'une réalité que l'on doit supposer permanente. Mais les connaissances de l'individu - ou du groupe - qui étudie cette réalité, changeant, ses idées se modifiant, sa perception se transformant, ses moyens d'analyse - théoriques et matériels - évoluant, son statut social se métamorphosant..., le produit de sa réflexion dépend des multiples conditions auxquelles il est soumis. Si la science est un produit social, la science enseignée et reçue l'est également. L'on retrouvera donc à notre époque des influences du même type - si elles ne sont pas absolument analogues - que celles qui ont pu s'exercer sur les physiciens au cours des temps. Je voudrais ici, non me livrer à une analyse exhaustive, mais relever quelques-unes de ces influences.

3.1. La "pratique sociale"

science et
technique ...

L'activité de la techno-science du XXe siècle se traduit le plus souvent par l'introduction d'innovations technologiques découlant de découvertes scientifiques antérieures. L'on sait qu'il n'en a pas toujours été ainsi et que, jusqu'au XIXe siècle, les développements scientifiques ont le plus souvent été consécutifs aux améliorations techniques. Certains auteurs affirment de plus que, pendant certaines périodes, l'activité technique et la réflexion spéculative ont été rigoureusement séparées. L'exemple le plus souvent cité est celui de la société grecque "classique", c'est-à-dire celle des Ve et IVe siècles A.C. C'est ainsi que, plaidant (à juste titre d'ailleurs, à mon avis) pour l'antériorité de la technique sur la science, M. Daumas écrit que "la grande activité scientifique du siècle de Périclès ne s'est traduite par aucun gain appréciable de la technique" (57).

progressent
ensemble ...

Cette dernière affirmation ne me paraît pas exacte. Si l'on prend le cas de la mécanique, B. Gille a démontré la richesse - déjà ancienne au temps de Périclès - des Grecs dans ce domaine (58). Les "Questions de Mécanique" d'un auteur post-aristotélicien sont entièrement constituées par des développements sur le levier, les mouvements circulaires et leurs applications (longtemps attribuées à Aristote lui-même, on a démontré depuis qu'elles avaient été sans doute écrites par l'un de ses élèves). Si "la Physique" d'Aristote reste une étude abstraite et générale du mouvement, inexacte pour la plupart de ses développements, elle n'en est pas moins marquée par la volonté de rationalisation, l'une des caractéristiques parmi les plus importantes d'une partie no-

liées par une
pratique

table de la philosophie grecque de l'époque, volonté de rationalisation que l'on retrouve dans le même temps dans la démarche des techniciens.

D'une manière générale, je pense que l'on peut affirmer que toute idée scientifique est le produit d'une certaine **pratique sociale** - c'est-à-dire "d'une société". L'affirmation de la sphéricité de la Terre, par exemple, découle de l'expérience quotidienne des navigateurs. La réflexion antérieure sur l'aimant est une conséquence de l'utilisation de la boussole. Les progrès de l'optique au XVII^e siècle sont pour une large part dus aux améliorations apportées depuis le XIII^e siècle aux lunettes par les artisans opticiens. L'exemple de la mesure du temps est bien connu, celui de la relation entre l'essor de la machine à vapeur et la naissance de la thermodynamique, aussi. A un autre niveau, ce sont aux demandes des marchands - plus qu'à celles des philosophes - que nous sommes redevables de la rationalisation de la numération au Moyen-Age ; ce sont également elles qui ont conduit à l'uniformisation du système d'unités à la fin du XVIII^e siècle.

Les grands voyages - celui de C. Colomb pour commencer, en remettant en cause la "Géographie" de Ptolémée, ont contribué à la "Révolution copernicienne" au moins autant que les contradictions de l'astronomie. La concordance dans le temps de la révolution scientifique, de l'oeuvre de Galilée, du "maître et possesseur de la Nature" de Descartes..., d'une part, du développement des manufactures - et donc d'une relative mécanisation de la production, de l'essor de la bourgeoisie..., d'autre part, n'est pas le fait du hasard.

pratique de
référence
utile ...

Les exemples pourraient être multipliés à l'infini, le XIX^e siècle et plus encore le XX^e siècle étant de ce point de vue particulièrement prolifiques. Il serait, je pense, intéressant de rapprocher l'idée développée dans le présent sous-chapitre d'un des concepts définis par J.L. Martinand dans l'ouvrage cité plus haut, celui de "pratique sociale de référence" (59). Il serait également important de se pencher sur le problème inverse : une pratique sociale donnée peut-elle constituer un obstacle à l'éclosion d'une théorie scientifique ? Certains éléments de réponse sont assez faciles à apporter. Il existe quantité de cas où les limitations des possibilités technologiques ont empêchés ou retardé une découverte. Si la période faste de l'Ecole d'Alexandrie n'a pas entraîné des progrès scientifiques (et techniques) plus spectaculaires, c'est en grande partie parce que le système esclavagiste dominant ne se prêtait à aucune innovation dans quelque domaine que ce soit (militaire excepté).

ou obstacle ?

Si l'hypothèse héliocentrique d'Aristarque de Samos est restée sans postérité jusqu'au XVI^e siècle, c'est bien parce que le climat intellectuel, les philosophies enseignées, l'expérience courante des hommes des siècles intermé-

diaires ne s'y prêtaient pas ... Mais ce ne sont là que réponses partielles : une réflexion plus générale sur le sujet serait à mener.

3-2. Philosophes

L'influence de la philosophie sur la science est évidente aux époques où elles sont confondues, au cours des Antiquités grecque et hellénistique, à un moindre degré pendant le Moyen-Age. La pensée philosophique est alors à la fois moteur et frein de la pensée scientifique. Depuis la constitution de la pensée scientifique en système autonome - aussi autonome, du moins, que peut l'être un "produit social" - l'influence en est moins directe, tout en continuant à se manifester.

la philosophie
crée aussi des
obstacles

Là aussi les exemples d'obstacles dus aux conceptions philosophiques sont nombreux. Citons : les limitations aux progrès de la cosmologie, de l'anatomie..., découlant de la théologie catholique au Moyen-Age ; plus récemment, son opposition à l'idée d'évolution biologique le rôle stérilisant de la pensée scholastique après le XIVe siècle ; le procès de Galilée... Nous avons déjà traité rapidement du rôle du mécanisme... Une philosophie me paraît, à l'heure actuelle, mériter une attention particulière, c'est le positivisme, notamment parce qu'il constitue le plus souvent "la philosophie spontanée des savants" pour reprendre l'expression de L. Althusser (60). L'on sait que la formulation du positivisme est due à A. Comte, influencé pour une part par St Simon, auteur du "**Système Industriel**". En ce qui concerne la philosophie des sciences, l'idéologie comtienne est assez largement conditionnée par les contradictions de la pensée scientifique au XIXe siècle et par le refus de nombre de scientifiques de toute théorie globalisante, refus les conduisant souvent à une sorte de culte du "fait", supposé brut. On découvre ainsi des conceptions "pré-positives" chez Ampère, Berthollet, Biot... et surtout Fourier. Le positivisme de la deuxième moitié du XIXe siècle offre un exemple d'obstacle au progrès de la pensée scientifique dû à un système philosophique. Les chimistes positivistes (J.B. Dumas, M. Berthelot...) se sont en effet violemment opposés - et au nom du positivisme - à la théorie atomique. Par ailleurs, le positivisme impose par principe des limitations à la recherche scientifique - et donc des obstacles à son développement, par exemple en excluant du champ de ses préoccupations toute recherche des causes. On peut juger également que certains néopositivistes contemporains, induisant des inégalités de Heisenberg que la réalité physique est par nature inconnaissable, instaurent ainsi des bornes de fait à la science.

particulièrement
le positivisme

qui s'est opposé
à la théorie
atomique !

3-3. Le "paradigme" dominant

chaque science a
son "paradigme"
à un moment donné

Selon le schéma de T.S. Kuhn, il existe, à un moment donné de l'évolution d'une science, un "paradigme" c'est-à-dire un ensemble de "...découvertes scientifiques universellement reconnues qui, pour un temps, fournissent à un groupe de chercheurs des problèmes types et des solutions" (61). Sur la base de ce "paradigme" s'édifie une "science normale", laquelle a cours jusqu'à ce que des contradictions entre le contenu de cette science et des découvertes nouvelles rendent nécessaire un changement de "paradigme", c'est-à-dire une "révolution scientifique".

et un ancien
"paradigme" peut en
freiner les
évolutions

Dans la période de "crise" - en reprenant le terme utilisé par Kuhn lui-même - qui précède la "révolution", les scientifiques en exercice sont des hommes qui, en majorité, ont été formés par l'enseignement et la pratique de la "science normale" contestée. Si la transformation causée par la "révolution scientifique" est très profonde, il se peut que les structures mentales de ces savants ne leur permettent pas de s'adapter aux modifications exigées par la situation. Les idées, les habitudes de pensée, les formes de raisonnement, les concepts les plus usuels des acteurs eux-mêmes de l'activité scientifique constituent globalement, à ce moment-là, un obstacle à leur acceptation de la mutation en cours, et à plus forte raison à leur participation au mouvement indispensable de la pensée scientifique. Le "paradigme" dominant ancien, jadis élément de progrès des sciences, est devenu un frein.

les idées d'Einstein
en ont souffert

Le phénomène peut être observé à différents moments de l'histoire de la physique. Il a été particulièrement net au début du XXe siècle. Nombre de physiciens ont, à l'époque, rejeté les idées d'Einstein, s'y opposant quelquefois même violemment comme H. Bouasse, professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse, et auteur de nombreux manuels, ou tout au mieux les minimisant. Il est d'ailleurs assez significatif que le Prix Nobel ait été attribué à Einstein, non pour la théorie de la relativité, mais pour son interprétation de l'effet photoélectrique.

La formulation de Kuhn s'applique essentiellement aux aspects scientifiques du "paradigme". En fait, c'est la totalité de l'esprit des savants qui le retiennent qui est impliquée. La manière dont ils perçoivent tel ou tel concept est souvent fonction de leur mode de pensée dans sa globalité et pas seulement des réactions suscitées par leur comportement professionnel de scientifiques, en tant que scientifiques. Dans l'exemple précédent, notamment, la perception de l'espace et du temps d'un individu, fut-il par ailleurs physicien, celle de la simultanéité des événements..., sont inspirées par la vie courante et ne diffèrent pas, quant au fond, de celles de l'épicier du coin. On ne peut, bien évidemment,

ceci montre la
limite humaine de la
méthode scientifique,
en principe parfaite

généraliser. Certaines "révolutions scientifiques" sont plus circonscrites que celle qui a été due à la théorie de la relativité. Les considérations précédentes ne s'appliquent donc sans doute pas, du moins pas totalement, sans toutefois que l'on juge pouvoir faire abstraction du mode de pensée des savants et de sa relation à la vie de la société dont il est partie prenante.

L'effet de "blocage" d'un "paradigme" dépassé montre aussi, soit dit en passant, les limites de la méthode scientifique. Elle est, dans ses principes, parfaite ; elle permet - elle favorise même - les remises en cause, les contestations, etc. Mais, dans la mesure où elle est appliquée par des hommes, leurs sentiments, leur mentalité..., jouent et en diminuent l'efficacité, pouvant même quelquefois amener des effets en contradiction avec les principes mentionnés.

4. CONCLUSION

De nombreuses études sur l'histoire de la physique sont dues à des historiens, des philosophes, des physiciens... Il en existe aussi quelques-unes dont les auteurs se préoccupent essentiellement des problèmes relatifs à l'éducation. Je pense en particulier à certains des ouvrages de G. Bachelard, de J. Piaget, de F. Halbwachs... Plusieurs articles des chercheurs du L.I.R.E.S.P.T. abordent également l'histoire de la physique de ce point de vue. Des approches similaires sont tentées dans d'autres disciplines ; je pense notamment aux travaux d'André Giordan sur l'histoire de la biologie. Le concept "d'obstacle épistémologique" est fréquemment utilisé et il me paraît probable qu'il s'agit d'une notion très importante, à la fois pour l'histoire des sciences et pour leur didactique. Il reste, pour l'exploiter au mieux, à promouvoir la collaboration suggérée par J.L. Martinand, non seulement d'ailleurs entre didacticiens et épistémologues, mais en y associant des historiens des sciences, des historiens des techniques, etc. Les préoccupations sont à rapprocher. Il faut aussi s'entendre sur un langage commun ; ce n'est pas - à mon avis - l'objectif le plus facile à atteindre.

Jean Rosmorduc
Histoire des Sciences
Faculté des Sciences et Techniques
Brest

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) J.L. MARTINAND. **Connaître et transformer la matière.** Berne. P. Lang. 1986. p. 290-291.
- (2) C. LEVI-STRAUSS. **La Pensée sauvage.** Paris. Plon. 1962. p. 24.
- (3) Voir le tableau chronologique publié par B. GILLE *in* **Histoire des techniques.** Paris. la Pleïade. 1978. p. 1482-1537.
- (4) E. MACH. **La Mécanique - Exposé historique et critique de son développement.** trad. française. Paris. Gauthier-Villars. 1904. p.7.
- (5) A. LEROI-GOURHAN. **L'Homme et la matière.** rééd. Paris. A. Michel. 1971.
- (6) A. LEROI-GOURHAN. **Le fil du temps. Ethnologie et préhistoire 1935-1970.** Paris. Fayard. 1983. p. 101.
- (7) A. EINSTEIN. **La géométrie et l'expérience.** trad. française. rééd. Paris. Gauthier-Villars. 1964. p. 16.
- (8) T.S. KUHN. **La structure des révolutions scientifiques.** trad. française. rééd. Flammarion. 1983. p. 11.
- (9) Expression de BACHELARD. *in* **La formation de l'esprit scientifique.** rééd. Paris. Vrin. 1980. p. 22 et suivantes.
- (10) Traduction commentée par D. SPEISER et P. RADELET de GRAVE. *in* **La Revue d'histoire des sciences.** n° 3. juillet 1975.
- (11) op. cit. note (8) p. 29 et suivantes.
- (12) ARISTOTE. **Du ciel.** texte grec et trad. française. Paris. Les belles lettres. 1965. p. 96-98. Un système héliocentrique sera également proposé plus tard par Aristarque de Samos (IIIe siècle A.C.).
- (13) J.P. VERNANT. **Mythe et pensée chez les Grecs.** rééd. Paris. Maspéro. 1971. p. 173.
- (14) F. ENGELS. **Dialectique de la nature.** trad. française. Paris. Ed. Sociales. 1952. p. 244.
- (15) L. BOURGEY. **Observation et expérience chez Aristote.** Paris. Vrin. 1955. p. 44 et 143.
- (16) ARISTOTE. 384-322. ARCHIMEDE. 287-212 A.C.
- (17) A. KOYRE. Galilée et Platon. *in* **Etudes d'histoire de la pensée scientifique.** Paris. PUF. 1966. p. 147-175.
- (18) F. HALBWACHS. **La pensée physique chez l'enfant et le savant.** Neuchâtel. Le Griffon. 1974. p. 143-152. "Les fondements psychologiques de la mécanique pré-galiléenne". **Cahiers du séminaire d'histoire et de sociologie des idées et des faits scientifiques.** n° 7. Marseille. 1974.

(19) L. FEBVRE. **Le problème de l'incroyance au XVI^e siècle, la religion de Rabelais.** rééd. Paris. A. Michel. 1968. p. 390.

(20) op. cit. note (10).

(21) J. ROSMORDUC. **Le levier, la roue et l'horloge. Essai sur le rôle directeur de la mécanique.** in **Une histoire de la physique, de Thalès à Einstein.** Ed. du Seuil. 1985. p. 97-133.

(22) G. SIMON. **Derrière le miroir.** in **Le temps de la réflexion.** Paris. Gallimard. 1981. P. 298-331.

(23) L'un d'entre eux **Paralipomènes à Vitellion.** 1604. a été traduit en français et commenté par C. Chevalley. Paris. Vrin. 1980.

(24) K. POMIAN. **L'histoire de la science et l'histoire de l'histoire.** in **Histoire et sciences.** Annales E.S.C. n° 5. sept-oct. 1975. p. 945.

(25) F. BALIBAR. **Galilée, Newton, lus par Einstein.** Paris. PUF. 1984. remarquable livre sur la **Relativité galiléenne**, à laquelle je pense, entre autres.

(26) Une reproduction en fac-similée de sa traduction française par la Marquise du Châtelet (1976) a été éditée en 1966 par la librairie A. Blanchard. Paris. 2 volumes.

(27) op. cit. note (4). p. 180.

(28) I. NEWTON. op. cit. note (26). t.II. p. 175.

(29) Voir J. ROGER. **Les sciences de la vie dans la pensée française du XVIII^e siècle.** Paris. A. Colin. 1973. p. 224. 230. 778. 779.

(30) Publié de 1799 à 1823.

(31) Conception notamment développée dans son **Essai philosophique sur les probabilités** (1^{ère} éd. 1814). rééd. en 1986 chez C. Bourgeois. Paris.

(32) J. ROSMORDUC et all. **Histoire de la physique.** t.I. Paris. Technique et Documentation. 1987. p. 231-235.

(33) G. BACHELARD. (1^{ère} éd. 1934). rééd. Paris. PUF. 1971.

(34) **La pensée physique chez l'enfant et le savant.** cité note (18).

(35) HELMHOLTZ. cité par A. Einstein et L. Infeld. in **L'évolution des idées en physique.** trad. française. Paris. Payot. 1963. p. 56-57.

(36) P. LANGEVIN. **La physique moderne et le déterminisme.** La Pensée. n° 1. avril-mai-juin 1939. p. 14.

(37) J. PIAGET. **Introduction à l'épistémologie génétique - La pensée physique.** rééd. Paris. PUF. 1974. p. 188.

- (38) A. JAUBERT et J.M. LEVY-LEBLOND. **(auto) critique de la science**. rééd. Paris. Seuil. 1975.
- (39) P. FEYERABEND. **Contre la méthode - Esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance**. trad. française. Paris. Seuil. 1979.
- (40) R. BLANCHE. **La méthode expérimentale et la philosophie de la physique**. Paris. A. Colin. 1969.
J. ULLMO. **La pensée scientifique moderne**. rééd. Paris. Flammarion. 1969.
- (41) A. KOYRE. **Du monde de l'à peu près à l'univers de la précision** in **Etudes d'histoire de la pensée philosophique**. Paris. A. Colin. 1961. p. 311-329.
- (42) P. BRUNET. **Les physiciens hollandais et la méthode expérimentale en France au XVIIIe siècle**. Paris. Blanchard. 1926. p. 65-66 cite le physicien hollandais du XVIIIe siècle S'Gravesande.
- (43) op. cit. note (18). p. 198-208.
- (44) J. PERRIN. **De la méthode dans les sciences**. 2e série. Paris. 1911. p. 78.
- (45) A. CRESSON. **Les réactions intellectuelles élémentaires**. Paris. 1922. p. 3-4.
- (46) M. BUNGE. **Philosophie de la physique**. trad. française. Paris. Seuil. 1975. p. 137.
- (47) C. HUYGHENS. **Traité de la lumière**. 1ère éd. française. Paris. Gauthier-Villars. 1920.
- (48) Dans **l'Essayeur**. 1623.
- (49) in **Penser les mathématiques**. ouv. coll. Paris. Seuil. 1982. p. 198.
- (50) J. ULLMO. op. cit. note (40). p. 15-21.
- (51) Voir la phrase de Jeans citée par LEVY-LEBLOND. op. cit. note (49). p. 195.
- (52) P. LANGEVIN. **La valeur éducative de l'histoire des sciences** in **La pensée et l'action**. Paris. éd. Sociales. 1964. p. 193-208.
- (53) R. TATON. **Causalités et accidents de la découverte scientifique**. Paris. Masson. 1955.
- (54) E. BAUER. **L'électromagnétisme, hier et aujourd'hui** Paris. A. Michel. 1949. p. 86-87.
- (55) E. RENAN. **L'avenir de la science**. in **Oeuvres complètes d'E. Renan**. t.III. Paris. 1949. p. 1062.
- (56) J.M. LEVY-LEBLOND. **L'esprit de sel**. Paris. Fayard. 1981. p. 17-30.
- (57) Introduction de **Histoire générale des techniques**. t.I. Paris. PUF. 1962. p. XI.
- (58) B. GILLE. **Les mécaniciens grecs**. Paris. Seuil. 1980.

(59) J.L. MARTINAND. op. cit. note (1). p. 137 et 191

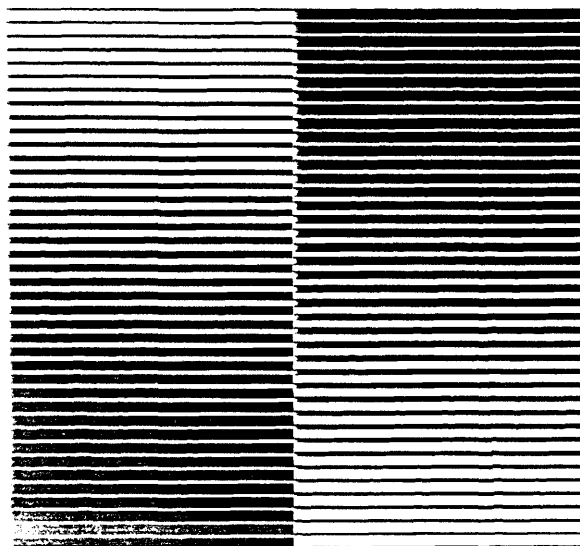
(60) L. ALTHUSSER. **Philosophie et philosophie spontanée des savants**. Paris. Maspéro. 1974.

(61) op. cit. note (8). p. 28.

La génétique et ses représentations dans l'enseignement

Guy Rumelhard

Préface de Albert Jacquard



Collection Exploration Recherches en sciences de l'éducation


Peter Lang

Principaux diffuseurs à Paris : Librairie des Presses Universitaires de France, Librairie Magnard, Librairie du Muséum.