

LA SCIENCE EN MOUVEMENT

**Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences
Nice-Côte d'Azur**

LA SCIENCE EN MOUVEMENT

PRESSES UNIVERSITAIRES DE France

**Académie Européenne Interdisciplinaire
des Sciences
Nice-Côte d'Azur**

Université de Nice-Sophia Antipolis

Actes du colloque

LA SCIENCE EN MOUVEMENT

AVANT-PROPOS

La situation préoccupante, dans notre pays, de la recherche fondamentale ou applicable nous a conduits à organiser le 2 avril 2004, au Centre Universitaire Méditerranéen de Nice, un colloque public **Science et jeunesse** dont les travaux ont fait l'objet du tome 4 des Actes de notre Académie, diffusés par les Presses Universitaires de France.

Le lendemain, 3 avril 2004, un second colloque public, tenu à la Faculté des Sciences de l'Université de Nice-Sophia Antipolis était consacré à un des sujets les plus passionnants de la physique: le mouvement ; Comprendre ce qu'est le mouvement est vraisemblablement un objet de réflexion premiers de l'*Homo sapiens sapiens*. On trouvera dans les pages suivantes les témoignages des participants à ce colloque, philosophe, physiciens, astrophysicien, biologiste, géologues, médecin, économiste. Une table ronde, présidée par Madame Gourdet, présidente de l'Université de Nice-Sophia Antipolis, a suivi les exposés des conférenciers. Les différents intervenants ont souligné les dangers de la désaffection du public

mais aussi des jeunes étudiants envers la science. Des propositions pour réintégrer la Science dans la Culture ont été faites : on les trouvera plus loin.

A l'issue du colloque Madame Gourdet a annoncé la création de la **Maison de la Science** de Nice. Un des buts de cette association sera d'aider à ce que, dans notre ville et ailleurs, *urbi et orbi*, la Science soit réellement en mouvement.

La mairie de Nice nous a aidés, comme à l'accoutumée : nous l'en remercions bien sincèrement.

Le président de l'A.E.I.S. Nice-Côte d'Azur
René Dars

LA SCIENCE EN MOUVEMENT

SOMMAIRE

Professeur Jean-François Mattéi

Aristote et le mouvement *Page 7*

Professeur Pierre Coulet

Des plans inclinés et des pendules qui ont
bouleversé notre vision du monde :

La naissance de la Science du mouvement *Page 21*

Professeur Jean-Pierre Delmont

La science médicale remise en mouvement
au 19^{ème} siècle *Page 53*

Professeur Jean-Luc Gaffard

Paradoxe et dilemmes de la croissance

A propos du temps en économie *Page 69*

Christian Sardet

Les étincelles de la vie *Page 87*

Etienne Guyon

Une brève histoire des grands musées de
l'Education Nationale *Page 97*

Professeur André Brahic

Les dernières nouvelles d'un jeune univers
très agité *Page 125*

Table ronde

Page 131

ARISTOTE ET LE MOUVEMENT

JEAN-FRANÇOIS MATTÉI*

Aristote distinguait dans le champ de la philosophie trois sciences théorétiques, fondamentales et irréductibles : la théologie, qui traite de Dieu comme premier moteur immobile ; la mathématique, qui traite des êtres immobiles ; la physique qui, seule, s'occupe des êtres en mouvement ou, plus exactement, des êtres qui ont en eux-mêmes le principe de leur mouvement. La *physis* de chaque être naturel, cet être que nous qualifions de « physique », c'est le principe interne de son mouvement ou, inversement, de son repos. Tous les êtres concernés par la physique sont matériels, à la différence des êtres

* Professeur des Universités (philosophie). Université de Nice – Sophia Antipolis - Professeur à l'Institut Universitaire de France

mathématiques, abstraits des objets naturels, parce qu'il sont composés de trois principes : la forme qui les détermine, la privation ou l'absence de forme, et, donc, de détermination, enfin la matière qui reçoit la forme. L'ouvrage d'Aristote qui traite de ces questions se nomme *Physikè akroasis*, soit les « leçons de physique » ou les « leçons sur la nature » ; mais ce titre trouvé sur les manuscrits tardifs n'est pas dû à Aristote. L'ouvrage est composé de huit livres et il est, sous cette forme, le plus ancien traité scientifique de physique que nous connaissions.

Que peut-on dire de cet ouvrage ? Le champ de la physique est défini, d'emblée, comme le champ de tous les êtres en mouvement. Dès le livre I, chapitre 2, en 185 a, Aristote pose comme principe que « les êtres de la nature, en totalité ou en partie, sont mûs (*kinoumena*) », et il précise aussitôt que ce principe est saisi clairement par l'« induction », *épagogê*. C'est donc à titre expérimental, mais une telle expérience est d'ordre phénoménologique, que le physicien doit affirmer le primat du mouvement sous toutes ses formes dans la nature. Ce mouvement n'est pas le plus haut degré de l'être puisque, au-dessus de la nature ou *physis*, le philosophe devra poser l'existence d'un être supérieur vers lequel les êtres naturels tendent comme les morceaux de fer vers l'aimant ; et cet être immobile est le Premier moteur divin qui met en branle toutes choses par sa seule présence. Le mouvement du monde trouve ainsi son origine et sa source dans une immobilité

absolue, tout comme, de façon analogique, l'ensemble des points de la roue qui tourne, sur un char, est animé par le centre de la roue, le point ultime du moyeu qui, lui, est immobile.

Les quatre premiers livres traitent des conditions de possibilité du changement, les quatre derniers s'intéressent au changement lui-même et à ses différents modes. Le fil conducteur de la recherche est celui de la légitimité du changement, ce qui est le problème crucial de la philosophie puisqu'il s'agit de comprendre comment les choses viennent de rien, comment elles retournent à rien et, entre les deux, comment elles changent. Pour le dire autrement, quelles sont les raisons des modifications d'un être apparu à un moment du temps et qui ne tardera pas à disparaître à un autre moment ? Au fond, chaque mouvement que l'on envisage est tendu à chaque instant entre le « pas encore » et le « jamais plus », entre l'être et le néant : comment réussir à penser son devenir momentané et bientôt disparu ?

La grande découverte d'Aristote, par rapport à ses devanciers, est la distinction de l'acte, *energeia*, et de la puissance, *dunamis*, dans les êtres saisis par l'expérience humaine. Tout le système aristotélicien est dominé par ce jeu de la puissance et de l'acte comme le cosmos tout entier est tendu entre, d'un côté, la puissance absolue de la matière première qui, sans l'intrusion de la forme, sera incapable de s'actualiser ; et, d'un autre côté, l'actualité

absolue du Premier moteur, comme pure auto-réalisation de soi, qui ne possède aucune puissance puisqu'il est entièrement investi dans son actualité. Ce qu'un être va devenir, il l'est déjà en puissance comme le fœtus est en puissance un homme sans en avoir encore l'actualité et la réalité.

Chaque élément du devenir dépend ainsi d'un terme initial en passant d'un contraire à un autre. Par exemple, la couleur blanche ne devient pas chaude, ni aiguë ni lourde ; elle ne peut devenir que noire, ou l'une des couleurs grises entre le blanc et le noir. Le changement s'effectue donc par l'attribution à une matière donnée (premier principe) d'une forme (deuxième principe) ou de la privation de cette forme (troisième principe) : le noir est privation de blanc, le froid, privation de chaud, la maladie, privation de santé. On peut penser que cette célèbre triade des principes – forme, matière, privation – est calquée sur la triade des formes temporelles : la privation renvoie à la réalité passée (le patient n'est plus en bonne santé : il manque de globules rouges), la matière à la réalité présente (le patient est atteint de telle maladie du sang), la forme à la réalité future (le patient recouvrira la santé en retrouvant son taux normal d'hématies). C'est la privation de la santé passée, à savoir telle maladie qui affecte présentement le corps du patient, qui exige la forme à venir de la santé que doit rétablir le traitement médical.

Comment s'effectue le changement ? Il s'agit toujours du passage d'un être en puissance à un être en acte ; mais ce changement est commandé par la réalité en acte qui le produit. En clair, c'est l'acte en tant qu'actualité qui meut la puissance en tant qu'actualisation. Il n'y a donc pas de mouvement sans moteur initial, mais tout moteur reste en contact avec le mobile. Ce que la pensée antique n'a pas réussi à saisir dans sa cinématique, c'est le principe d'inertie découvert par Galilée et théorisé par Descartes. Pour Aristote, tout changement, en premier lieu le mouvement local d'un point à un autre, est un changement d'état du mobile conduit par le moteur. Pour les penseurs modernes, au contraire, un mouvement rectiligne uniforme qui ne rencontre aucune résistance est un état permanent qui ne nécessite aucune cause motrice pour le produire.

Il faut bien comprendre que le monde aristotélicien, celui des Anciens, est un monde clos, et donc fini, et non l'univers infini des Modernes. Dans ce monde sphérique, il y a des directions absolues, un Haut vers lequel monte le feu, un Bas vers où descendent les graves, une Droite et une Gauche, un Devant et un Derrière. Au centre du monde, la Terre est immobile et, autour d'elle, une série de sphères concentriques s'emboîtent l'une dans l'autre jusqu'à la sphère supérieure, la sphère des étoiles fixes dont les rapports sont constants. Ce modèle cosmologique est en outre lié à la géométrie grecque fondé sur un modèle sphérique d'univers qui va s'imposer pendant près de vingt siècles. Ainsi, pour

Aristote, dans le transport ou mouvement local, le mouvement le plus parfait est le mouvement circulaire parce que le philosophe est influencé par la prégnance des mouvements du ciel. Et c'est en postulant qu'il doit y avoir un mouvement unique et éternel du monde qui ne peut être qu'un mouvement circulaire uniforme qu'Aristote pose l'existence d'un premier moteur immobile, unique et incorporel au même titre que le point central du moyeu autour duquel tourne la roue. Le mouvement continu éternel est celui du « premier ciel », c'est-à-dire celui de la sphère des étoiles fixes qui, pour les Anciens, étaient fixées, et même rivées comme des incrustations de diamants dans l'ultime sphère du cosmos, à l'image d'une bague incrustée de brillants.

Quelles sont les différentes espèces du mouvement ? Il y a en premier lieu le mouvement « par nature », *kata phusin*, et le mouvement « contre nature », *para phusin*. Considérons d'abord le mouvement naturel. Les éléments dont sont composés tous les êtres sensibles, soit les quatre éléments traditionnels, le Feu en haut, l'Air et l'Eau au milieu, la Terre tout en bas, possèdent chacun un lieu naturel. Le feu tend naturellement vers le haut, la terre vers le bas, l'air et l'eau se dirigent dans les régions intermédiaires. Quant au cinquième élément, la *pempte ousia* dont les Latins feront la *quinta essentia* ou « quinte essence », il est la substance des corps célestes, l'éther, qui est le support de la translation des étoiles autour du centre du monde. À l'inverse, le mouvement violent, ou contre nature, est celui qui tire le mobile hors

de son lieu naturel. Ainsi une pierre, de nature « terreuse » de par sa provenance géologique, a tendance à revenir à son lieu naturel, la Terre, qui l'attire à tout moment même lorsqu'elle est lancée en l'air.

En dehors de cette opposition fondamentale, Aristote distingue les mouvements rectilignes, circulaires, puis les mouvements composés, ainsi que les mouvements uniformes opposés aux mouvements non uniformes. Sans entrer ici dans le détail de ces analyses, nous pouvons nous intéresser au modèle du mouvement que construit Aristote. Ce qui distingue le monde supralunaire, ou divin, du monde sublunaire, le monde terrestre, c'est la présence du mouvement qui est la limite, ou la barrière, entre la perfection stellaire et l'imperfection terrestre. Certes, les étoiles se meuvent, mais leur mouvement régulier est un mouvement circulaire et éternel qui les rapproche, autant que leur matérialité - subtile, puisqu'il s'agit de l'éther, mais matérialité tout de même - le leur permet. On comprend que le dieu aristotélicien soit un dieu immobile, « pensée de la pensée » abîmée dans sa propre contemplation, parce que la pensée antique, même lorsqu'elle pense le mouvement, voire les métamorphoses, le fait toujours à partir de la *stasis*, du « repos ». Un mouvement n'est possible qu'entre deux repos. La rupture qu'opérera la pensée moderne, en physique, mais aussi en philosophie et en politique, tient à un complet renversement : tout est désormais pensée à partir du mouvement, *kinésis*, et non

plus du repos, de sorte qu'un repos ne sera possible qu'entre deux mouvements.

Il y a donc bien une coupure radicale, chez Aristote, entre le monde supralunaire, celui des étoiles et du cosmos tout entier dont la régularité cyclique imite l'éternité immobile du Premier moteur, et le monde sublunaire, celui des mouvements de la Terre, des pluies de météores ou des changements de saison dont l'irrégularité condamne le monde humain, animal ou végétal à l'à peu près. Le mouvement des êtres sensibles est la différence fondamentale qui interdit à chaque être de coïncider avec lui-même et de parvenir à l'unité. Au fond, le modèle du mouvement aristotélicien est le modèle humain lui-même, dans une conception anthropomorphique qui fait de l'homme un être de désir toujours en mouvement parce qu'il cherche une unité impossible à atteindre. Le mouvement physique d'Aristote se trouve ainsi fondé sur une modélisation anthropologique parce que notre expérience de l'existence - la condition humaine – est celle du temps et du mouvement dans leur inachèvement essentiel. Nous n'avons pas accès à l'être ni au repos, nous sommes condamnés au « branle » de toutes choses, comme le dira Montaigne qui précisera, dans ses Essais, qu'il ne peint pas l'« être », mais le « passage ». Les penseurs modernes eux-mêmes partiront du constat empirique d'un mouvement permanent du monde parce que l'homme, toujours lui, le ressent comme tel. Mais ils construiront un tout autre paradigme, celui d'un

mouvement abstrait, mathématisé, présent en toutes choses, et non seulement dans le désir humain. Une même expérience, celle de la mobilité de toutes choses et du mouvement qui gouverne le monde, a conduit les Anciens à penser le mouvement à partir du repos, le Premier moteur d'Aristote, et les Modernes à penser le repos à partir du mouvement, le principe d'inertie de Galilée.

Aristote construit donc sa physique à parti du mouvement ou *kinésis*. Certes, le philosophe avance parfois que la *kinésis* serait, avec la *génésis*, l'une des deux espèces de la *métabolé*, le « changement » en général. Mais en réalité il emploie indifféremment les trois termes pour indiquer le processus qui affecte le monde sublunaire alors que le monde supralunaire imite le repos de dieu dans son mouvement circulaire parfait. Ce dernier s'imposera à la cosmologie jusqu'à ce que Kepler établisse définitivement que les mouvements des astres sont des ellipses, et non des cercles. La nature tout entière, selon Aristote, est donc « principe de mouvement et de repos », lit-on dans la Physique (II, 1, 192 b), de sorte que l'être naturel est toujours en mouvement, son repos n'étant que la suspension du mouvement, *érémia*, et non une stricte immobilité, ou *akinésia*. Le mouvement révèle dans tous les êtres en devenir trois sortes de principes ou plutôt deux dualités de principes :

- la forme est ce qui advient dans le devenir, par exemple la forme de l'homme dans le devenir du fœtus ;
- le sujet considéré, ici le fœtus ou l'enfant né, est la matière du devenir ;

mais la forme s'oppose aussi au sujet, qui ne la possède pas encore, comme privation de cette forme.

Tout être en mouvement est ainsi un composé de matière, de forme et de privation qui jouent entre des contraires. La forme est ce que la chose sera quand elle se trouvera achevée, telle la statue à son stade final. La privation est ce que la forme était, le bloc de marbre ébauché auquel manquait encore la forme recherchée. Le sujet matériel est ce qui subsiste présentement au travers des changements qui lui adviennent.

Quelle est alors la définition finale du mouvement selon Aristote ? On l'approche à l'aide de l'opposition de la *dunamis* et de l'*energeia*. La *dunamis*, nous l'avons vu, est la puissance en tant que principe du changement ou du mouvement dans un autre être en tant qu'autre. C'est dire que la puissance d'un être est une puissance de changement interne parce qu'elle est un « pouvoir-devenir-autre ». Face à elle on trouve l'*energeia*, dont la physique moderne tire son « énergie », qui est l'activité de la fabrication artisanale, l'*ergon*. Mais Aristote distingue l'activité en tant que *dunamis* de l'acte final en tant que résultat achevé. Il utilise alors un nouveau terme, celui d'*entelecheia* qui, ordonné autour du mot

télos, la « fin », signifie en grec l'acte achevé, accompli et parfait. L'acte considéré est immobile parce que l'activité l'a conduit à son point d'achèvement où rien ne peut lui être ajouté ou retiré, à l'image de la statue en acte complètement finie. Si la puissance précède l'acte, en tant que condition de son activité de déploiement, l'acte préexiste en réalité à la puissance, en tant que révélateur de ses potentialités. Pour prendre un exemple biologique, très courant chez Aristote, c'est l'homme qui engendre l'homme, au cours de l'acte sexuel, à partir de la semence qui est seulement puissance, car l'acte de l'homme, dans sa pleine humanité, est premier par rapport à la semence qui ne donnera que plus tard un autre homme.

Il résulte de ces analyses que le mouvement sera un mixte de puissance et d'acte, comprenons la pleine activité d'une action en train de se faire. C'est là la célèbre définition aristotélicienne de « l'acte de ce qui est en puissance en tant que tel » (*Physique*, III, 1, 201 a). Ce que signifie cette expression énigmatique, c'est que le mouvement est l'acte propre de la puissance, la seule manière dont la puissance se déploie et agit, précisément dans la mesure où son acte est, paradoxalement, d'être en puissance sans connaître encore son achèvement. Dans l'acte proprement dit, au contraire, le présent et le passé coïncident, car c'est la même chose, précise Aristote, que « voir » et « avoir vu », « penser » et « avoir pensé », alors que ce n'est pas la même chose que de « mouvoir » et « avoir mu ».

Cette théorie physique du mouvement, qui répond plus à des considérations cosmologiques et métaphysiques qu'à des analyses strictement physiques, est, à l'évidence, inadéquate et fautive. Pourtant, même si Aristote se trompe dans sa cinématique selon nos critères modernes, ses réflexions ont suscité pendant des siècles les recherches de tous les physiciens. Sa loi du mouvement établissait que la distance parcourue par un mobile est le produit de sa masse par le temps divisé par la densité du milieu traversé, par exemple le milieu aérien pour une pierre. Il faudra attendre Descartes pour que les physiciens parviennent difficilement à comprendre que la force du mouvement est égale à la masse multipliée par la vitesse, soit $f = m.v$, ce qui est encore une erreur, et même une « erreur mémorable » pour Leibniz, puisque l'équation exacte est $f = 1/2 m.v^2$. Mais la bonne solution était en vue. De même, la théorie cartésienne des projectiles fondée sur l'« horreur du vide » de la nature, est-elle fautive ; mais c'est une théorie dynamique qui tente de modéliser et d'unifier les mouvements des projectiles les plus divers. Si Aristote a mal appréhendé la nature du mouvement local, c'est sans doute parce que son paradigme restait encore celui de la *techné* artisanale. Dans un geste technique de fabrication, en effet, l'œuvre produite - un vase, une statue, une chaise - est le résultat de l'action continue entre un agent producteur - le potier, le sculpteur, le menuisier- et le produit qu'il façonne, la production de l'objet étant l'intermédiaire advenu par un contact continu avec la matière.

Mais ce n'est pas la même chose pour les objets de la nature, par exemple une pierre lancée contre un arbre, une flèche ou une lance projetées sur un ennemi. Pour expliquer la poursuite du mouvement après le jet, alors que la main n'impulse plus de mouvement puisque la pierre ou la lance l'ont quittée, Aristote émet l'hypothèse d'un intermédiaire matériel, l'air, qui perpétue les contacts successifs avec l'objet en mouvement. Plus tard, les physiciens substitueront à ce mouvement de l'air causé par contact la nouvelle théorie de l'*impetus* : elle supposera que la poursuite du mouvement est due à la force émise, lors du jet, force qui persiste encore quelque temps dans la pierre lancée. On arrivera ainsi peu à peu à l'hypothèse de l'inertie : mais il faudra changer alors totalement de paradigme et, par là même, de modélisation.

Comme on le voit, la théorie du mouvement dans la physique d'Aristote était fausse, comme était fausse la théorie du géocentrisme dans la cosmologie de Ptolémée. Mais cette constatation n'est pas décisive. Car elles sont néanmoins des théories d'ordre scientifique dans la mesure où elles sont produites par un raisonnement rationnel qui cherche à modéliser, et donc à unifier, un ensemble indéterminé de phénomènes. Si l'on en croit Karl Popper, toute théorie scientifique se reconnaît à sa falsifiabilité, à savoir que d'autres savants pourront tôt ou tard en montrer la fausseté. Il n'y a jamais de théorie physique définitive par ce qu'il n'y a pas de théorie unitaire de l'univers comme on a cru la

décèler successivement dans la physique de Platon et d'Aristote, puis dans la physique de Newton, enfin dans la physique d'Einstein. Ce qui ne peut pas être reconnu comme faux, falsifiable, le marxisme, la psychanalyse ou les contes de fées pour Popper, n'est pas scientifique. Il reste que les tentatives de connaissance scientifique se reconnaissent à travers l'Histoire plus à leur méthode rationnelle, dans le jeu réglé de leurs hypothèses, qu'à leurs résultats qui, au cours des temps, seront contestés, dépassés ou effacés par d'autres théories qui aboutiront à de nouveaux résultats. La science pourra indéfiniment étudier le mouvement de l'univers pour en établir les lois ; elle ne parviendra jamais à épuiser son propre mouvement de recherche qui est le mouvement même de la pensée tendue vers cette connaissance parfaite, et rêvée, à laquelle les hommes n'auront jamais droit.

Des plans inclinés et des pendules qui ont bouleversé notre vision du monde :

La naissance de la Science du Mouvement

Par Pierre Coulet*

La nature, de l'infiniment petit à l'infiniment grand, est le théâtre de perpétuels mouvements. Analyser les mouvements et comprendre leurs causes est un défi que les philosophes ont tenté de relever il y a plusieurs millénaires. Pour Aristote le mouvement n'est qu'une forme particulière de changement. Lorsqu'un objet se déplace, c'est l'un de ses attributs, sa position, qui change. Ce type de mouvement a été qualifié de mouvement local par Aristote. La variation de la couleur des feuilles d'un arbuste par exemple est un changement temporel qui fait intervenir un autre attribut de l'objet : sa couleur. Pour Aristote, il s'agit également d'une forme de mouvement. C'est du mouvement local dont il va être question ici, c'est-à-dire des changements qui affectent la position des corps lorsqu'ils sont sollicités par des actions extérieures.

* Professeur des Universités (physique) – Professeur à l'Institut Universitaires de France – Université de Nice-Sophia Antipolis.

La mécanique débute avec la théorie du mouvement d'Aristote qui, bien qu'erronée, constitue une avancée importante, puisqu'elle donne une description du mouvement qui obéit à des règles précises. La théorie d'Aristote a souvent été qualifiée de presque qualitative de la nature. C'est bien d'une observation de la nature qu'est née la vision du mouvement selon Aristote. Sa méthode s'oppose en ce sens à celle de Platon, dont il a été l'élève, qui préconisait une approche basée exclusivement sur la raison. La critique souvent faite à Aristote pour sa théorie doit plutôt être faite aux philosophes qui, durant plus de deux millénaires, l'ont non seulement acceptée mais surtout enseignée à leurs élèves, alors qu'une expérimentation sommaire aurait suffi à la mettre en défaut !

Aristote distingue les mouvements célestes des mouvements terrestres. Sa théorie est basée sur une idée très simple: tout corps, formé de quatre éléments, la terre, l'eau, l'air et le feu, tend à trouver sa position naturelle de repos. La Terre, l'élément le plus lourd cherche son repos au centre de la planète, le feu plus léger se déplace vers les cieux et trouve son équilibre sur l'orbe de la Lune, sphère qui sépare la Terre des cieux. Aristote considère deux types de mouvements: les mouvements naturels et les mouvements violents ou mouvements « forcés ». C'est de cette expression que vient la notion de force. Un corps déplacé volontairement de son équilibre, y retourne selon un mouvement "naturel". Selon Aristote, la « tendance » au

retour à l'équilibre d'un objet est simplement proportionnelle à son poids et inversement proportionnelle à la densité du milieu dans lequel il se déplace. Cette loi est à l'origine de la fameuse maxime que l'on attribue à Aristote: "La nature a horreur du vide". Dans le vide, la vitesse du mouvement naturel de retour à l'équilibre serait infinie, le changement de position se ferait alors instantanément, ce que contredit évidemment l'observation. Ces règles simples permettent de rendre compte d'un certain nombre d'observations élémentaires. L'air est plus léger que l'eau, sa tendance est naturellement de monter lorsqu'il se trouve accidentellement emprisonné dans des bulles au sein de celle-ci. Un morceau de liège, placé dans de l'eau, plus léger que cette dernière monte naturellement, alors que lâché dans l'air, plus lourd que ce celui-ci, il se déplace vers le bas. C'est à la surface de l'eau que le corps trouvera sa position stable de repos. A l'opposé des mouvements naturels qui ne "coûtent" rien puisqu'ils correspondent à ce désir naturel de retour à l'équilibre, Aristote introduit la notion de mouvement violent, ou mouvement "forcé". Un acte violent peut pousser un corps lourd comme une pierre à se déplacer vers le haut. Ces mouvements "contre-nature" nécessitent une force qui, imprimée initialement par le lancer de la pierre vers le haut, finit par "s'épuiser" lorsque la pierre atteint sa position la plus haute sur sa trajectoire et entame alors son mouvement naturel de descente. Une sphère homogène placée sur un plan horizontal est en équilibre, car son désir de descente est contrarié par l'impossibilité

de pénétrer le matériau. Une force imprimée horizontalement met cet objet en mouvement dans la direction de cette force. Ce mouvement également contre-nature finit aussi par s'épuiser. Le mouvement violent ou forcé ne persiste que grâce au "moteur" que constitue le milieu dans lequel le corps se déplace. Celui-ci conserve en quelque sorte une mémoire de la force imprimée initialement. Cette force cependant s'épuise dans le milieu, perdant ainsi son efficacité à maintenir le corps dans son mouvement contre-nature. Les astres, quant à eux, formés d'un cinquième élément, "l'éther", se déplacent à vitesse constante sur des cercles. Pour Aristote, ce type de mouvement constitue le mouvement idéal par excellence puisqu'il ramène périodiquement chaque corps céleste dans la même position.

La théorie de la chute des « graves » de Galilée marque réellement la naissance de la science du mouvement. C'est de cette rencontre entre un phénomène naturel, son expérimentation et son idéalisation géométrique que sont nés la plupart des concepts qui permettent de décrire le mouvement. Parmi ceux-ci la notion d'inertie est probablement la plus importante. Une roue, lancée initialement dans un mouvement de rotation, ne s'arrête de tourner que parce que la friction s'oppose à ce mouvement. Pour Galilée c'est la gravité qui est responsable de l'accélération des corps massifs vers le centre de la Terre. Un corps lâché d'une certaine altitude est alors naturellement accéléré dans son mouvement

naturel pour rejoindre ce centre. Si d'une certaine manière Aristote et Galilée considèrent tous deux que la chute d'un grave est un mouvement naturel, leur vision du mouvement diffère complètement lorsqu'il s'agit des mouvements dirigés vers le haut. Pour Aristote, le mouvement de chute d'un corps lourd comme une pierre est naturel dans le sens où il décrit la tendance de celui-ci à rejoindre son lieu naturel de repos qui se situe au centre de la terre. Le mouvement vers le haut, est, lui, «forcé» car il se produit dans la direction opposée au mouvement naturel. Ce mouvement «forcé» finit par «s'épuiser». Pour Galilée, dans un monde idéal dans lequel la friction peut être négligée, le mouvement vers le haut est symétrique du mouvement vers le bas. Il s'agit du même mouvement accéléré. Lorsque la pierre est lancée vers le haut l'accélération vers le bas diminue sa vitesse et finit par l'inverser. En fait l'argumentation de Galilée montre clairement qu'il a anticipé le principe de la réversibilité temporelle des lois de la mécanique, en l'absence de friction. Filmons un système mécanique en mouvement. Notons à un instant donné les vitesses de chacun de ses composants. Le mouvement obtenu en inversant ces vitesses à cet instant est identique à celui que l'on observerait en «jouant» le film à l'envers. Un corps lâché d'une certaine hauteur acquiert une vitesse qui augmente proportionnellement au temps. Si l'on note sa vitesse à une altitude donnée et que l'on lance un corps identique de cette altitude avec la vitesse inverse, c'est-à-dire dirigée vers le haut, le mouvement observé est alors identique au sens du temps près à celui de la

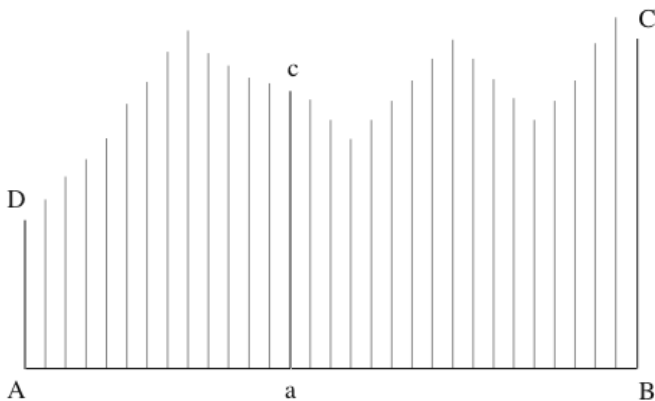
chute. En particulier, il monte jusqu'à la position d'où il avait été lâché. L'effet de la friction, faible dans l'air, en particulier pour un corps très massif, est de briser légèrement cette symétrie. L'expérience par la pensée, que Galilée fait proposer à Sagrédo dans ses «Dialogues», illustre de façon très frappante la différence de son point de vue avec celui d'Aristote. Imaginons que la Terre soit percée de part en part d'une galerie cylindrique dans laquelle on lâche une pierre. Pour Aristote, celle-ci descend et achève sa course au centre de la terre alors que pour Galilée elle atteint une vitesse maximale en son centre et continue, par «inertie», sa course jusqu'à atteindre l'antipode à vitesse nulle où le mouvement s'inverse alors. Le corps ainsi lâché oscille perpétuellement entre les deux antipodes. Sagrédo signale alors l'analogie entre le mouvement de cette pierre et celui d'un pendule : «L'expérience montre qu'il en est ainsi d'un poids attaché à une corde : si on l'écarte de la perpendiculaire qui est son état de repos et si ensuite on l'abandonne à lui-même, il descend vers le point le plus bas et le dépasse d'autant ou d'un peu moins, la différence étant à la mesure des différences opposées par l'air, ou par tout autre accident». Pour Aristote, le vide est un obstacle au mouvement alors que, pour Galilée, le vide est le lieu de perfection du mouvement.

C'est au travers d'expériences de roulement de boules sur des surfaces inclinées et de pendules que la science des mouvements terrestres et célestes a réussi à se

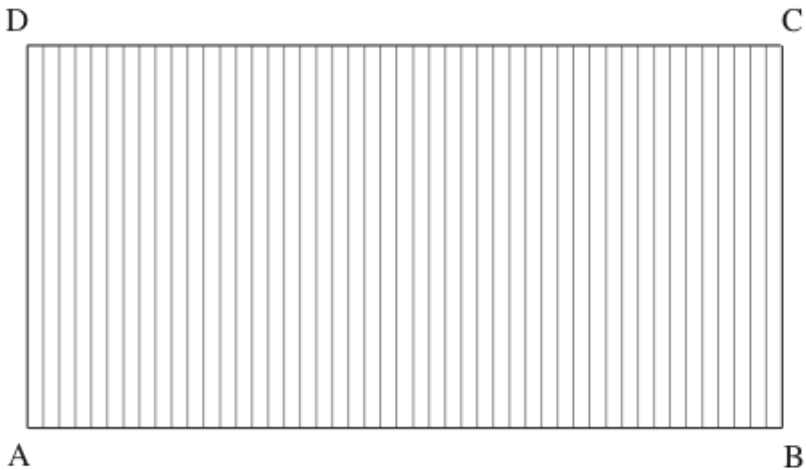
développer. La chute d'une sphère qui roule sans glisser sur un plan incliné obéit aux lois de Galilée du mouvement uniformément accéléré. Ce dispositif permet de ralentir le mouvement tout en lui conservant sa nature. Sur un plan de faible inclinaison, le mouvement est faiblement accéléré. Galilée a utilisé cette propriété dans ses premières études sur la chute des graves. Elles lui permirent certainement d'établir sa fameuse loi. Dans l'introduction de la troisième journée de ses «Discours», il annonce qu'il «apporte sur le sujet le plus ancien une science absolument nouvelle. Il n'est peut-être rien d'antérieur dans la nature au mouvement, et les traités que lui ont consacré les philosophes ne sont petits ni par le nombre ni par le volume ; pourtant, parmi ses propriétés, nombreuses et dignes d'être connues, sont celles qui, à ma connaissance n'ont encore été ni observées ni démontrées. Certaines plus apparentes, ont été remarquées, tel le fait que le mouvement naturel des graves, en chute libre, est continûment accéléré. Selon quelle proportion toutefois, se produit cette accélération, on ne l'a pas établi jusqu'ici: nul en effet, que je sache n'a démontré que les espaces parcourus en des temps égaux par un mobile partant du repos ont entre eux le même rapport que les nombres impairs successifs à partir de l'unité.»

Galilée commence par définir le mouvement rectiligne uniforme comme « celui où les espaces parcourus par un mobile en des temps égaux quelconques, sont égaux entre eux ». Après une longue digression sur ces

mouvements uniformes, il aborde l'étude du mouvement rectiligne uniformément accéléré. Or, contrairement à ce qu'il est écrit dans la plupart des manuels, l'étude géométrique des mouvements accélérés n'est pas due à Galilée mais à Nicole Oresme (1348-1382), l'un des plus grands penseurs du XIV^{ème} siècle. Bien que sa contribution à l'étude du mouvement soit très importante, elle n'est pas reconnue par Galilée ! L'idée de N. Oresme nous est aujourd'hui très familière. Il propose simplement de tracer la vitesse en fonction du temps pour analyser le mouvement ! Sur un axe horizontal on porte le temps. Un intervalle de temps est représenté par un segment AB . Sur l'axe vertical on porte les vitesses. Au temps a défini par le segment Aa , il représente la vitesse par le segment vertical ac .

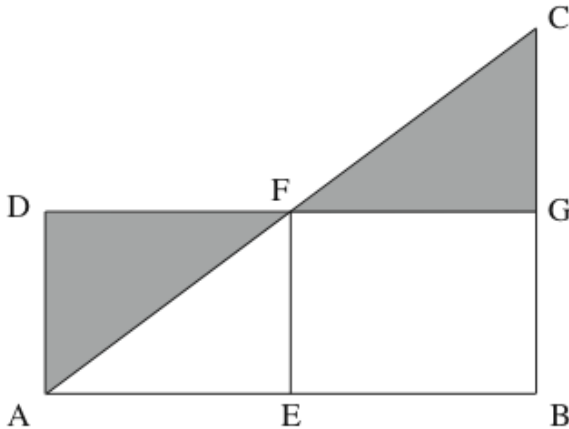


Dans le cas d'un mouvement à vitesse constante, les segments de vitesses sont tous égaux $ac = a'c' = a''c'' = \dots$. La distance parcourue dans ce cas est simplement égale au produit du temps écoulé et de la vitesse, c'est-à-dire à l'aire du rectangle $ABCD$. Nicole Oresme généralise cette idée à un mouvement arbitraire. La distance parcourue entre deux instants A et B est égale à la surface comprise entre la courbe des vitesses DC , l'axe horizontal AB et les deux verticales AD et BC .



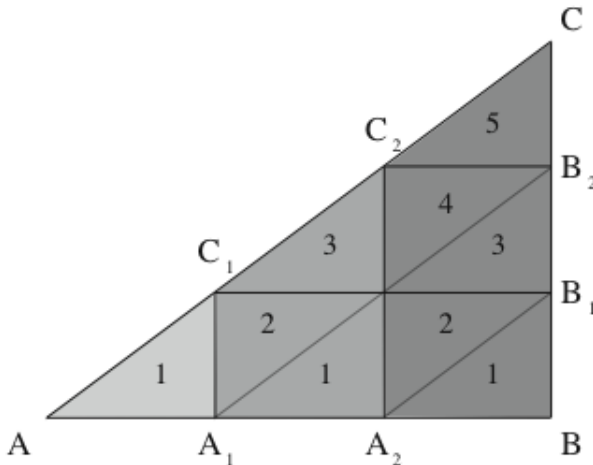
Oresme résout ainsi le problème du mouvement uniformément accéléré 250 ans avant Galilée ! Son raisonnement est repris point par point par Galilée, sans aucune référence au physicien parisien, ami de Charles V.

Dans le cas du mouvement uniformément accéléré, le graphe de la vitesse est une droite de pente positive.



On peut suivre le raisonnement de Galilée : «Représentons par la ligne AB le temps pendant lequel un mobile, partant du repos, franchira d'un mouvement uniformément accéléré» une certaine distance. «On représente la vitesse atteinte à la fin du mouvement par le segment vertical BC ..». La droite AC représente le graphe de la vitesse. Conformément à la définition du

mouvement uniformément accéléré, la vitesse augmente uniformément au cours du temps. Oresme comme Galilée montrent que l'espace parcouru est donné par la surface du triangle ABC . Ils reconnaissent aussi que cette surface est également celle du rectangle formé par le segment AB et la moitié de la vitesse finale $AD=BC/2$. L'espace parcouru est donc proportionnel au carré du temps $d=\frac{1}{2}gAB^2$, ou la pente g de la droite AC représente l'accélération du mouvement. Oresme note que dans un mouvement accéléré, les distances parcourues dans des temps égaux à partir du repos sont entre eux comme les nombres impairs.

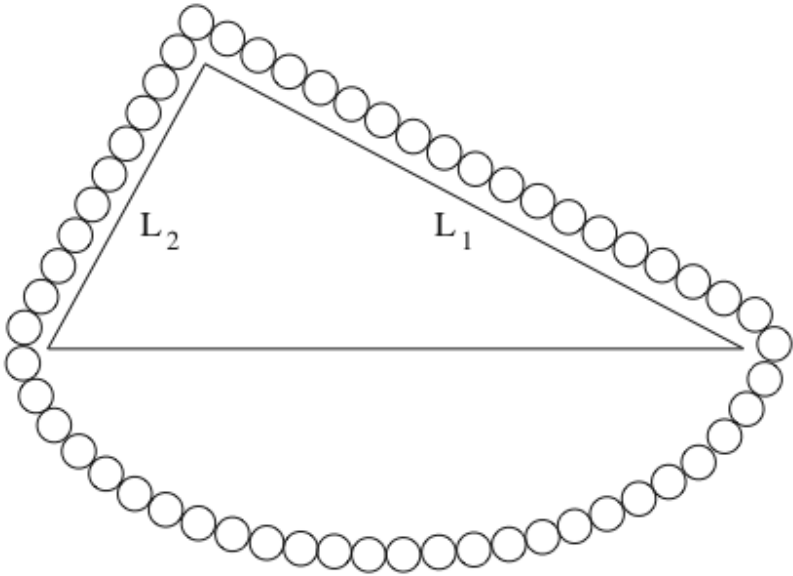


C'est la fameuse loi que Galilée devait vérifier

expérimentalement dans l'étude de la chute sur un plan incliné ! Lors d'un mouvement uniforme, les distances parcourues dans des temps égaux sont elles-mêmes égales alors qu'ils croissent dans le rapport des nombres impairs dans le cas d'un mouvement uniformément accéléré. La construction d'Oresme est remarquable et concerne en fait toute «qualité» qui varie en fonction d'une variable (représentant l'espace ou le temps) qu'il nomme longitude. Par exemple, pour étudier la répartition de température dans un corps, Oresme imagine une droite qui le traverse. Il porte alors en tout point de cette droite perpendiculairement la valeur de la température qu'il nomme la latitude. «Les propriétés de cette qualité, écrit-il, en seront examinées plus clairement et plus facilement dès lors que quelque chose qui lui est semblable est dessiné en une figure plane, et que cette chose, rendue claire par exemple visible, est saisie rapidement et parfaitement par imagination ... car l'imagination des figures aide grandement à la connaissance des choses même». Nicole Oresme est considéré à juste titre comme le précurseur de Descartes dans ses études des figures planes qui résultent de ses représentations graphiques, anticipant ainsi la géométrie analytique. L'histoire des sciences est ainsi peuplée de personnages merveilleux qui ont disparu injustement. L'Histoire est écrite par les vainqueurs !

L'observation du mouvement d'une boule qui roule sur un plan incliné permit non seulement à Galilée d'analyser le mouvement d'un grave sous l'effet d'une

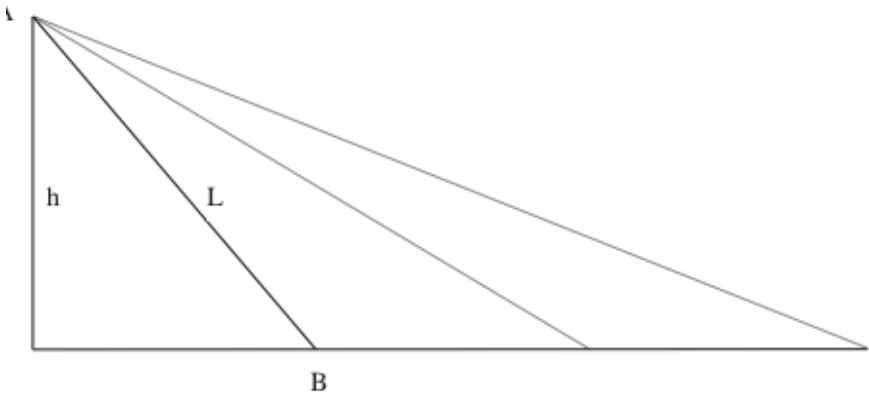
gravité réduite et d'en déduire sa fameuse loi : les distances parcourues dans la chute croissent comme le carré du temps, mais surtout d'aboutir au concept très important de mouvement inertiel. Il commença par établir que l'accélération d'un grave sur un plan incliné était simplement proportionnelle à l'inclinaison h/L de celui-ci, où h est la hauteur du plan incliné et L sa longueur. Le moteur de la chute étant le poids du grave, il postula que le rapport des accélérations sur deux plans inclinés était égal à celui des poids effectifs, réduit par l'inclinaison. Le poids effectif d'un grave sur un plan incliné est défini comme celui qui permet d'équilibrer ce grave par un poids plus petit au moyen d'un dispositif de poulie.



C'est à Simon Stevin (1548-1620) que l'on doit une argumentation très élégante. Partant du postulat de l'impossibilité du mouvement perpétuel, il en déduit l'équilibre d'une «chaîne» de balles pouvant rouler librement, déposée sur un prisme formé de deux plans de longueurs L_1 et L_2 , montrant ainsi que les poids effectifs P_1 et P_2 sont dans le rapport inverse des longueurs des plans inclinés. Dans le cas particulier où l'une des faces est verticale ($L_1=h$, $l_2=L$), le poids effectif est simplement proportionnel au poids réel et à l'inclinaison h/L .

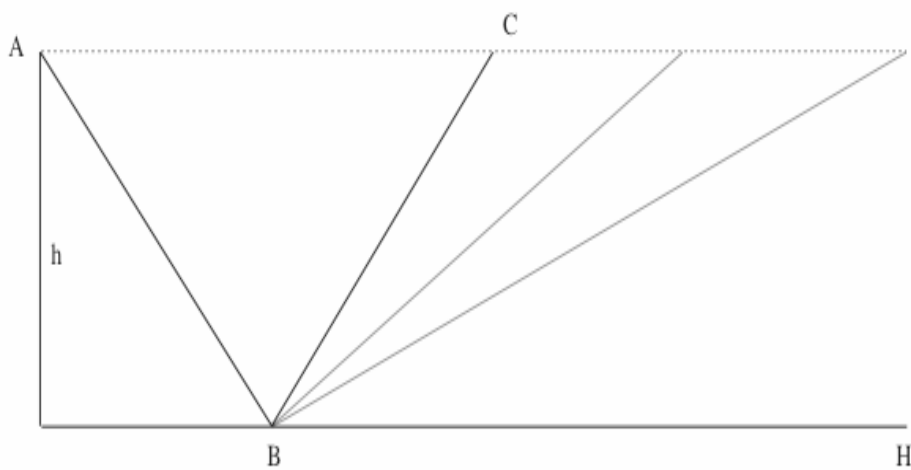
Utilisant la loi de Galilée-Oresme du mouvement

accélééré et muni de la loi qui donne l'accélération en fonction de l'inclinaison, Galilée en déduisit une propriété très importante. La vitesse atteinte à la fin de la chute est proportionnelle à l'accélération et au temps de chute. Le temps de chute, lui, est simplement proportionnel à la longueur du plan incliné, puisque son carré est proportionnel au carré de la longueur du plan. Comme l'accélération est inversement proportionnelle à cette longueur, Galilée en déduit que la vitesse atteinte à la fin de la chute ne dépend pas de la longueur du plan, pour une hauteur donnée.



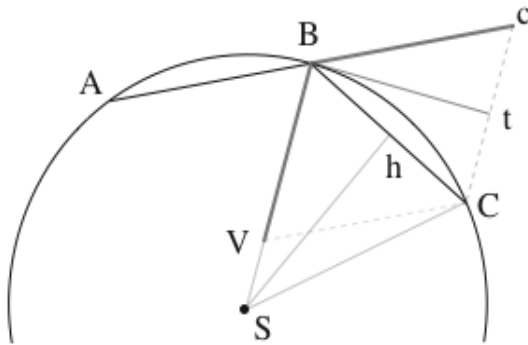
Cette propriété est certainement l'une des premières manifestations du concept de la conservation de l'énergie. La vitesse acquise à la fin de sa chute n'est

fonction que de la hauteur du plan incliné. Plus précisément, de la loi d'accélération on déduit, directement, que le carré de la vitesse est simplement proportionnel à la hauteur initiale. On dirait aujourd'hui que la potentialité de mouvement, ici proportionnelle à la hauteur du plan incliné, s'est transformée à la fin de la chute en un mouvement réel dont le carré de la vitesse est proportionnel à la hauteur initiale : l'énergie potentielle, proportionnelle à la hauteur initiale se transforme en énergie cinétique proportionnelle au carré de la vitesse. C'est aussi de ces considérations, qui apparaissent aujourd'hui comme élémentaires, que le concept de mouvement inertiel va naître. Imaginons avec Galilée que lorsque le grave atteint la position la plus basse du plan incliné, il soit alors «réfléchi» sur un plan incliné ascendant. Lors de sa montée, il va perdre continuellement sa vitesse, pour finalement atteindre à vitesse nulle une hauteur égale à la hauteur initiale. Cette propriété est vraie quelle que soit l'inclinaison du plan ascendant. Pour des plans inclinés d'inclinaisons de plus en plus faibles, c'est-à-dire de longueur de plus en plus grande, le temps de remontée deviendra de plus en plus grand, puisque l'accélération sera alors de plus en plus petite. A la limite où l'on considère un plan incliné «ascendant horizontal», le mouvement acquis se conservera puisque l'accélération est nulle dans ce cas.



Pour Galilée, ce plan incliné «horizontal» sur lequel le mouvement se perpétue, est en réalité une surface sphérique de très grand rayon puisque ce mouvement sans accélération ne peut naturellement ni se rapprocher ni s'éloigner du centre commun des graves. Ce mouvement perpétuel, idéalisé, est un mouvement naturel. C'est le véritable précurseur du mouvement inertiel ou mouvement direct que Descartes, Huygens et Newton populariseront. C'est à Descartes que revient le mérite d'avoir imaginé un monde sans gravité. Progressivement l'idée que le mouvement naturel est en fait ce mouvement rectiligne uniforme s'est finalement imposée. Un mouvement accéléré comme la chute d'une boule sur un plan incliné apparaît ainsi comme un mouvement forcé. L'écart au mouvement direct est simplement mesuré par son accélération. La relation de proportionnalité entre l'accélération et la force, véritable définition de la force, a été très clairement exprimée par Newton au travers de sa «seconde loi». La chute des graves est donc un mouvement forcé, «caractérisé par une force constante». Le mouvement circulaire uniforme, ancêtre du mouvement direct est donc lui aussi forcé. La nature de la force qui contraint un mobile à se déplacer sur un cercle à vitesse constante a été comprise qualitativement par Descartes, mais c'est à Newton et à Huygens que revient le mérite d'en établir la loi. Les arguments de Newton tels que l'on peut les lire dans ses cahiers d'étudiants sont particulièrement intéressants par leur simplicité : ils illustrent parfaitement la géométrisation du mouvement. On en

propose ici une version adaptée. On sait, au moins depuis Archimède, que l'on peut approcher un cercle par une succession de polygones inscrits. Le mouvement d'un mobile qui se déplace sur un polygone à vitesse constante est également un mouvement forcé. Dans le cas d'un hexagone, par exemple, le mouvement change à chaque sommet, c'est-à-dire six fois par période de rotation. L'étude d'un changement de mouvement est suffisante pour établir la loi générale du changement du mouvement.



Un mobile se déplace à vitesse constante de A vers B dans un intervalle de temps donné. En l'absence de

changement de mouvement, celui-ci continuerait vers c qu'il atteindrait au bout du même intervalle. Cependant le véritable mouvement l'amènera en C . La différence entre ces deux mouvements est une mesure très directe du changement de mouvement que l'on observe en B . On évalue ce changement en remarquant que le mouvement de B vers C peut être considéré comme la composition de deux mouvements rectilignes uniformes, l'un de B vers c et l'autre de B vers V . Le segment BV est parallèle et égal au segment cC , conséquence immédiate de la «règle du parallélogramme» des mouvements composés. Une propriété élémentaire du cercle permet de montrer que BV est dans la direction du centre du cercle. Le changement de mouvement est donc «centripète» ! On calcule alors la vitesse du mouvement sur le segment BV : $v' = v BV/BC$. Lorsque le nombre de côté du polygone tend vers l'infini, la longueur du segment BC tend vers 0. Le changement de vitesse centripète devient infiniment petit dans cette limite. Cependant ces changements deviennent infiniment fréquents. On calcule alors l'accélération comme le rapport entre le changement de vitesse à l'intervalle de temps BC/v entre deux changements. L'accélération est alors donnée par $g = v^2 BV/BC^2$. Une propriété élémentaire géométrique permet de montrer que $BV/BC^2 = 1/R$, où R est le rayon du cercle. On vient ainsi de montrer avec Newton qu'un mouvement contraint sur un cercle est un mouvement forcé, caractérisé par une accélération centripète $g = v^2/R$.

Robert Hooke (1635-1703) est un autre de ces personnages oubliés. Malgré sa contribution essentielle au développement initial de la science du mouvement, il n'est plus connu aujourd'hui des physiciens que comme l'inventeur de la loi de Hooke qui donne la force de rappel d'un ressort en fonction de sa dilatation ou de sa contraction. Les centaines d'expériences qu'il a faites devant les membres de l'Académie Royale Anglaise à Londres, l'invention de nombreux appareils de physique, son intuition extraordinaire et son travail d'architecte dans la reconstruction de Londres après le grand incendie de 1666, aux côtés de son ami Christopher Wren, lui donnent une stature comparable à celle de Léonard de Vinci. C'est le 23 mai 1666, à l'occasion de l'une des nombreuses démonstrations expérimentales qu'il faisait à la «Royal Society» que R. Hooke propose sa théorie des mouvements planétaires : "Sur l'inflexion d'un mouvement direct en une courbe due à l'intervention d'un principe d'attraction". Son expérience utilise un pendule constitué par un poids fixé à l'extrémité d'une corde. En donnant à la masse une vitesse initiale en dehors du plan vertical formé par la corde et la verticale, on observe un mouvement pendulaire non-planaire dont la projection sur le plan horizontal décrit des mouvements orbitaux qui ne passent jamais par le centre. Selon la vitesse initiale que l'on donne à la masse, on observe des mouvements circulaires, des mouvements elliptiques et même des mouvements sur des ellipses dont le grand axe tourne lentement. Comme Galilée, il diminue l'effet de la

friction en utilisant une masse importante. Il remarque que l'accélération du mobile constituée par la projection de la masse sur le plan horizontal est toujours dirigée vers le point à la verticale du point d'attache de la corde. Il s'agit donc d'une accélération centrale. On a ici un mobile, la projection de la masse sur le plan horizontal, soumis à une accélération dirigée vers un centre fixe et dont le mouvement est analogue à celui d'une planète orbitant autour du Soleil. Cette expérience marque la naissance de «la mécanique céleste.

«... L'infléchissement d'un mouvement direct en une courbe peut résulter de la présence d'un corps placé au centre qui tend à l'attirer ou le tirer vers lui continuellement. Si l'on suppose l'existence d'un tel principe, il semble que l'on puisse alors expliquer tous les phénomènes planétaires par le principe commun de la mécanique des mouvements ... Je m'efforcerai d'expliquer cette inflexion du mouvement direct en une courbe due à l'intervention d'un principe d'attraction par le mouvement pendulaire de certains corps, bien que je ne suppose pas que l'attraction du Soleil se fasse exactement de la même manière que pour les pendules.». Autrement dit R. Hooke propose de composer un mouvement rectiligne uniforme qu'il appelle «mouvement direct» avec un mouvement accéléré vers un centre afin d'expliquer les mouvements orbitaux des planètes autour du Soleil.

Londres, 1670 : à l'occasion d'un séminaire à la «Royal

Society», R. Hooke expose à nouveau sa théorie du mouvement orbital et énonce le principe d'attraction universelle ! «D'abord tous les corps quels qu'ils soient ont une attraction ou une puissance gravitationnelle centrale, grâce à laquelle, ils attirent leurs éléments en les empêchant de s'échapper, ... mais aussi ils attirent tous les autres corps célestes ... et par conséquent le Soleil et la Lune ont une influence sur la Terre et son mouvement, et la Terre sur eux, ... »

Il est remarquable de noter que l'on retrouve dans ces textes deux idées importantes que l'on attribue en général à Isaac Newton : la Lune qui «tombe» en permanence sur la Terre en composant son mouvement inertiel rectiligne uniforme et son mouvement accéléré vers le centre de la Terre et la gravitation universelle qui identifie la cause des mouvements des graves et celui des corps céleste dans tout l'Univers.

Dans l'hiver 1679, Hooke devenu alors secrétaire de l'Académie Royale Anglaise commence une correspondance avec Isaac Newton. Son intention est sincèrement d'intéresser Newton aux travaux de l'Académie. Il termine cependant sa première lettre en demandant à Newton son avis sur ses travaux passés de mécanique céleste.

R. Hooke à I. Newton : Lettre du 24 novembre 1679 :

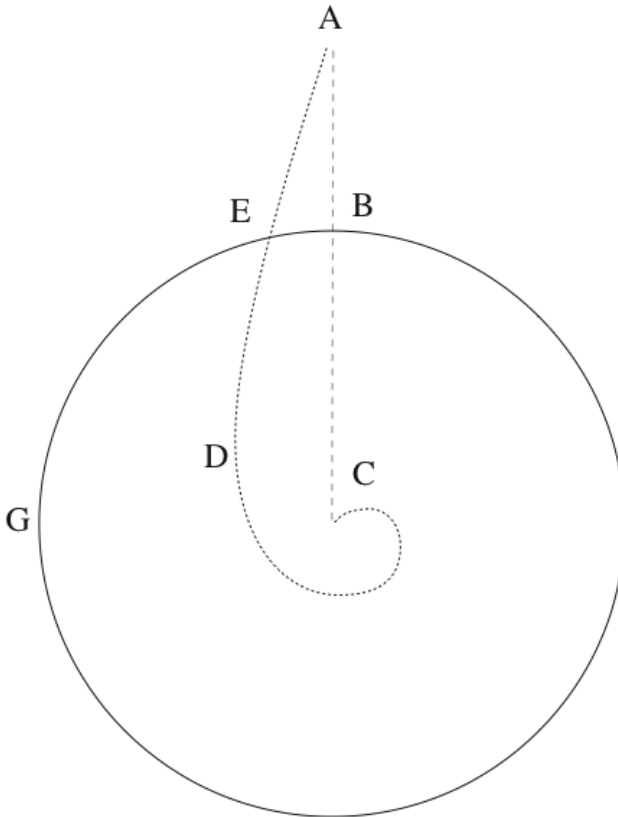
«... Je serais très honoré si vous pouviez communiquer par lettre vos objections à l'égard de l'une quelconque de

mes hypothèses, et tout particulièrement si vous me faisiez connaître vos pensées concernant la composition des mouvements des planètes d'un mouvement direct selon la tangente et un mouvement attractif vers un corps central ...»

Dans sa réponse, Newton décline l'offre de Hooke, prétextant qu'il a perdu tout intérêt pour les questions de philosophie naturelle. On doit se souvenir qu'à cette époque il est très occupé par ses activités alchimiques. Il reconnaît toutefois ne pas avoir entendu parler de la théorie de Hooke concernant les mouvements planétaires.

I. Newton à R. Hooke : Lettre du 28 novembre 1679 :

«... Je n'ai pas, avant d'avoir reçu votre dernière lettre, entendu (autant que je m'en souviens) parler de votre hypothèse concernant la composition du mouvement des planètes d'un mouvement direct selon la tangente vers une courbe ...»

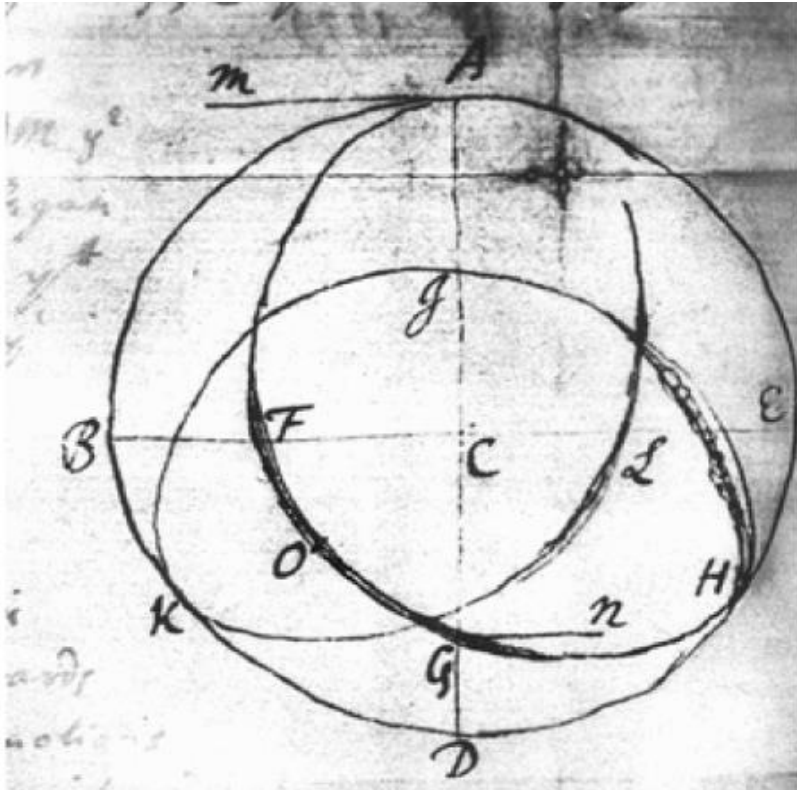


Un dialogue s'instaure entre les deux savants. Dans sa réponse, Newton, propose une expérience visant à démontrer la rotation de la Terre et à cette occasion, il revient sur le problème de Galilée du mouvement d'un corps qui pourrait traverser la terre sans rencontrer d'obstacles.

Comme il a déjà été mentionné, pour Galilée le corps

lâché à partir du repos effectue des mouvements périodiques d'aller et de retour entre les antipodes. Newton corrige alors la proposition de Galilée en incorporant l'effet de rotation de la Terre. Les défenseurs d'une Terre immobile argumentaient que si la Terre tournait d'ouest en est, un corps lancé vers le haut tomberait à l'ouest de sa position initiale, là précisément où la Terre se trouvait lorsque le corps a été lancé. Newton affirme au contraire que si l'on lâche un corps du sommet d'une tour, à cause de la rotation de la Terre, il sera en fait dévié vers l'est. Bien que la description du mouvement qui suit soit purement académique, puisqu'il correspond au mouvement du corps à l'intérieur de la Terre, elle est particulièrement intéressante puisqu'elle nous renseigne précisément sur la compréhension que Newton a en 1679 des mouvements orbitaux. On se souvient que Newton jeune, à l'âge de 23 ans, réfugié dans son manoir familial à Woolsthorpe, pour fuir la peste qui sévissait dans les villes anglaises, avait développé son calcul différentiel et intégral sous une forme très intuitive en relation directe avec l'analyse du mouvement ; le fameux calcul des «fluxions». Il était devenu en quelques années l'un des meilleurs mathématiciens en Europe ! Il avait aussi commencé une réflexion sur les mouvements orbitaux, mais qui était restée sans suite. C'est cette correspondance de l'hiver 79-80 avec Hooke qui va renouveler l'intérêt de Newton pour ces questions. La trajectoire spirale qu'il propose dans sa lettre n'est pas correcte. Le mouvement du corps qui la suit s'achève en un temps fini au centre de la

Terre. R. Hooke, en qualité de secrétaire de la Royal Society, consacra une séance à l'analyse critique de la proposition de Newton. Il reconnaît la déviation vers l'est des trajectoires, mais propose pour le mouvement des « sortes d'ellipses » à la place des spirales.



R. Hooke à I. Newton: Lettre du 9 décembre 1679 :
 "... vous semblez supposer qu'il descend selon ... une sorte de spirale, qui après quelques révolutions se retrouve au centre de la terre ... Ma théorie des mouvements circulaires me laisse penser qu'il ne s'agirait

pas d'une spirale mais plutôt d'une sorte d'ellipse". Newton n'apprécie guère que l'on corrige ses erreurs. Dans sa réponse à Hooke, plus sèche, il fait une démonstration éclatante de sa supériorité de mathématicien. Il sait calculer les trajectoires de mobiles soumis à une accélération centrale. Il y traite en particulier d'une accélération centrale constante.

Newton à R. Hooke: Lettre du 13 décembre 1679 : Toujours à propos de la trajectoire à l'intérieur de la Terre. "... Et aussi si sa gravité peut être supposée uniforme, il ne descendra pas en spirale vers le centre mais circulera en alternant ses descentes et ses montées à cause alternativement de la force centrifuge et de la gravité. En fait j'imagine que le corps ne décrira pas un ellipsoïde, mais plutôt suivra une figure, comme celle représentée ..." Comme en 1665, Newton interprète de façon erronée le mouvement orbital comme un équilibre entre gravité et force centrifuge, mais il sait calculer par une méthode approximative la trajectoire correcte ! Hooke y reconnaît le mouvement d'une boule sur une surface conique concave. Une fois de plus cet échange est très instructif en ce qui concerne l'état d'esprit de Newton. Il est manifestement capable de calculer correctement la trajectoire, mais n'adhère toujours pas à la théorie de Hooke de la composition du mouvement inertiel et du mouvement central.

R. Hooke à I. Newton: Lettre du 6 janvier 1680 : « Monsieur, Votre calcul de la courbe décrite par un

corps attiré par des puissances identiques, quelle que soit sa distance au centre, comme celle d'une balle roulant sur une surface conique concave renversée, est correct.».

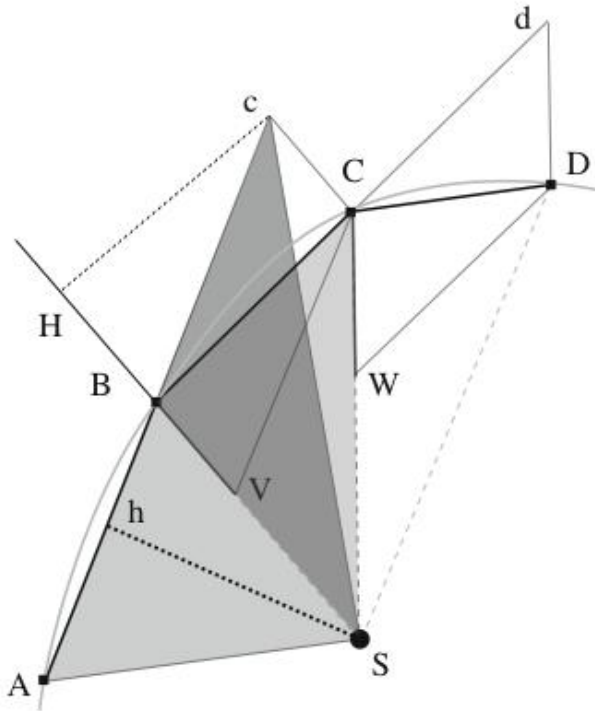
Newton ne répondra plus aux lettres de Hooke. Ce dernier, convaincu que Newton possède « une méthode excellente » pour calculer les trajectoires des corps sous l'effet d'une accélération centrale, lui suggère de l'utiliser pour découvrir la propriété de la courbe produite par une accélération centrale qui décroît comme le carré de la distance au centre !

R. Hooke à I. Newton: Lettre du 17 janvier 1680 : "Il reste à présent à connaître les propriétés de la courbe ... produite par une puissance centrale déviant la vitesse de la ligne tangente ... à toute distance égale à la proportion double de l'inverse de celle-ci. Je ne doute pas que par votre méthode excellente, vous parviendrez aisément à trouver cette courbe et ses propriétés... S'il vous arrivait à consacrer quelques instants à cette question, un mot ou deux de vos pensées serait très utile à la Société (où elle est débattue)."

La correspondance entre Hooke et Newton de l'hiver 79-80 a joué un rôle considérable dans le développement de la mécanique. Elle démontre avec force la puissance du calcul différentiel que Newton inventa jeune étudiant à Cambridge. En effet Newton sait résoudre les équations différentielles du mouvement par une méthode

approchée, ce que l'on nomme aujourd'hui algorithme numérique, sans posséder l'interprétation correcte de ces solutions.

Cette «collaboration» avec R. Hooke conduisit Newton 4 ans plus tard, en 1684, à soumettre à la «Royal Society» un manuscrit nommé «de Motu», véritable ancêtre des «Principia», publiés en 1687. C'est l'ouvrage certainement le plus cité et pourtant certainement l'un des moins lu, tant sa lecture est ardue. Les «Principia» présentent une vision révolutionnaire du mouvement et unifient mouvements terrestres et mouvements célestes. L'influence de Hooke, que Newton ne reconnaît pas, est incontestable. Son idée de dynamique orbitale, qui compose « mouvement direct et attraction centrale » apparaît dans la proposition I du livre I des «Principia», véritable pierre angulaire de l'ouvrage. Dans cette proposition Newton, démontre que la composition d'un mouvement rectiligne uniforme et d'une accélération centrale arbitraire conduit à un mouvement orbital qui obéit à la seconde loi de Kepler.



Imaginons une planète P qui se déplace de A à B dans un intervalle de temps donné, d'un mouvement naturel rectiligne uniforme. Si le Soleil S n'intervenait pas lors de ce déplacement, dans le même intervalle de temps, la planète franchirait alors le segment Bc , tel que $Bc=AB$. On note que les triangles formés par le Soleil et les positions successives de la planète, SAB et SBc sont égaux. Ils ont en effet une hauteur commune Sh et les deux bases correspondantes égales $Bc=AB$. Supposons à

présent que lorsque la planète parvient en B, soudainement le Soleil s'en aperçoit et qu'il lui communique alors une impulsion pour l'attirer vers lui. Supposons qu'en l'absence de mouvement direct, celui qui tend à amener la planète vers c, cette impulsion l'amènerait en V dans le même intervalle de temps que précédemment. Le mouvement réel de la planète composera alors son mouvement direct Bc et son mouvement d'inflexion, l'emmenant dans le même intervalle de temps en C. On note l'égalité de la surface des triangles SBc et SBC , car ils possèdent une base et une hauteur en commun. Cette construction met en oeuvre géométriquement la théorie orbitale de R. Hooke. Ainsi une loi de force centrale arbitraire conduit à un mouvement qui suit la seconde loi de Kepler : Les aires balayées par le rayon qui joint le centre de force à la position du mobile croissent proportionnellement au temps. Ce résultat est souvent vu comme la pierre angulaire des «Principia» puisqu'il permit à Newton de réduire la question du mouvement sous l'effet d'accélération centrale à une question de pure géométrie.

Bibliographie

Aristotle's Physics, A guided Study, Joe Sach, Rutgers University Press, New Brunswick and London (2001)

Discours concernant deux sciences nouvelles, Galilée, Presses Universitaires de France, collection « Epiméthée » (1995)

Le système du monde (vol. 7 et 8: La physique parisienne au 14e siècle), Pierre Duhem, Hermann, Paris (1958).

La mécanique: Exposé historique et critique de son développement, Ernst Mach, Editions Jacques Gabay (1995)

The Principia: Mathematical principles of natural philosophy" I. Newton, I.B. Cohen and A.M. Whitman, University of California Press (1999)

An essay on Newton's Principia, W.W. Rouse Ball, MacMillan, New-York (1893)

Une lettre inédite de Newton, J. Pelsencer, Isis 12, 237-254 (1929)

An inpublished letter of Robert Hooke to Isaac Newton, A. Koyré, Isis 43, 312-337 (1952)

The prehistory of the Principia from 1664 to 1686, D.T. Whiteside, Notes and Records of the Royal Society of London, 45, 11-61 (1991)

Pendulums of Wren and Hooke, L.D. Patterson, Osiris 10, 277-321 (1952)

Wilkins Lecture, Robert Hooke, E.D. da C. Andrade, Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences, 201, 439-473 (1950)

*LA SCIENCE MEDICALE REMISE EN MOUVEMENT AU XIX^{EME} siecle**JEAN-PIERRE DELMONT**

Certes, la Médecine n'est pas seulement une science ; elle est aussi un Art, dans le sens d'une pratique fondée sur l'intuition et l'expérience (école des Arts et Métiers, mot anglais « craft ») et même un humanisme (cf notre chapitre dans le livre « Actualité de l'humanisme » PUF 2003). Mais elle se doit d'être d'abord une science et c'est pour cela qu'elle n'est pas enseignée dans une école professionnelle mais dans les universités.

Son histoire se déroule en trois périodes très tranchées :

- sa naissance en Grèce au V^{ème} siècle avec Hippocrate et ses premiers développements, à Alexandrie, avec Hérophile et Erasistrate puis à Rome avec Rufus, Arétée de Capadoce, Celse ...
- la longue période de stagnation et d'obscurantisme débutant à la mort de Galien (200 av. J.C.), la figeant dans un corpus aristotélicien pour dix-sept siècles,
- le réveil du XIX^{ème} siècle grâce à la naissance de la médecine clinique que Michel Foucault situe à 1800

* Médecin gastro-entérologue – Professeur émérite à l'Université de Nice-Sophia Antipolis

(« Naissance de la clinique » PUF 1963) et à l'apport de la médecine expérimentale par Claude Bernard.

Nous allons analyser ces trois périodes, en insistant sur la remise en mouvement au début du XIX^{ème} siècle pour nous situer dans la perspective générale de ce livre :

I. La science médicale d'Hippocrate à Galien

La Médecine naît, comme la philosophie (Socrate, Platon...) les mathématiques (Pithagore, Euclide...) ou la démocratie (Pericles, Démosthène...) dans le grand V^{ème} siècle grec avec Hippocrate. Même si, comme Homère, il s'agit peut-être de plusieurs médecins, au moins d'une famille de l'île de Cos ou d'une école, il reste le symbole du praticien qui a arraché la médecine aux prêtres de Delphes et aux sorciers pour la soumettre au joug de la raison. Certes, cette conquête reste bien fragile lorsqu'on pense au succès encore actuels, des médecines dites alternatives (astrologues, acupuncteurs, irridothérapeutes, homéopathes, chiropracteurs, et j'en passe). Mais le mouvement est lancé : l'épilepsie n'est plus un « mal sacré » (punition des dieux), elle est rattachée à une anomalie du cerveau.

Hippocrate décrit les signes du tétanos, des oreillons, qui permettent d'en faire le diagnostic. Certes la médecine va rester empirique (usage non contrôlé des plantes) ou absurde (drainage hors du corps des « humeurs pécantes » par la saignée, les vomitifs, les laxatifs, qui fleuriront dans la pharmacopée du « grand » Sydenham

au XVII^{ème} siècle. (N'ai-je pas vu, au début de mes études médicales, pratiquer les ventouses scarifiées dans la pneumonie ?) La décadence post-hippocratique est rapide (la médecine, comme toute science, a ses hauts et ses bas) mais le flambeau est relevé à Alexandrie et l'œuvre d'Hérophile, surtout en anatomie, est splendide, de même que celle d'Erasistrate en physiologie qui s'oppose à Aristote en séparant le sang veineux du sang aéré, situé dans les artères (cf tableau I). Il décrit avant Harvey le chemin du sang du foie au cœur par la veine cave inférieure et son passage aux poumons par le cœur droit, en montrant le mécanisme des valves tricuspides et pulmonaires. En thérapeutique, il déconseille la saignée que Galien remettra en honneur.

II. La médecine scholastique de Galien à la Révolution française.

Lorsque survient la Révolution française de 1789, la « science » médicale n'a pas encore fait sa révolution copernicienne. Elle est restée figée au stade ptoléméen de Galien (mort en l'an 200 av. J. C.)

Rien ne permet mieux d'en prendre pleine conscience que de lire le récit de la mort de Louis XV en 1774 tel par exemple que nous le propose Claude Manceron dans « Les hommes de la liberté » (Robert Laffont 1972) : les discussions des huit diaphoirus de Cour semblent puisées dans « Le Malade imaginaire ». Quant au traitement il fait frémir. Trois saignées de 400 ml sont prescrites avant l'apparition de l'éruption et lorsque

celle-ci permet d'affirmer une variole confluante, il faut recourir aux tisanes de lentilles ou à la corne de cerf bouillie. Molière n'aurait pas eu à modifier son célèbre dialogue des frères Argan et Béralde dans la scène 3 de l'acte III. Jusqu'alors, il s'était souvent moqué des travers des médecins dans ses farces (*Le médecin malgré lui*, *L'amour médecin*) mais, dans « *Le malade imaginaire* », c'est à la Médecine qu'il s'est attaqué avec une clairvoyance impitoyable : elle ne sait rien « des ressorts de notre machine » ... et elle prétend en guérir les dérèglements ! Il mourra à la fin de la quatrième représentation, en refusant de faire appel à elle : ni Louis XV, ni Voltaire en 1778 n'auront la sagesse et la force de caractère de la refuser.

Quelques années plus tard, l'Assemblée constituante ferme les universités, peuplées de bavards en mauvais latin et s'apprête à fermer les hôpitaux. Cette dernière mesure égalitaire (les riches sont soignés à domicile !) ne sera pas appliquée en raison des guerres contre-révolutionnaires. Il faut bien mettre quelque part les blessés qui affluent. Nous verrons combien ce contretemps a été heureux pour la Médecine ...

Pourquoi les mathématiques (Pythagore, Euclide, Pascal, Leibniz ...), la physique et particulièrement l'astrophysique (Ptolémée, Copernic, Kepler, Galilée, Newton ...) ont-elles été des sciences progressant régulièrement et pas la médecine ? On a voulu y voir le rôle de l'obscurantisme religieux et notamment l'interdiction de

l'autopsie par le dogme de la résurrection des corps que la religion juive a transmis à ses deux filles, les religions chrétienne et musulmane après l'avoir emprunté aux Egyptiens. Mais Galien n'était ni juif ni chrétien ... Sans doute la responsabilité du dogmatisme scholastique figeant le corpus scientifique d'Aristote à Galien est-elle plus grande encore (Tableau I).

TABLEAU I

Corpus « scientifique » d'Aristote

4 éléments : eau, air, terre et feu

4 qualités : le sec et l'humide, le chaud et le froid.

4 humeurs : - le sang veineux (les artères contiennent de l'air) ne circule pas,

- la bile,

- l'atrabile sécrétée par la rate dans l'estomac,

- la pituite, sécrétée par le cerveau dans le nez

3 esprits : - naturels (ou pneuma physiques) nés dans le foie,

- vitaux (ou pneuma zootiques) nés dans le coeur

le - animaux (ou pneuma psychiques) nés dans
cerveau.

Un troisième facteur a joué, ensuite : l'élaboration de systèmes globalisants, plus philosophiques que scientifiques (médecine iatromécaniste de Boerhaave, etc.)

Après les tentatives du juif Maïmonide et du musulman Ibn Ruschd (Averroès), Albert le Grand puis Thomas d'Aquin essaieront de faire une synthèse entre l'aristotélisme (*i. e.* la Science) et leur religion révélée comme dans les temps modernes. Le jésuite paléanthropologue Theillard de Chardin le tentera.

Philippe Pinel a intitulé son traité de médecine de 1798 « Nosographie philosophique » et il en publiera encore une sixième édition en 1818.

Prenons l'exemple de la saignée :

C'est un fait d'observation scientifique qu'une saignée abondante et rapide a sauvé bien des malades d'une mort certaine, mais il s'agit de malades bien particuliers : ceux dont le cœur gauche épuisé ne peut plus assurer la circulation, entraînant un « œdème aigu du poumon ». En « déchargeant la charrette ... avant de fouetter les chevaux » (par les tonicardiaques, car la digitaline a été un des cinq premiers médicaments sérieux découverts

par les médecins) le malade peut être sauvé. Mais appliquer la saignée à tous les malades (voir plus haut la mort de Louis XV) et surtout expliquer son action par un drainage hors du corps des « humeurs pécantes » est une généralisation abusive, l'établissement d'un « système philosophique ».

En réalité le plus grand obstacle au développement de la science médicale a été le retard des sciences fondamentales, de base, constituant un prérequis incontournable : l'anatomie ne prend son véritable départ qu'avec la Renaissance italienne et Vesale au XVI^{ème} siècle. La physiologie avec « Le livre » de Harvey (« De motu cordis ») sur la circulation du sang au XVII^{ème} siècle, la chimie avec Cavendish et Lavoisier qui cassent deux des éléments d'Aristote en décrivant la composition de l'eau et de l'air.

Attardons-nous un instant sur cette naissance de la chimie car elle est exemplaire à bien des égards. La technologie est certes fille de la science mais la science fait souvent de grands bonds en avant grâce aux progrès de la technologie. Black, en 1754, utilise la « cuve à eau » mise au point par Hales grâce aux progrès de la fabrication du verre ... et découvre le CO² à partir des carbonates (« Alcalis effervescents »). Il appelle ce gaz « Air fixe ». Le mot et surtout l'entité « gaz » n'existe pas encore et il ne peut s'agir que de l'un des quatre éléments d'Aristote modifié ... comme l'indique le dictionnaire de chimie de 1766. Black montre que cet air

fixe a un poids et que la masse du système étudié ne varie pas. Cette même année 1766, Cavendish (qui donnera une mesure précise du diamètre de la sphère terrestre) fait une découverte qui casse le corpus scientifique d'Aristote : l'eau n'est pas un élément différent de l'air car il découvre l'hydrogène qu'il appelle « Air inflammable » (encore une « variété » d'air) et montre que l'eau est le résultat de son association avec l'oxygène (« Air déphlogistiqué ») dans une proportion de deux pour un ! Priestley (décidément, les débuts de la chimie sont anglais !) en 1774 isole bien l'oxygène à partir de l'oxydation du mercure, mais c'est Lavoisier qui lui donnera son nom et montrera que l'air est constitué de deux éléments qu'il appelle encore « parties de l'air », l'O² qui permet la vie (expérience du moineau dans une cloche en verre) et la partie non respirable qu'il appelle azote (« sans vie »). La physiologie fait alors un magnifique bon en avant, aussi important qu'avec « de motu cordis ». Son mémoire de 1785 paru dans les Annales de la Société de Médecine décrit parfaitement la captation de l'O² par le sang dans les poumons et le rejet d'eau et de Co². La vie est une combustion, dont les aliments sont le combustible et l'O² le carburant.

En 1765 Haller écrivait « le véritable rôle du poumon est de servir à l'émission de la voix. ». En trente ans, de Black à Lavoisier, la physiologie de la respiration a rejoint celle de la circulation. Merveilleux XVIII^{ème} siècle !

III. La Science médicale remise en mouvement.

Ainsi, s'appuyant sur les connaissances anatomiques, physiologiques, chimiques, la science médicale va naître, ou renaître, au seuil du XIX^{ème} siècle. En 1893 la Convention avait proclamé la liberté de toutes les professions, mais l'année suivante le Directoire s'émeut de la prolifération des charlatans et des morts qui s'ensuivent (des lavements d'arsenic sont à la mode ...) et décide la création d'une Ecole Centrale de la Santé sur le modèle des autres écoles centrales (Polytechnique ...). Elle charge le chimiste et député Fourcroy qui dirigeait une revue médicale au titre prometteur (« La médecine éclairée par les sciences physiques ») d'en établir les programmes d'enseignement. Les guerres contre-révolutionnaires vont ralentir cette renaissance qui présente deux composantes que nous allons voir successivement :

A- La médecine clinique ou « clinico-anatomique » :

Du mot latin « clinum » : le lit. C'est un corpus scientifique décrivant les différentes maladies, en les séparant les unes des autres par la description de leurs signes respectifs. C'est donc une nosographie (Berthelot a écrit : « La science est au départ un vocabulaire ») et une semeïologie. Les médecins, chassés de l'université par la Constituante, vont, au lit du malade, décrire des signes et établir leur valeur pour faire le diagnostic des différentes maladies. Napoléon va créer le corps des internes des hôpitaux qui resteront toute la journée au

contact des malades. Le plus bel exemple de cette collaboration du maître et de son interne est le « Traité de la fièvre entéro-mésentérique » (ou fièvre typhoïde) que l'interne Serre écrira en 1813 avec son patron Petit. Bien sûr la valeur d'un signe sera établie par l'autopsie du malade. C'est la méthode anatomo-clinique qui dira si un signe a une bonne fidélité en étant présent chez tous les porteurs d'une maladie donnée (la Sensibilité ou valeur prédictive positive) et s'il est spécifique (absent dans les autres maladies). Ainsi Erasistrate avait attribué l'hydropisie (ou ascite) à la dureté pierreuse du foie et Morgagni avait même fait le rapport avec l'intempérance d'un sénateur vénitien qui absorbait des liqueurs fortes.

Mais avec le Baron Corvisart, un progrès considérable va voir le jour : il propose de changer le titre du livre de Morgagni : « De sedibus et causis morborum per anatomen investigatis » qui ne sert qu'à faire avancer la nosographie par la formule « De sedibus ... per signa indigatis et per anatomen confirmatis ». Il s'agit alors de faire faire au médecin un diagnostic du vivant du malade. C'est une véritable révolution, le remplacement de la méthode anatomoclinique de Morgagni par ce que j'ai appelé « la méthode clinico-anatomique » de Corvisart. Celui-ci est parti de la description de la percussion par le Viennois Auenbrugger dont il a traduit le livre. Ce dernier, fils d'un tonnelier, a appliqué la percussion de son père au thorax du malade, découvrant ainsi l'existence d'un niveau liquide entre air et épanchement séreux de la plèvre. Prenons un autre

exemple, celui de l'iris d'un sujet présentant une surcharge en cuivre de son organisme (maladie de Wilson). Il présente souvent un anneau vert. Avec quelle fréquence ? (Quelle sensibilité a ce signe ?) : 70 % des malades le présentent et même 90 % si on examine l'œil avec une lampe spéciale, la lampe à fente. Quelle spécificité ? 99 %. Je ne connais qu'un exemple, d'anneau unilatéral, chez un chasseur qui présentait un grain de plomb (en réalité de cuivre) dans son œil ! La médecine clinique, aidée de la statistique, va peu à peu permettre de faire un diagnostic avant l'autopsie ! La nécropsie sera d'ailleurs peu à peu remplacée par la chirurgie (laparotomie exploratrice), l'endoscopie, la biopsie ...

B- La médecine expérimentale : Claude Bernard.

C'est, après la naissance de la médecine clinique, la deuxième racine de la science médicale. De nombreux philosophes, comme les deux Bacon, ont bien parlé de l'expérimentation. Citons les mots merveilleux de Leonardo : « Expérimenter c'est reproduire un phénomène naturel dans le but de découvrir les relations et les lois qui relient les faits entre eux » mais bien peu d'expérimentations valables ont précédé celles du *Mémoire sur le pancréas* de Claude Bernard (1858). Rassemblant des travaux présentés antérieurement à l'Académie des Sciences, il est l'équivalent du « De motu cordis » de Harvey. C'est bien sûr le premier

témoin de la naissance de la médecine expérimentale mais pas seulement : il est aussi le témoin de la naissance de la biochimie (la chimie du vivant), de l'histochimie, de l'anatomie comparée ...

Certes Woehler avait fait la synthèse de l'urée en 1828 et Payen en 1833 appelle diastase, l'élément supposé qui présidait à la transformation de l'amidon en sucre. Mais le monument publié par Claude Bernard va démontrer que sa « pancréatine » (appelée plus tard lipase) est contenue dans les cellules du pancréas, confirmant la théorie cellulaire en train de naître et l'utilité du microscope (Bichat écrivait en 1800 qu'il n'avait aucun avenir en médecine). On sait quel usage en fera bientôt le chimiste Pasteur en découvrant les corpuscules vivants de la maladie du ver à soie à Alès (1868) et le médecin provincial Koch en décrivant les bâtonnets vivants du charbon du mouton (1878).

Le livre de Claude Bernard débute par les « préliminaires » qui rapportent une observation qu'il fit dix ans plus tôt : l'ouverture du péritoine chez le lapin et chez le chien en période de digestion montre des faits différents : chez le lapin, les vaisseaux lymphatiques de l'intestin grêle ne deviennent blancs (colorés par les globules de graisses charriés par la lymphe après digestion et absorption des graisses) que trente à quarante centimètres au-dessous du point où ils le deviennent chez le chien. Comment expliquer cette observation ? Le plus plausible est de l'attribuer à une

deuxième observation : le canal du pancréas ne débouche chez le lapin qu'à ce niveau, alors que chez le chien, comme chez l'homme, il s'ouvre dans la lumière intestinale quelques centimètres après la sortie de l'estomac par le pylore dans le duodénum. Une découverte physiologique majeure devient évidente, une enzyme (qu'il appelle déjà une diastase), contenue dans le suc pancréatique, préside à la réaction suivante :

Graisses alimentaires + suc pancréatique =
digestion/absorption des graisses

Il commence son premier chapitre par une étude anatomique des canaux du pancréas et de leurs anastomoses, et tout d'abord par une étude bibliographique des travaux déjà publiés, la plupart en latin. On croirait lire un article scientifique actuel, citant ses sources avec précision pour que le lecteur puisse s'y référer, de 1642 (description du canal principal Wirsung), jusqu'à ses dissections personnelles chez de nombreux animaux. L'existence de ses anastomoses, expliquées par l'embryologie, apportera une réponse à des problèmes qui surgiront dans la suite du livre (ligature improductive d'un seul canal, etc.)

De magnifiques planches illustrées sont rassemblées à la fin de l'ouvrage.

Puis il étudie les propriétés du tissu pancréatique broyé et les progrès récents de la chimie (notamment de Berthelot) lui permettent d'affiner cette équation :

Graisses neutres + diastase pancréatique =
Acides gras + glycérine (glycérol)

en utilisant le papier ou la teinture de tournesol bleue qui vire au rouge en présence d'acide.

Deux remarques chemin faisant :

- Il confirme la théorie cellulaire, énorme progrès récent : l'enzyme n'apparaît que si les membranes de la cellule pancréatique sont rompues par le broyage au mortier : c'est une diastase intra-cellulaire. De plus, il est le premier à mettre au point l'histochimie.
- Il confirme toutes ces expériences en utilisant la butyrine dont lui fait cadeau son ami Berthelot. Celui-ci en a fait la synthèse en chauffant à 300° pendant trois heures de l'acide butyrique dans un excès de glycérine (glycerol).

Butyrine + P = Acide butyrique + glycérine

C'est la vraie naissance de la biochimie.

Il montre qu'aucun autre tissu ne possède cette propriété, et notamment les glandes salivaires, car on a souvent appelé le pancréas la glande salivaire de l'abdomen (même structure macro et microscopique, même action glycolithique sur l'empois d'amidon). Il confirme que le tissu pancréatique possède la propriété de transformer l'amidon en sucre, aussi rapidement que le tissu salivaire en faisant des prélèvements chez un guillotiné. Le sucre

est caractérisé par la réaction du tartrate de Cu et de potasse, et par sa fermentation en alcool et CO² par la levure de bière.

Le chapitre suivant va être consacré au recueil du suc pancréatique. Après avoir rapporté les tentatives de ses prédécesseurs de Graaf et Magendie, il décrit sa technique opératoire avec minutie : c'eût été un merveilleux chirurgien si l'anesthésie et l'asepsie pasteurienne avaient été déjà en usage ! Il montre que le suc pancréatique présente une sécrétion intermittente déclenchée par l'alimentation, en étudie la composition physico-chimique et confirme son rôle dans la digestion des graisses neutres. Une étude chimique rigoureuse permet d'isoler et de caractériser les acides gras et la glycérine obtenue par l'action du suc pancréatique sur la tributylène et la graisse de porc.

Dans le troisième chapitre, il étudie l'émulsion des graisses et la formation du chyle chez l'animal vivant, mais surtout, il apporte des contre-épreuves à sa démonstration : division du grêle en deux et ingestion de graisses au-dessus et au-dessous de l'anus artificiel, critique soignée des expériences défectueuses de physiologistes contradictoires, destruction du pancréas. Il n'a pu avoir de survie après pancréatectomie du fait de la suppression de l'insuline encore inconnue, mais il pratique des pancréatites en obturant les canaux et obtient une destruction quasi complète du pancréas, le plus souvent résolutive.

Enfin, il rapporte huit observations anatomo-cliniques humaines confiées par des médecins amis ou puisées dans la littérature. Leur lecture attentive permet de porter le diagnostic rétrospectif de pancréatite chronique calafiante pour quatre d'entre elles, cancer du pancréas pour trois et tuberculose du pancréas pour la dernière. Toutes ont entraîné la présence de graisse dans les selles : ce signe, jusqu'alors non décrit, s'appelle aujourd'hui la stéatorrhée : l'autopsie démontre qu'il est dû à la destruction du pancréas par la maladie.

Dans le chapitre IV, Claude Bernard replace cette digestion des graisses dans le rôle digestif global de l'organe en envisageant plus rapidement la digestion des matières sucrées et azotées, puis la replace dans les phénomènes digestifs généraux : sécrétion salivaire, gastrique, biliaire et intestinale.

Enfin, dans le chapitre V, il fait une étude phylogénique dans l'ensemble de la série animale, tout particulièrement chez les oiseaux, les reptiles et les poissons.

En refermant ce livre, il nous reste l'impression d'une force de conviction rappelant celle qui domine dans trois autres grandes œuvres de l'aventure scientifique biomédicale, le « De motu cordis » de Harvey, le « On the origin of the species by means of natural selection ... » que Darwin publiera trois ans plus tard, et le premier livre de Freud qui paraîtra en 1900.

Hippocrate, Hérophile et Eraristrate eussent soupiré en le refermant ... Galien est bien mort et la médecine scientifique vient de vivre sa seconde naissance.

PARADOXE ET dilemmes DE LA CROISSANCE :

A propos du temps en économie

*JEAN-LUC GAFFARD**

L'économie entretient un rapport avec le temps qui la rapproche d'autres sciences et notamment de la physique.

En économie, toutes les variables sont des variables du temps : la production comme la consommation se définissent comme des flux temporels. L'accroissement des richesses, la croissance du produit d'une économie ne peuvent pas être compris sans que soit élucidé ce rapport au temps.

Cette invitation est d'autant plus prégnante aujourd'hui que l'Europe semble engluée dans un état de croissance faible et de chômage endémique auquel il est urgent de porter remède. La difficulté tient à la dimension paradoxale de la croissance au regard du temps (1) et aux dilemmes que ce paradoxe engendre (2).

1. Le paradoxe de la croissance.

* Professeur à l'Institut Universitaire de France (économie). Université de Nice-Sophia Antipolis

La croissance est un phénomène nouveau à l'échelle de l'histoire humaine. Elle est concomitante avec une forme d'organisation particulière de la société : le capitalisme industriel. Elle a un côté paradoxal dans le sens où elle requiert un régime régulier de production pour être à son niveau maximum alors même qu'elle procède par destruction créatrice, c'est-à-dire en remettant systématiquement en cause ce régime régulier.

Adam Smith, le premier, dans son « Essai sur la Nature et les Causes de la Richesse des Nations » de 1776, a cherché à comprendre quels étaient les ressorts de la croissance dans un système capitaliste et donc, d'une certaine manière, quelle était la relation de l'économie au temps.

Les processus agricole et artisanal de l'ancien régime économique sont avant tout dominés par leur durée qui est fixée par des contingences physiques (le climat, ...). Dans ce contexte, les outils sont généralement utilisés pendant un temps très court du cycle de production. Leur usage est une source d'inefficacité du fait de leur faible taux d'utilisation. C'est pourquoi cet usage reste marginal au regard de ce que deviendra le machinisme. Les économies du passé étaient des économies sans croissance car il n'y avait aucune incitation véritable à mettre en œuvre des machines.

Adam Smith montre comment il est possible de s'affranchir de cette contrainte de temps qui introduit

une contrainte excessive sur les processus de production, au point de les rendre inefficaces.

Prenons l'exemple d'une manufacture d'épingles. Le processus de fabrication est complexe, mais on peut diviser le travail et décomposer ce processus en étapes simples et indépendantes : étirer un fil d'acier à une longueur déterminée, le couper à la longueur voulue, effiler une extrémité, marteler l'autre. La novation sera de dédier des individus et des machines particuliers à chacune de ces tâches : de les spécialiser. Grâce à cette forme d'organisation, hommes et machines dédiés à une tâche transmettent le produit de cette tâche au moment même où ils commencent à la reproduire. Au terme d'une phase d'amorçage, chaque processus de production concret conserve sa dimension diachronique, mais un observateur extérieur verra toutes les étapes du processus de production se réaliser simultanément : le processus acquiert une dimension synchronique. Dans ce cas, concrètement, les machines sont utilisées sans interruption et c'est cet accroissement considérable du taux d'utilisation des facteurs de production par unité de temps qui est la source de la croissance.

La croissance procède d'une forme d'organisation économique, l'organisation en usine, qui consiste à synchroniser les processus de production. Cette organisation permet de s'affranchir du temps.

Il y a cependant une condition nécessaire pour mettre en place une telle organisation. En un temps déterminé, la

quantité produite par un système synchronisé en usine est très supérieure à celle obtenue quand on utilise les processus de production l'un après l'autre sur le mode agricole ou artisanal. Aussi il ne peut y avoir d'organisation en usine sans une demande finale suffisamment importante (et sans une offre abondante de ressources naturelles et d'énergie).

Il n'y aurait donc jamais eu croissance s'il n'y avait pas eu, simultanément, l'invention, de l'organisation industrielle et la captation d'une demande, en l'occurrence surtout extérieure, d'une certaine ampleur. C'est ce qui est arrivé de manière sans doute fortuite en Angleterre et ceci en dépit de la croyance en une doctrine – le mercantilisme - qui voulait que la richesse d'une nation reposât sur la quantité de métaux précieux dont elle disposait. L'Espagne accumulait, grâce à ses colonies, d'immenses richesses, alors que l'Angleterre n'avait pas d'autre possibilité que de pirater les galions espagnols. Aussi, pour accumuler de l'or et de l'argent dans ses caisses, l'Etat anglais n'avait pas d'autre solution que de promouvoir la vente de produits manufacturés à l'extérieur. C'est ce commerce d'exportation qui va assurer la richesse recherchée, mais aussi amorcer le processus de développement cumulatif qui va caractériser le capitalisme industriel.

La révolution industrielle n'est pas, comme le pensent certains économistes, due à l'invention de la machine à vapeur. C'est l'organisation du travail en usine qui a

suscité de l'intérêt pour des inventions susceptibles d'aider la production. La machine à vapeur, d'invention, est devenue une innovation quand il a fallu spécialiser les tâches associées à l'extraction du charbon. Aujourd'hui encore, la télématique a pénétré l'atelier de production d'automobiles quand il a été question de réorganiser la production pour limiter au maximum les stocks de produits intermédiaires le long des chaînes de production.

L'innovation technologique, telle qu'on l'entend comme économiste, qui va se développer dans l'entreprise, est la conséquence d'un choix systématique d'organisation industrielle qui a pour but d'éliminer l'influence du temps. Cette organisation du travail suscite l'innovation qui a pour conséquence de faire naître de nouveaux moyens de produire. Mais, brutalement, du fait de l'innovation, le temps redevient un facteur essentiel car il faut restructurer la capacité productive et amorcer de nouveaux processus.

En d'autres termes, la croissance est le fruit de la synchronisation des processus de production, mais elle la remet en cause systématiquement. C'est ce dernier aspect qui est trop souvent ignoré.

Le paradigme dominant en matière d'analyse de la croissance et le consensus auquel il donne lieu privilégie la première dimension : le fait que la croissance est conçue dans un monde sans déséquilibres ni perturbations.

Suivant le consensus dit de Washington, largement diffusé à l'initiative du Trésor américain, qui concerne les pays en voie de développement, ou suivant le consensus de Bruxelles – Francfort, initié par la Commission Européenne et la Banque Centrale Européenne, qui concerne les pays européens, la croissance est subordonnée à l'existence d'un marché libre et à la promotion des nouvelles technologies sans référence aucune aux conditions de production de ces technologies et à leur dimension temporelle.

Derrière deux mots magiques, marché et technologie, deux conditions sont énoncées, que devraient respecter les Etats : promouvoir la stabilisation (inflation zéro, déficit public nul, équilibre du commerce extérieur) et faire des réformes de structure rendant les marchés flexibles, notamment le marché du travail. Ces conditions ont ceci de particulier qui est de postuler le caractère atemporel des ajustements nécessaires : la stabilité est un préalable à la croissance et non la conséquence de celle-ci.

Ce consensus se heurte à un certain nombre de faits.

La croissance exceptionnelle de l'Europe occidentale durant l'après Deuxième Guerre mondiale et la croissance non moins exceptionnelle de l'Asie du Sud-Est à partir des années 70, le rattrapage ainsi réalisé vis-à-vis de l'économie des Etats-Unis, se sont faites dans des conditions qui ressemblent assez peu à celles du consensus : une intervention publique systématique et

discrétionnaire, et une ouverture graduelle au commerce international.

S'agissant des économies en transition vers l'économie de marché, l'échec assez patent de la Russie engagée dans une thérapie de choc conforme au consensus contraste avec la réussite au moins partielle de la Chine qui a choisi la voie d'un ajustement graduel.

2. Les dilemmes de la croissance.

Chacun comprend aujourd'hui ce que sont les sources fondamentales de la croissance

- La technologie. La productivité du travail commande le taux de croissance de l'économie. Elle dépend de la mise en œuvre des technologies les plus récentes.
- L'ouverture. Le commerce est la base de la croissance puisque la division du travail appelle une extension des marchés, interne et externe. L'un des facteurs de la croissance est l'échange international, le développement du commerce, la mondialisation. Cela est vrai des pays développés mais aussi des pays en voie de développement. La demande, pour les produits où les gains de productivité sont les plus élevés, ne peut pas être la demande locale quand les revenus individuels y sont trop faibles. Obtenir le taux de croissance le plus élevé possible requiert de servir une demande externe et donc une ouverture aux échanges internationaux.

- La démographie et plus largement le taux d'activité C'est une source de croissance évidente dont l'Europe a semble-t-il oublié l'impact. Le taux d'activité y est relativement faible. A plus long terme, si l'âge moyen d'un Européen est actuellement comparable à celui d'un Américain (36 ans), en 2050, il sera toujours de 36 ans pour un Américain, mais de 57 ans pour un Européen. La croissance risque de ne pas être au rendez-vous.

Mais le problème réside moins dans l'existence de ces sources fondamentales que dans la possibilité d'en tirer effectivement partie. Ces sources ne sont pas données, elles sont le résultat incertain du processus d'évolution.

Concrètement, il faut construire une capacité de production avant de pouvoir l'utiliser. Et s'il est requis que ces deux phases soient plus ou moins synchronisées pour obtenir une croissance forte et régulière, cette synchronisation est toujours à construire. La croissance fondée sur l'innovation introduit une désynchronisation de la production, un divorce entre coûts des recettes, et par suite des déséquilibres sur les marchés. Un créateur d'entreprise va devoir supporter des coûts qu'il devra couvrir d'une manière ou d'une autre, avant d'obtenir les premières recettes. Les entreprises établies qui s'engagent dans un processus d'innovation doivent supporter des coûts pendant un certain temps avant d'avoir les recettes correspondantes. Une économie globale soumise à des chocs technologiques enregistre

un écart entre offre et demande qui reflète le défaut de synchronisation entre investissement et consommation

Des dilemmes émergent comme conséquence de ce type de situation, dont le prototype est le dilemme de l'emploi.

Il était et il reste malheureusement commun de considérer que les machines tuent l'emploi. David Ricardo dès 1823, dans ses « Principes d'Economie Politique et de l'Impôt » réfute cette idée. D'un côté, il reconnaît qu'il existe toujours un régime de croissance avec plein emploi associé à n'importe quelle technologie. D'un autre côté, il doit constater que le chômage existe quand de nouvelles technologies sont mises en oeuvre.

La solution qu'il propose est lumineuse. Imaginons, dit-il, une économie qui produit du blé avec du blé et du travail. Cette économie est en plein emploi et les salaires sont déterminés par le minimum de subsistance. Des machines sont inventées qui vont rendre la production plus efficace, Les travailleurs qui produisent du blé sont censés être capables instantanément d'utiliser ces machines. Mais, avant de les utiliser, ils doivent les construire. Des travailleurs vont donc être déplacés de la production de blé vers la production de machines. Le plein emploi est conservé dans un premier temps, mais au terme du cycle de production du bien final, moins de blé est produit puisque le nombre de travailleurs dédiés à cette production a diminué alors que la technologie en

usage est toujours l'ancienne technologie. Le produit brut de l'économie va donc diminuer et, à salaire constant, la demande de travail va diminuer. Il y aura du chômage, mais ce chômage est temporaire car, à partir du moment où les machines qui viennent d'être fabriquées seront utilisées, l'efficacité productive augmente, la production brute augmente et avec elle la demande de travail.

Le chômage est dû au fait qu'on change de technologie et non aux propriétés de la nouvelle technologie. Tout réside dans la dimension temporelle de l'activité rendue incontournable du fait de l'innovation qui porte la croissance mais crée ce dilemme provisoire de l'emploi. La solution réside dans la mobilisation de ressources productives supplémentaires pour pallier la désynchronisation de la production.

Ce dilemme caractérise à bien des égards la situation actuelle des grands pays européens. La montée du chômage va de pair avec la chute des gains de productivité. L'un et l'autre témoignent de défauts de coordination.

Pour éviter les déséquilibres ou plutôt les atténuer, il faudrait, suivant les termes du modèle de Ricardo, pouvoir maintenir les travailleurs à produire du blé, et en engager de nouveaux pour produire des machines. Pour payer ces derniers il faudrait des moyens supplémentaires qui ne peuvent pas être tirés de la production courante, autrement dit il faudrait recourir au

crédit. Immigration et création monétaire apparaissent ainsi comme des moyens privilégiés de résoudre le dilemme de l'emploi et de la croissance. C'est bien ce que requièrent aujourd'hui les économies européennes.

Le deuxième dilemme concerne la relation entre salaire et emploi. Un choc technologique, normalement positif, devrait pouvoir bénéficier à tous, et donc les gains de productivité du travail devraient se transformer en augmentation du salaire réel alimentant la demande finale.

Si l'analyse est circonscrite au marché du travail dans une perspective atemporelle, le chômage devrait être résorbé grâce à une baisse momentanée des salaires réels. Mais, dès lors que les ajustements ont lieu dans le temps, des fluctuations de salaire associées à leur excessive flexibilité vont avoir des répercussions en chaîne à la fois sur le coût de production pour les entreprises et sur la demande pour l'ensemble des produits des entreprises. Elles vont introduire des distorsions très fortes dans l'ensemble des processus de production, que ce soit au niveau de la firme ou au niveau de l'économie globale, et affaiblir la croissance potentielle. Il semble alors préférable, pour assurer une gestion cohérente du processus de croissance, de miser sur une viscosité des salaires plutôt que sur leur flexibilité. Il n'y a donc pas vraiment de dilemme entre salaire et emploi dans une économie en croissance. Le

vrai problème concerne la vitesse d'ajustement qui doit être lente.

Friedrich Hayek, qui est l'un des défenseurs les plus ardents du libéralisme, explique que le marché est important comme lieu efficace de formation de l'information. L'information est nécessaire aux agents économiques, qui la communiquent par le marché, au travers des prix et des quantités. Mais le marché est efficace parce que c'est un lieu d'ajustements lents et graduels. Les prix fournis par le marché ne sont pas des prix d'équilibre. Ils ne fournissent pas des signaux d'emblée optimaux. Il faut donc qu'ils aient une certaine inertie pour que, progressivement, les agents interagissent de manière efficace et obtiennent la bonne information. Il en est évidemment des salaires comme des prix en général. Typiquement, l'information, communiquée par un excédent de l'offre de travail sur la demande, qu'il faudrait baisser les salaires réels en situation d'innovation est fautive. C'est ce qui explique l'exigence d'une certaine viscosité de ces derniers.

Le troisième dilemme concerne la relation entre l'existence de rendements d'échelle croissants et la concurrence. De tels rendements sont censés aboutir à la monopolisation de l'économie. Il n'y aurait plus, à terme, que des monopoles et plus personne ne serait alors incité à innover. L'innovation qui passe par les rendements croissants va donc se tuer elle-même. De deux choses, l'une : ou bien l'hypothèse de concurrence

est préservée et les rendements sont supposés constants, ou bien l'hypothèse de rendements croissants est conservée et l'économie est soumise à une concentration dommageable. En fait, dans l'un et l'autre cas, la dimension du temps propre aux processus de production et aux processus de concurrence est absente.

Dans la compétition entre firmes industrielles, celle qui décide d'innover va se mettre dans une position compétitive initialement défavorable car elle va devoir supporter des coûts supplémentaires, ce qui va l'amener, soit à augmenter ses prix courants, et donc perdre des parts de marché, soit à réduire son taux de marge, ce qui peut limiter sa capacité à drainer des capitaux extérieurs, donc sa capacité concurrentielle. Elle se met donc en difficulté car il faut du temps pour obtenir des rendements croissants : le temps nécessaire pour construire la nouvelle capacité productive. Cependant s'il existe plusieurs entreprises qui se concurrencent, elles n'innovent pas toutes au même moment. Leurs avantages et désavantages compétitifs vont alterner au cours du temps. Il existe, alors, des conditions dans lesquelles ces firmes vont coexister tout en mettant en œuvre des technologies nouvelles ou des produits nouveaux. La concurrence est compatible avec les rendements croissants. Les conditions requises, loin de s'écarter de toute forme de pouvoir de marché comme le voudrait le modèle atemporel de concurrence parfaite, consistent, au contraire, dans des connexions de marché qui introduisent une certaine viscosité des prix et des

formes diverses de collusion entre firmes, s'agissant notamment de la coopération en R & D.

Si les dilemmes relevés ont une solution, cette solution appelle des choix politiques qui ne se résument pas à l'application de règles de neutralité. Deux exemples : l'un concerne la politique monétaire, l'autre la politique de la concurrence.

Dans une économie globale soumise à un processus de restructuration, quand il est possible de couvrir, du moins en partie, les coûts de construction d'une nouvelle capacité de production, des salaires sont versés sans contrepartie immédiate du côté de la production. Des tensions inflationnistes apparaissent inévitablement. Si ces tensions sont combattues en instituant une politique monétaire restrictive basée sur une règle d'inflation nulle ou quasi-nulle, l'investissement est cassé et avec lui la croissance. C'est, très exactement, ce qui arrive en Europe depuis 15 ans et qui fait la différence avec les Etats-Unis où la Banque Centrale a un objectif de croissance et d'emploi. Cela ne veut pas dire qu'il faut promouvoir des stratégies inflationnistes. Chacun sait les perturbations occasionnées par une forte inflation. Mais il faut pouvoir accepter certaines tensions inflationnistes, quand elles constituent l'ingrédient nécessaire d'ajustements structurels réussis.

Dans des industries en restructuration, quand il faut en même temps favoriser cette restructuration et garantir le maintien d'une rivalité efficace entre firmes, la politique

de la concurrence oscille entre accepter des pratiques monopolistes requises pour assurer la viabilité des processus d'innovation et réprimer des pratiques monopolistes abusives. L'application de règles rigides concernant les structures de marché risque alors d'être préjudiciable à l'innovation.

Dans ce contexte, il est illusoire de vouloir associer à chaque institution (ou instrument) un seul objectif, poursuivi au moyen de l'application d'une règle unique. La croissance et l'emploi font partie des objectifs des institutions monétaires comme des instances en charge de veiller au maintien de la concurrence. Les politiques monétaires, même qualifiées de neutres, influencent la bonne marche de la concurrence, donc les gains de productivité et la croissance. C'est bien ce que semblent ignorer les concepteurs de l'architecture institutionnelle actuelle de l'Union Européenne. C'est bien un défaut architectural qui pourrait être l'une des causes essentielles de la faible croissance et du chômage élevé.

En bref, des choix discrétionnaires et politiques sont toujours nécessaires, même si des règles sont nécessaires qui évitent d'opérer des changements brusques de politique. Ces choix sont étroitement imbriqués les uns avec les autres. Ils appartiennent à des instances différentes, mais interdépendantes. Ils sont le fruit du débat démocratique. La démocratie joue un rôle déterminant dans l'orientation de ces choix. L'économiste omniscient appliquant des règles fixes ne

saurait s'y substituer. C'est sans doute ce qu'Amartya Sen a à l'esprit quand il remarque que les famines ont disparu en Inde quand a été introduite la démocratie.

Il est impossible de définitivement s'affranchir du temps en économie. Les problèmes qui lui sont associés réclament des arbitrages incessants qui, pour être efficaces, doivent être le fait des marchés et des gouvernements démocratiques.

Pour en savoir plus :

Gaffard Jean-Luc *Economie Industrielle et de l'Innovation*, Paris : Dalloz, 1990.

Gaffard Jean-Luc *Croissance et Fluctuations Economiques*, 2^o édition, Paris : Domat Montchrétien, 1997.

Amendola Mario and **Gaffard Jean-Luc** *Out of Equilibrium*, Oxford : Clarendon Press, 1998.

Clam Jean et **Gaffard Jean-Luc** *Norme, Fait, Fluctuation*, Genève : Librairie Droz, 2001.

LES ETINCELLES DE LA VIE

CHRISTIAN SARDET*

Tout est mouvement en biologie : la vie de la cellule se résume essentiellement à des questions de flux, d'échanges avec l'extérieur.

J'observe depuis des années ce que j'ai appelé « les étincelles de la vie » qui sont des mouvements d'ions, très rapides, dynamiques. Les ondes que Pierre Coulet a décrites pour le cœur existent aussi dans nos cellules, et notamment au moment de la fécondation.

Je travaille à la station marine de Villefranche-sur-Mer, qui est sans doute l'un des plus anciens établissements scientifiques de notre région. Il manifeste, par son ancienneté même, l'importance fondamentale qu'il faut donner à l'histoire des sciences et découvertes alors qu'on constate une certaine désaffection des jeunes pour toutes ces disciplines. Il y a de nos jours, manifestement, un manque de vision de l'importance historique de la démarche scientifique.

* Directeur de recherche au CNRS et Président de la Société de Biologie Cellulaire de France. UMR 7009 biologie du Développement, CNRS/ Univ P et M Curie, Observatoire, Villefranche sur Mer 06230. Email : sardet@obs-vlfr.fr

On présente souvent les faits les plus complexes comme s'ils étaient évidents, alors qu'il a fallu des siècles parfois pour les analyser et les comprendre. C'est par exemple le cas de la découverte de la fécondation dont je vais vous parler.

Il est évident, en outre, que plus on avance dans les recherches et plus on constate que les phénomènes sont compliqués. Nous touchons là à un problème international qui est celui de la communication scientifique.

Dans tous les domaines, la multiplication des travaux entraîne une spécialisation de plus en plus poussée. Les chercheurs n'ont plus que le temps de lire les publications qui traitent de leurs domaines spécifiques. Il est très difficile par exemple à des chercheurs qui travaillent sur le végétal, d'avoir une connaissance suffisante des travaux sur le monde animal, et l'inverse est encore pire.

Pour lutter contre cette tendance, nous essayons de susciter, parmi les jeunes biologistes, un mouvement pour qu'ils se manifestent sur Internet en faisant passer leurs connaissances originales dans de petits documents clairs de cinq minutes : des BioClips.

Nous en avons réalisé plusieurs qui sont disponibles, et notamment un sur la fécondation appelé « Sparks of Life ». Ces BioClips et films peuvent être consultés sur

le site <http://www.bioclips.com> et sur notre site de laboratoire <http://biodev.obs-vlfr.fr/biomarcell>.

La fécondation

La cellule est l'unité de base du vivant et l'œuf est la cellule primaire, totipotente, qui va se multiplier pour devenir embryon puis individu. Je m'attacherai aujourd'hui essentiellement à décrire la fécondation de l'ovule par un spermatozoïde.

Remarquons que, dans la nature, certaines espèces se passent de spermatozoïdes et de fécondation. Le développement d'un œuf par parthénogenèse est un phénomène tout à fait naturel pour une petite minorité d'espèces. Pour les autres, la fécondation est obligatoire. Les premières notions sur l'importance de l'ovule furent celles d'un Anglais, Harvey, qui en 1630 déclara « tout est dans l'œuf ». La mise au point par Lovenhoeck, du premier microscope permit de découvrir que, dans la semence, il y avait une multitude d'« animalicules » dont on trouve les dessins dans les ouvrages de Buffon à la fin des années 1700. A la suite de ces travaux, il y a eu la période des préformationistes, des biologistes de l'époque qui pensaient que les spermatozoïdes devaient contenir, sous une forme microscopique, l'individu tout entier.

Les œufs d'oursin et d'étoile de mer sur lesquels en 1870 on a, pour la première fois, décrit la fécondation, ont été

observés à Messine puis à la station de Villefranche sur Mer par un jeune médecin suisse, Herman Fol qui, associé à Barrois un chercheur français encouragé par Darwin, fonde avec Fol un laboratoire en 1881. Fol est en effet le premier à avoir compris que la fécondation était la fusion entre un spermatozoïde et un ovule. Actuellement, nos connaissances sur les processus fondamentaux de la fécondation proviennent encore à soixante-dix pour cent des études sur les oursins ou d'autres invertébrés marins qui demeurent d'excellents modèles expérimentaux.

Jack Loeb, en 1901, a clairement montré qu'il était en fait possible de se passer du spermatozoïde pour activer un œuf, et qu'il suffisait par exemple de piquer des œufs de grenouilles avec une aiguille pour imiter l'action du spermatozoïde. Loeb a pensé que des ions participaient à l'activation de l'œuf, qu'il existait une substance catalytique capable d'activer l'œuf.

C'est seulement dans les années 1970 que les choses se sont mises à bouger de nouveau grâce à de nouvelles techniques pour mesurer le calcium à l'intérieur des cellules. On a observé que si les méduses émettaient de la lumière dès qu'on les touchait cela était dû à des explosions de calcium qui provoquent des émissions de photons en se liant à des protéines luminescentes. Ces protéines ont été ensuite utilisées comme outils pour mesurer les signaux calciques.

Dans les années 1974-1978 Lionel Jaffe et ses collaborateurs aux Etats-Unis ont ainsi injecté ces protéines luminescentes dans des œufs de poissons et, au moment de la fécondation ces chercheurs ont pu observer des vagues d'émission de photons correspondant aux vagues de calcium traversant l'œuf. Cette réaction des œufs lors de l'activation est considérée maintenant comme universelle.

En ce qui concerne le phénomène naturel de la fécondation, le spermatozoïde qui est probablement la cellule la plus mobile de notre corps, injecte dans l'œuf à la fois :

- un principe activateur
- un centre organisateur
- un noyau contenant le génome du père.

On a toujours tendance à se focaliser sur ce troisième aspect, mais le spermatozoïde intervient donc d'autres façons et je vous parlerai ici surtout du principe activateur injecté par le spermatozoïde dans l'œuf.

Dès la fécondation, l'œuf réagit de manière spectaculaire. Au moment où le spermatozoïde féconde l'ovule, celui-ci est parcouru pendant six à sept heures chez la souris par des vagues de calcium. On ne connaît pas encore toutes les fonctions de ces vagues. L'œuf

entame ensuite le long processus irréversible des divisions successives.

Au moment de la fécondation il se produit aussi, à l'intérieur même du spermatozoïde, des mouvements très spectaculaires, une véritable transformation (bien visible chez les holothuries ou concombres de mer) sous la forme d'un mini-muscle qui va donner un dard, sorte de mini-pénis, destiné à féconder l'œuf. Cette transformation est déjà sous l'influence des mouvements de calcium. Elle est très fugace dans la plupart des espèces et ne peut pas être vue sous microscope optique. Ce dard s'étire grâce à des molécules d'actine, les protéines qui forment les fibres de nos muscles.

Si l'on veut bien observer la fécondation, il faut disposer de matériel biologique adapté. L'un des plus favorables est le cténaire *Beroe*, organisme cilié très primitif, vivant en mer, qui est tellement transparent que l'on peut filmer la fécondation en détail et en particulier la rencontre des génomes mâle et femelle stockés dans les noyaux du spermatozoïde et de l'œuf.

S'il n'y a pas de spermatozoïde fécondant, le noyau de l'œuf de *Beroe* va errer à l'intérieur d'une manière aléatoire. Par contre, dès qu'il y a pénétration de l'ovocyte par un spermatozoïde, le noyau de l'ovocyte, guidé par des longs tubules appelés microtubules va se diriger vers le spermatozoïde. On a même observé des mouvements tout à fait troublants où le noyau de l'ovocyte se dirige successivement vers plusieurs

spermatozoïdes (la polyspermie est un phénomène assez fréquent) et semble alors « choisir » le noyau mâle avec lequel il va fusionner sans qu'on sache actuellement quelle est la raison de ce choix. Probablement dans ce cas, plusieurs spermatozoïdes issus de différents individus ont pénétré dans l'œuf et ont pour le noyau de celui-ci des affinités différentes. Les microtubes qui guident les noyaux sont constitués par une protéine que l'on retrouve dans tous les flagelles et les cils vibratiles de notre corps : la tubuline.

Chez les ascidies, des invertébrés marins de la famille du violet dont le génome vient d'être totalement séquencé, on observe des vagues calciques répétées au moment de la fécondation, qui sont aussi caractéristiques de tous les œufs des mammifères. Les ascidies sont nos lointains ancêtres car ils donnent des petits têtards qui ressemblent à ceux des batraciens. Ces ondes calciques répétées qui, chez nous, durent plusieurs heures, durent, chez ces organismes plus primitifs, une vingtaine de minutes seulement, et sont évidemment beaucoup plus faciles à observer et étudier.

Toutes ces vagues calciques ont pour origine un point qu'on appelle un entraîneur (pace maker). Ce site cortical à l'origine des ondes calciques est également celui où va se faire ensuite la gastrulation, invagination de la petite boule de cellules issue des premières divisions de l'œuf et à partir de laquelle vont apparaître les premières différenciations cellulaires et en particulier

les tissus internes de l'embryon. L'entraîneur, chez les ascidies, est dû à la présence d'un circuit de tubes du réticulum endoplasmique qui va contrôler la concentration calcique dans la cellule.

On est entré récemment dans une ère nouvelle, celle du clonage, en simulant les actions des spermatozoïdes par des chocs électriques de l'ovule et l'introduction d'un noyau provenant d'un même individu.

Des expériences ont montré que, lorsqu'on réimplante un embryon de lapin fécondé artificiellement activé et soumis à des impulsions électriques plus ou moins intenses, leur survie semble dépendre de la fréquence et de l'intensité de ces chocs électriques provoquant des ondes calciques.

Il semble donc que, pendant les premières heures, les ondes calciques naturelles et prolongées aient une influence majeure pour le bon développement de l'embryon constituant une sorte de mémoire de la fécondation.

Tous les œufs qui sont fécondés sont parcourus par ces ondes calciques, dans les secondes qui suivent la fusion avec le spermatozoïde. Il y a donc des similitudes entre ces divers organismes, ce qui manifeste leurs relations évolutives. En 1990, nous avons montré que ces signaux calciques étaient très importants pour achever la méiose, processus qui permet la formation des gamètes mâles et

femelles avec réduction du nombre de chromosomes (de $2n$ à n).

Au cours de ces dernières années, on a isolé chez la souris des petites protéines à partir des spermatozoïdes, qui sont capables de provoquer ces vagues calciques à volonté. Ces petites protéines sont des enzymes (Phospholipases) capables de générer des molécules lipidiques qui se fixent sur les tubes du réticulum et en font sortir le calcium par des protéines-canaux. Nous ne savons pas encore si toutes les espèces utilisent ces mêmes molécules mais de nombreux chercheurs travaillent sur cette question.

N.D.L.R. : Cette conférence a été illustrée ensuite par la projection d'un film étonnant d'images de synthèse (*Sparks of life*) que nous invitons vivement nos lecteurs à visionner à partir d'un des sites indiqués dans le texte.

UNE BREVE HISTOIRE DES GRANDS MUSEES DE L'EDUCATION NATIONALE

PAR ETIENNE GUYON*

*I learnt very little science, except in mathematics, in school,
But I learned a lot of sciences in other ways ...
I learned mostly from two sources, books and museums*

Freeman Dyson

Du *mouseion* de la bibliothèque d'Alexandrie, lieu d'accueil d'artistes et savants, aux centres de culture scientifique d'aujourd'hui, le parcours est bien long. Nous limiterons donc notre propos à une brève histoire des quatre Grands Musées de Science de l'Education Nationale (Muséum d'Histoire Naturelle, Conservatoire des Arts et Métiers, Musée de l'Homme et Palais de la Découverte) avec, pour ambition, de rendre compte de

* Physique et mécanique des milieux hétérogènes (PMMH),
UMR CNRS-ESPCI 7636
10 rue Vauquelin 75231 Paris Cedex 06 (France)
et centre Cavallès de l'Es
24 rue d'Ulm 75005 Paris

l'évolution d'une démarche de muséologie scientifique à travers plus de trois siècles d'histoire. Nous examinerons successivement la naissance et l'évolution de ces quatre grandes institutions, sans chercher à en faire une description détaillée puisque l'objectif recherché est d'aller vers les missions de ces musées. Nous prolongerons cette présentation par une analyse prospective sur ces formes libres de diffusion de la connaissance scientifique et les caractéristiques d'une exposition

Le Muséum d'Histoire Naturelle

Guy de la Brosse est à l'origine de l'histoire du Muséum. Médecin ordinaire de Louis XIII, il se voit confier la mission de réaliser un « jardin des simples » en 1626, afin de mettre en place « *toutes sortes d'herbes médicinales pour servir ceux qui en auraient besoin, même pour l'instruction des écoliers de l'Université de médecine* ». Le « jardin des plantes médicinales » qui deviendra le « Jardin du Roi » s'enrichira rapidement de très nombreuses espèces, résultats de missions lointaines, qu'il conviendra d'acclimater et de classer (taxonomie). On trouve déjà, dans l'action de Guy de la Brosse, les trois missions des musées : collecter, organiser et présenter au public. Plus tard, Buffon « régna », on peut le dire, sur cet ensemble pendant un demi-siècle et jusqu'en 1788. Mais ce fut à Daubenton que revint la mission, quatre ans plus tard, de mettre en

place le Muséum en y intégrant les animaux de la ménagerie du Roi qui était installé à Versailles. Ce projet se met en place dans la tourmente révolutionnaire, mais est bien dans l'esprit du Siècle des Lumières. On verra, dans le même temps, se créer le CNAM et l'Ecole Normale. Les cours de cette fugace Ecole Normale eurent d'ailleurs lieu dans l'amphi Verniquet du Muséum récemment rénové, et les cours de sciences naturelles y étaient donnés par Daubenton alors très âgé (1).

Conservatoire des Arts et Métiers

Les ancêtres du Conservatoire des Arts et Métiers (aujourd'hui le CNAM) sont ici les Cabinets de physique et de curiosité. Nous pouvons de nouveau rechercher un pionnier. Ce sera l'Abbé Nollet dont les cours de physique expérimentale seront suivis par Lavoisier. L'Abbé Nollet présentera dans ces cabinets de physique pour « amateurs » des expériences d'électricité faites pour exciter la curiosité et l'amusement (une des composantes permanentes des musées, nous y reviendrons). Mais, dans le même temps, il fait des expériences originales sur d'autres sujets, tels que la thermométrie, la mesure de la pression osmotique ... De nombreux autres Cabinets existaient en France, témoins de cette curiosité du Siècle des Lumières. C'est aussi l'esprit de l'Encyclopédie qui conduira Vaucanson, avant sa mort en 1783, à rassembler des outils et

machines pour l'éducation des ouvriers. Le dépôt public introduit en 1783 est l'ancêtre d'un bureau des brevets mais qu'on publicise afin qu'ils soient copiés et améliorés. Vaucanson a été lui-même un remarquable réalisateur d'automates tels que ceux que présente aujourd'hui le Musée du CNAM (ceux de Vaucanson ont été perdus au fil des ans). Mais, au-delà de la distraction, il s'agissait d'un projet de biomécanique envisageant déjà de pallier des déficiences motrices physiques.

Le projet que l'Abbé Grégoire, présente à la Convention de création du Conservatoire des Arts et Métiers (2) est résumé dans ce très beau texte : *« La création d'un Conservatoire pour les Arts et Métiers, où se réuniront tous les outils et machines nouvellement inventés ou perfectionnés va éveiller la curiosité et l'intérêt, et vous verrez dans tous les genres des progrès très rapides. Là, rien de systématique : l'expérience seule (c'est moi qui souligne) aura droit à l'assentiment ... On évitera l'accumulation des machines inutiles ... L'enseignement, placé à côté des modèles, exige des démonstrations, »*. De fait, l'enseignement qui y est donné utilisera les machines qui sont rassemblées dans le musée autour de la chapelle de Saint Martin des Champs. On peut encore voir aujourd'hui les rails qui permettaient aux chariots de transporter les objets d'exposition dans l'amphithéâtre. Très clairement, il n'en n'est plus de même aujourd'hui et l'enseignement pour adultes du

CNAM est bien découplé (parfois en concurrence quand il s'agit d'affectation de locaux) avec le Musée. Le développement des technologies avancées a fait que la mission de collection du musée n'a plus été remplie pendant la seconde partie du XXème siècle par suite de manque de locaux. Un rapport de Pierre Piganiol, de décembre 1989, (3) et la prise en compte du Musée dans le cadre de grands travaux présidentiels ont permis un renouveau du musée. Il a commencé par la création de réserves dans des locaux créés à cet effet à Saint Denis et remarquablement aménagés. La rénovation des locaux du Musée du CNAM est achevée aujourd'hui grâce à la ténacité de sa directrice, Madame Dominique Ferriot. Une interactivité qui n'existait pas précédemment a été introduite.

Le problème principal me semble aujourd'hui de définir avec la communauté des chercheurs, ingénieurs et techniciens, une attitude patrimoniale qui n'existe que de façon très limitée dans la communauté scientifique et qui pose des problèmes délicats de choix des témoins à conserver, de mode de conservation, de lieux de stockage et de présentation. Un travail s'impose, alors qu'une mission du patrimoine, présidée par René Rémond, s'est mise en place sans, me semble-t-il, une grande considération pour les témoins de l'histoire des Sciences et Techniques. Le rapport Piganiol posait déjà le problème et indiquait quelques pistes précises. Il me semble qu'une solution passe par un regard sur d'autres

communautés qui ont des problèmes semblables (par exemple, comment travaillent les archéologues qui doivent identifier, sélectionner, classer lors des fouilles en cours de chantier de la création d'une nouvelle autoroute).

Le Musée de l'Homme

Installé dans le Palais du Trocadéro, le Musée d'Ethnographie rassemblait des collections et trophées précieux acquis au temps de la Royauté (Cabinets Royaux de Curiosité) et dans les explorations coloniales en particulier. Loin de suivre les recommandations de l'Abbé Grégoire, le Musée de l'Homme, comme de nombreux muséums, devint, au cours du temps, un lieu d'« accumulation » d'objets. Une première phase de rénovation fut marquée par la direction de Paul Rivet et la présence de son adjoint G. H. Rivière, mais le Musée de l'Homme, malgré le ferment culturel qu'il inspire aux savants et artistes, restait mal organisé et peu « muséal ». J'ai eu l'occasion de participer, aux côtés de Françoise Héritier-Augé et de Maurice Godelier -qui a joué un rôle important dans le travail de restructuration actuel des Musées des Arts et Civilisations- à un rapport sur les Musées de Science en France (4). Le rapport, faisant en particulier le point sur l'état des quatre grands Musées Nationaux, dénonçait la désorganisation particulièrement criante du Musée de l'Homme qui, en toute bonne logique, aurait dû être le premier de nos Grands Musées

de science, car *c'est de l'homme qu'il s'agit...* Le Musée de l'Homme est un élément du Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN), mais je ne pense pas que ce rattachement ait été favorable en ce moment à sa rénovation !

G. H. Rivière fut aussi l'un des initiateurs de l'International Council of Museums (ICOM) qui réunit tous les musées au monde et dont une branche (CIMUSET) est plus spécialement consacrée aux musées de science. Il est intéressant de dégager les grands principes de la muséologie selon Rivière. Certains de ces principes sont déjà présents dans les déclarations antérieures que nous avons rappelées :

- Le musée doit être un lieu de « délectation » qui associe *savoir et plaisir*. On trouve, sur la façade extérieure du Musée de l'Homme, cette belle phrase de Paul Valéry (qui eut un rôle important à cette époque au Musée de l'Homme ainsi que dans la création du Palais de la Découverte) :

*Il dépend de celui qui passe
Que je sois tombe ou trésor ;
Que je parle ou me taise,
Ceci ne tient qu'à toi ! Ami, n'entre pas sans désir.*

- Le musée associe *collection et recherche*. Ceci implique des actions de sélection, de classement (taxonomie), d'organisation, de plus en plus découplées de l'exposition, comme nous l'avons vu.

- Il travaille par *reconstructions* : cela passe par des modèles, de la recomposition, de la réalisation d'artefacts.
- Le musée demande une *interactivité*. Nous sommes passés progressivement du musée où il fallait avant tout garder passivement une distance avec des objets figés à un musée où il faut toucher et interagir. Ceci n'est naturellement pas vrai que dans les musées de science.
- Le musée est appelé à *sortir de ses murs*. Les jardins botaniques, les écomusées sont des exemples classiques de cette ouverture. Mais des formes plus radicales du genre physique dans la ville, laboratoires portes ouvertes ... sont apparus plus récemment. Nous y reviendrons un peu plus bas.

Le Palais de la Découverte

Le Palais de la Découverte fut créé comme une exposition temporaire dans le Grand Palais en 1937, à l'occasion de la dernière Exposition Universelle en France (Arts et Techniques dans la vie moderne ». Le succès sera tel que le Palais ne fermera pas après cette exposition et restera ouvert jusqu'à ce jour avec un statut précaire (un « squat » du ministère de la culture, propriétaire des lieux ?). Ceci a nui aux travaux de rénovation qui m'avaient été pourtant promis , aux côtés de ceux de la rénovation du Muséum et du Musée du CNAM, par le président Mitterrand et son ministre en charge des grands Travaux Emile Biasini, alors que j'étais directeur du Palais, en 1989. Les conditions de la création du Palais sont intéressantes à étudier et comportent aussi leur

leçon de morale. Son fondateur, Jean Perrin, avait été sous-secrétaire d'Etat à la Recherche pendant le Front Populaire. Il associera en 1937 le projet de création du Palais à celui du Centre national de la Recherche Scientifique qui verra le jour peu après. Une vision quelque peu optimiste, lorsqu'on pense au futur, lui fait dire dans son discours d'inauguration :

« Le Palais de la Découverte doit ... faire comprendre que, dans le passé, mais aussi dans l'avenir, nous ne pouvons espérer rien de vraiment nouveau, rien qui change la destinée qui semblait imposée aux hommes, que par la recherche scientifique et par la Découverte. »

La création du Palais fut marquée par un grand enthousiasme et une large participation des personnalités scientifiques les plus marquantes de l'époque. En Sciences, Emile Borel a en charge les mathématiques, C. Fabry,

A. Cotton et F. Joliot-Curie sont responsables de la physique. F. Perrin, P. Auger, P. Langevin, J. Wyart ... sont associés à des réalisations d'expériences modernes. Je cite seulement comme exemple d'actualité scientifique la présentation de H. Bernard qui avait en charge le secteur météorologie et y présente des expériences de convection qu'il décrit ainsi (*cet état pré turbulent organisé, extrêmement important comme transition du régime laminaire au régime chaotique ...*). C'est cette réalité qui sera redécouverte par les physiciens du « chaos » dans les années 70 ! Les artistes sont de la partie et on peut voir aujourd'hui, au Palais de

la Découverte, des œuvres de Léger et Gromaire. Valéry s'intéressera aussi à cette création du Palais (5).

Je présidais le comité scientifique (COVIL) de la Cité des Sciences et de l'Industrie (CSI) au moment de son ouverture en 1987 avec, à l'esprit, cette vision de la large participation dans la création du Palais. J'ai pu malheureusement constater alors combien ce souffle était absent au moment de l'ouverture, même si le projet de ce nouveau Grand Espace avait été attendu par la communauté des chercheurs (sans que cela ne remette en compte leur soutien au Palais). Mais le découplage dans le temps entre les projets de la recherche et leur prise en compte scénographique ultérieure entre autres, a privé la CSI d'alors d'une plus large participation de la communauté scientifique et technique. Je n'aborderai pas plus l'évolution de ce Grand Musée que je perçois mal.

Le Palais n'est pas, à la différence des autres grands musées, un musée de Collection mais un musée de « Processus ». Tout comme les autres musées, il est appelé à dissocier la mission de recherche et celle de divulgation, et ce sont les laboratoires qui sont les lieux d'acquisition et de collections de nouveaux savoirs dans lesquels le responsable de musée est appelé à se servir. Mais pour présenter l'objet immatériel de ces nouveaux savoirs, le Palais fit appel à des présentateurs professionnels qui reproduisent régulièrement, pour les visiteurs, des expériences fondamentales.

Un héritier du Palais de la Découverte est l'*Exploratorium* de San Francisco, créé par Franck Oppenheimer et qui a été inspiré par le Palais et reprendra certains principes d'exposition (en particulier la présente d'« *explainers* », plus souvent ici des étudiants temporaires). Il introduira aussi les expériences « *Hands on* » où on est invité à toucher et à manipuler soi-même, principe qu'ont repris actuellement tous les Musées (et pas simplement ceux de sciences et techniques). Quant au Palais de la Découverte, il connaîtra un développement limité après-guerre, tout en conservant la qualité de ses relations avec le monde scientifique et la confiance du monde enseignant qui y trouve des prolongements des programmes. Une réflexion menée par Michel Hulin, qui en fut le directeur et auquel j'ai eu la chance de succéder, définit bien les missions de ce Musée et sa position en face de la CSI (un travail comparable a été fait par P. Piganiol, impliquant cette fois le musée du CNAM) (3). Le Palais jouera aussi un rôle structurant auprès des Centres de Culture Scientifique qui se sont mis en place dans les grandes villes et dont le développement fera suite à 1968 et au grand Colloque de la Recherche de 1982. On peut enfin espérer que, avec les importants travaux d'architecture du Grand Palais, la situation du Palais de la Découverte sera enfin stabilisée avec les travaux de rénovation à la fois matériels et de contenu qui s'imposent.

Les actions de communication hors les murs.

L'évolution récente de la Muséologie s'est faite en grande partie hors des murs des Grands Musées. D'une part, à côté des visiteurs traditionnels dont nous parlerons plus bas, on ne doit pas oublier le « non public » et il faut aller à lui. D'autre part, il est légitime que, à côté des grands musées parisiens, une appropriation de la culture scientifique se fasse dans les régions. Disons en quelques mots. L'ouverture de l'Université après mai 68 a conduit à un développement des actions de Culture scientifique dans la ville. Le GLACS (Groupe de Liaison pour une Action Culturelle Scientifique), animé en particulier par Marie Simone Detoef et Marcel Froissard et auquel j'ai participé a accompagné alors cette évolution. En particulier, les opérations « Physique dans la rue » initiées à l'occasion d'un congrès de physique des particules à Aix en Provence en 1973 ont été suivies par d'autres manifestations semblables (Dijon, Poitiers) (6). (C'est en allant par accident avec quelques jeunes enfants voir les présentations dans la cour du Palais Maynier d'Oppède à Aix et en voyant leur curiosité que j'ai « eu le virus » et décidé deux ans plus tard de reproduire le même type de projet pendant le congrès annuel de la Société Française de Physique à Dijon). Les centres de culture scientifique et technique, réunis au sein de l'AMCSTI (association des musées de science et des centres de culture scientifique, technique et industrielle) se sont développés. Le grand Colloque de la

Recherche a officialisé les activités de divulgation de la science comme l'une des composantes normales de leur activité professionnelle qu'ils sont invités à inclure dans leur rapport d'activité (même si, en pratique, le poids de cette composante reste faible). Le rôle d'Hubert Curien (7) qui a eu à plusieurs reprises la responsabilité du Ministère de la Recherche, et qui avait une sensibilité particulière pour les actions de divulgation scientifique, a été très important dans la mise en place de la semaine de la science et d'autres initiatives (beaucoup plus, paradoxalement, que la tutelle générale de l'Education Nationale !). Les actions de « portes ouvertes » ont été introduites, mais posent de nombreux problèmes pratiques d'accueil. De grands organismes, tels que l'INSERM ou le CNES, ont conduit des actions importantes de culture scientifique tournées vers les jeunes.

Il semble que, après une période foisonnante, l'on soit dans une période plus calme (et institutionnalisée) où il faut prendre garde à ce que les responsables professionnels soient bien en contact avec les chercheurs et *vice versa*. Nous avons abordé ce thème il y a quatre ans à l'occasion d'un Colloque à la fondation des Treilles, nous inquiétant du faible taux de renouvellement du potentiel d'idées et de projets originaux. Ceci nous a conduits, à titre de démonstration, à mettre en place un projet d'exposition original comprenant une trentaine d'expériences interactive et obtenues à partir de recherches récentes et qui circule

maintenant en France et à l'étranger (8). Des activités, comme celle que mène Pierre Couillet à Nice autour des systèmes dynamiques à partir d'expériences utilisant des systèmes pendulaires sont aussi un bon exemple introduisant, dans ce cas, un lien entre l'Université et l'Ecole.

Participant actuellement à la coordination de l'Année Mondiale de la Physique 2005 en cours, je constate à coup sûr une bonne participation de projets sur l'ensemble des régions ce qui est un bon signe alors qu'il nous faut restaurer l'intérêt des jeunes pour la Science.

L'avenir des grands Musées passe par un renforcement de leur rôle de mise en réseau et de soutien des centres régionaux, souvent mieux placés pour établir un contact direct avec les communautés de chercheurs et qui ne disposent pas des moyens et logistique nécessaire, à eux seuls. Ce point est souligné dans plusieurs rapports récents sur la culture scientifique (Jantzen, Hamelin) et, tout particulièrement dans l'excellent document de la Commission présidée par le sénateur Pierre Laffitte (9).

Quels éléments de muséologie ?

Les publics des musées.

Indépendamment de leurs missions et de leurs contenus spécifiques, des caractéristiques générales se dégagent,

que les missions définies par G. H. Rivière avaient déjà annoncées.

Les musées réalisent une médiation des savoirs pour des publics variés et, par conséquent, avec des missions diverses. Le premier public est le public jeune, public captif par excellence, accompagné de ses maîtres et public privilégié pour des présentations d'expériences par des animateurs. Il existe donc une connexion directe à l'Ecole et, parfois plus précisément encore au programme quand il s'agit de reproduire des expériences qui ne peuvent être réalisées dans le cadre d'un établissement scolaire. Mais, même dans ce cas, le musée doit assurer une plus grande transdisciplinarité et encourager des questions qui n'ont pas nécessairement des réponses en termes scolaires. Le Conseil National des Programmes sur l'enseignement des sciences expérimentales proposait trois objectifs principaux à la formation : observer - agir - critiquer : développer la curiosité devant un phénomène nouveau - encourager l'esprit d'initiative et la ténacité - former le sens critique. N'est-ce pas là une même ambition pour un musée de sciences ? A côté donc d'expositions que nous qualifierons de *normatives*, c'est-à-dire s'attachant à présenter un certain nombre de faits et de résultats, une seconde classe d'expositions que nous qualifierons de *stratégiques* s'attache à reconnaître des processus et des démarches. C'est celle-ci qui se prête le mieux au projet pédagogique que nous venons de rappeler.

Les jeunes jouent ensuite un rôle moteur dans l'entraînement des adultes (famille, amis) dans des visites complémentaires des musées où ils retrouveront des expériences du Musée de façon moins contrainte. Cette combinaison de ces deux types de visiteurs fait que les muséums en région reçoivent un public à peu près constant d'une région à l'autre, indépendamment même en partie de la qualité de leurs expositions !

Le troisième public est naturellement de grand public curieux, mais il faut reconnaître que celui-ci est souvent largement constitué de public « senior », et qu'on a du mal à accrocher des visiteurs dans les tranches d'âge où, justement, ils sont en pleine activité professionnelle. Il faut, naturellement, dans ce cas, aller vers le public, ce que proposent les solutions de musée hors les murs. Ce que recherche le tout public est un complément de formation (de type Université Tous Ages), mais aussi une présentation et des réponses à des questions actuelles ou d'actualité. Cette action de médiation prend des formes diverses : expositions temporaires, généralement itinérantes, et conférences. On sait le succès de l'*Université de Tous Les Savoirs* sur toute l'année 2000 grâce au travail d'Yves Michaud, et qui se prolonge actuellement. Mais sans vouloir minimiser ce succès, il faut souligner que ce ne sont pas tant les 600 participants quotidiens de la salle de conférence du CNAM, touchant un public souvent acquis et fidèle qui ont compté le plus, mais l'ensemble des actions dérivées (livres (10), journaux, site Internet ...) qui ont

accompagné cette manifestation. Je me plais à dire que, en ce qui concerne le public, les causeries faites devant une petite centaine de personnes dans une commune de quelques milliers d'habitants telle que celle où je vis et où je suis actif actuellement, ont un impact relatif plus important, si on ne devait se limiter qu'à ce simple compte.

Citons enfin le partenariat avec les médias, important par l'effet de démultiplication et les salles d'actualité. La situation n'est pas satisfaisante et les musées n'ont pas réussi une ouverture suffisante sur le système médiatique. Pour avoir participé pendant six ans au Comité de Programmes de la 5^{ème} chaîne – la chaîne du savoir !- je peux témoigner combien il est difficile de créer un climat efficace de dialogue avec des réalisateurs, hors faits divers impliquant des éléments scientifiques et techniques (à condition, dans ce cas, de pouvoir réagir très vite).

Les éléments d'une exposition interactive.

Comment construire une exposition interactive qui remplisse les conditions définies par Rivière et quel dialogue établir avec la Recherche, comme l'ont suggéré tous les concepteurs de musées ? Nous partirons de l'Université qui, avec la participation de tous les établissements publics de recherche qui lui sont associés, me semble être le lieu de départ le plus simple entre la Recherche et le Grand Public.

L'exposition peut être une expérience unique pour lequel le travail du chercheur conduira à un prototype qui devra

être mis en forme dans le cadre du musée ou d'un centre de culture scientifique. Il est souvent plus simple de travailler à l'échelle d'un Centre régional de culture qu'à celle d'un Grand Musée. Toutefois le projet actuel du Palais de la Découverte « un chercheur - une manip » où le chercheur qui a un projet validé est invité à le mettre au point avec les services techniques du Musée me semble être une excellente initiative. Un intermédiaire particulièrement fécond et dont j'ai fait l'expérience à l'Université de Paris Sud depuis une dizaine d'années passe par des modules d'enseignement de physique expérimentale; les étudiants (Deug ou licence) sont invités à construire une expérience originale, ou très souvent classique, qui s'attache moins à produire un résultat nouveau qu'à développer des talents expérimentaux en s'attachant à la mise en forme d'une expérience qui peut alors prendre la forme de prototype muséal. Plusieurs de ces projets ont été commercialisés.

Quels sont donc les éléments d'un tel élément d'exposition ; quels sont les points communs et les différences apportées dans la transformation jusqu'à la présentation publique ?

Les points communs d'abord :

- *La recherche de la simplicité.* Il faut éviter l'effet boîte noire, chercher à limiter le nombre de paramètres dont dépend le fonctionnement de l'expérience. Ceci veut dire en particulier que le

recours à l'informatique est limité dans ce genre de projets. L'« *experimentum crucis* », comme l'expérience par Newton de décomposition de la lumière par un prisme puis la reprise du faisceau lumineux ainsi décomposée par un second prisme, apparaît comme le modèle d'un tel projet.

- *Le recours à l'analogie.* L'expérience a recours à des changements d'échelle par rapport à la réalité, le plus souvent de modèle réduit, mais parfois dans l'autre sens (dans le monde microscopique et les problèmes du vivant). Le temps se prête au même genre d'opérations de dilatation. Il importe que ces changements d'échelle soient clairement explicités. C'est l'occasion de familiariser le visiteur avec les notions d'ordre de grandeur et de dimensionnalité. Mais l'analogie permet aussi de remplacer la présentation d'un phénomène par un autre, tel ce fameux calculateur à spaghettis qui utilise un ensemble de barres coupées à des longueurs différentes pour réaliser une opération de classement de nombres arithmétiques (11).

Les différences :

Celle-ci sont nombreuses et font que même une expérience simple ou « de coin de table » nécessite le recours à une mise en forme et à une transformation avant exposition

Naturellement, les conditions matérielles de mise à la disposition du public nécessitent des conditions de robustesse pour une utilisation répétée. Clairement, la complexité augmente considérablement lorsqu'on passe de l'exposé illustré par des expériences (l'air liquide, l'électrostatique, les spectacles de chimie) par un présentateur à l'expérience libre en salle. Les questions liées à un usage renouvelé nécessitent des conditionnements particuliers. Combien d'expériences « mortes » rencontre-t-on dans des musées qui n'ont pas résisté à l'épreuve du temps ! Ce sont souvent ces deux contraintes qui font abandonner un projet qui apparaît très séduisant lorsqu'il est présenté dans une manifestation de portes ouvertes dans un laboratoire par le scientifique qui l'a conçue.

La sélection d'un projet dépend du *projet stratégique* de l'exposition que ce soit autour d'un thème général d'une exposition temporaire ou de la relation avec d'autres éléments du musée. Les livres d'expériences réalisés par l'*Exploratorium* de San Francisco se terminent pour chaque expérience par « *so what ?* ». Nous sommes amenés à nous poser cette question, et ce assez tôt, dans la mise au point d'une nouvelle expérience. En ce sens, et ceci n'est souvent pas le cas, il est important de penser assez tôt aux explications, prolongements ... qui accompagneront le projet.

Un facteur important me semble être la *dramatisation* de l'expérience. Il faut intéresser, voire séduire, ce qui se

rapproche de l'objectif pour un musée d'être un lieu de « délectation ». Le visiteur passe très vite devant une majorité des éléments d'une exposition. Comment susciter rapidement son attention, mais aussi comment le surprendre et solliciter sa curiosité pour qu'il s'arrête, observe et cherche à comprendre ? J'aime à citer l'expérience de ce petit train qui se déplace à vitesse constante en ligne droite que j'ai vu dans une salle en libre service pour étudiants à l'U.C. Santa Barbara. Le train porte une petite bombarde qui envoie verticalement une bille. Celle-ci, en fin de trajectoire, retombe dans la bouche de la bombarde ; l'expérience est une reproduction simple et spectaculaire de la classique expérience de Galilée sur la relativité mécanique. Mais, sur la trajectoire du train, on a placé un tunnel entre le moment où la boule était lancée et celui où elle retombait. Ceci n'ajoute rien du point de vue de la physique, mais faisait beaucoup au niveau de la surprise et du spectacle.

L'expérience doit être lisible. Utilisons encore une fois une expérience classique. Sous une cloche à vide, une sonnerie électrique n'est plus audible si on fait le vide dans la cloche. On peut vérifier le niveau de vide à l'aide d'une jauge de pression extérieure et la production du son en montrant qu'un courant électrique passe dans le circuit de la sonnerie ; c'est ce qui est fait généralement. Pourquoi ne pas montrer plutôt la présence de l'air par un petit ventilateur à l'intérieur de la cloche qui produit un courant d'air qui défléchit un petit ruban de soie, et la

vibration en mettant un gong déclenché électriquement qui frappe la cloche de l'extérieur. Il s'agit encore une fois des paramètres de dramatisation et du refus des boîtes noires que nous avons introduits!

De façon générale, l'association d'artistes (les *artists in residence* de l'*Exploratorium* de San Francisco) ou de scénographes inspirés est un plus, et, très souvent une nécessité. Il faut cependant qu'il existe un partenariat et une complicité avec les chercheurs tout au long de l'opération, ce que d'ailleurs ne favorisent pas les procédures administratives de marchés qui exigent souvent que le projet soit arrêté avant le choix du scénariste retenu.

Signalons enfin une dernière caractéristique de l'exposition que Michel Hulin, qui fut un directeur inspiré du Palais de la Découverte (12), qualifiait *d'effet brandade* dans la métaphore suivante :

Vulgarisation, popularisation, sensibilisation (et pas plus, d'ailleurs, l'enseignement) ne peuvent prétendre nous faire percevoir dans leur intégralité et leur authenticité, les sciences et techniques ; elles en donnent une image, une représentation, à peine un modèle ; espérer en tirer plus serait espérer faire l'ichtyologie de la morue à partir d'un plat de brandade. Leur reprocher cette transposition reviendrait à en vouloir au cuisinier de ne pas vous placer dans votre assiette le poisson vivant, gigotant et suffoquant ; tout leur effort, et tout

leur art est dans la transformation du produit initial et rendu consommable et appétissant.

Naturellement, l'attitude didactique de muséologie doit s'attacher à rendre l'expérience consommable. Mais je dois avouer que ce texte me met un peu mal à l'aise. En reproduisant une expérience de laboratoire dans un musée, on vise à faire partager une démarche de découverte en se rapprochant autant que possible de l'attitude de découverte du chercheur. Peut-être ne faut-il pas aller jusqu'à l'affirmation « tous chercheurs » que certains espaces des sciences interactives projettent en avant en mettant en situation de recherche des jeunes enfants qui ne disposent d'aucun outil de connaissance et d'analyse du chercheur. Comme dans tant d'autres situations *in medio stat virtus* !

Remarques finales

J'ai été, j'en suis conscient, très partial et partiel en faisant une présentation à partir de mon expérience personnelle et, surtout, en utilisant une présentation limitée à quelques établissements français parmi lesquels j'ai privilégié le Palais de la Découverte. Au niveau national, il aurait fallu parler de la Cité des Sciences qui mériterait, à coup sûr, un article à part mais dont j'ai moins suivi l'évolution récente. Il aurait fallu dire le rôle

historique du *Deutsches Museum*. J'aurais dû parler aussi de la *Royal Institution* qui est le plus bel exemple que je connaisse d'un centre qui a associé depuis plus de 2 siècles les scientifiques les plus justement renommés (Young, Davy, Faraday, Rayleigh, Thomson, Tyndall, Bragg entre autres !) et la présentation au public dont « les *Christmas Lectures* » restent année après année un des plus beaux fleurons. J'ai par ailleurs, moi-même, chaque fois que je l'ai pu à l'occasion d'une mission scientifique, visité à titre personnel des musées de sciences et j'aurais sans doute pu ainsi prolonger cette présentation. Celle-ci n'a en fait que l'intérêt d'une « mise en appétit » de culture muséologique de la même façon que mon regretté ami Marcel Bennaroche qui fut l'animateur de Centre de culture scientifique et technique à Marseille aimait à parler de la mission des musées eux-mêmes.

Remerciements

Ceux-ci vont à tous mes collaborateurs et amis avec qui j'ai partagé cette aventure, en particulier Dominique Ferriot et Michel Demazure, et à tous les chercheurs de notre laboratoire sans mur autour de l'Ecole supérieure de physique et chimie industrielle (EPSCI) de la ville de Paris avec qui j'ai partagé des projets d'expériences pour Grand Public et Scolaires.

Références

- (1) Cours de l'Ecole normale de l'an III ; volume 3 Sciences de la nature. Presses de l'E.N.S. Rue d'Ulm (2005).
- (2) Déclaration de l'abbé Grégoire à la Convention 10 octobre 1794.
- (3) « Le musée du CNAM. Sa renaissance. Pourquoi ? Comment ? » rapport de Pierre Piganiol pour le Secrétariat d'état à l'enseignement technique (décembre 1989).
- (4) « Les musées de l'Education nationale » Rapport Héritier Augé (la Documentation Française 1991).
- (5) J. Eidelman Revue du Palais de la Découverte (avril 1992) ; O. Welfélé et J. Eidelman Les archives du Palais de la Découverte Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences 31 (1990).
- (6) Le GLACS a produit de nombreux documents au cours de son existence accompagnant ses actions et des expositions telles que « La danse de l'univers » et « Le big bang ».

- (7) « Pour une politique internationale de la science. Hubert Curien » Presses de l'E.N.S. (1994). J'y ai écrit un chapitre sur ses activités liées à la popularisation de la Science.
- (8) Jeux de grains, tas de sable et avalanches, réalisée par le C.C.S.T.I. de la région Centre.
- (9) Mission d'information sur la diffusion de la culture scientifique (site du Sénat 2003) P. Laffitte.
- (10) Université de tous les savoirs, sous la direction d'Yves Michaud, 5 volumes O. Jacob (2001).
- (11) A.K.Dewdney *Scientific American* (juin 1985).
- (12) « Le mirage et la nécessité. Pour une redéfinition de la formation scientifique de base » M.Hulin Presses de l'E.N.S. (1992).

LES DERNIERES NOUVELLES D'un JEUNE UNIVERS TRES AGITE*

ANDRE BRAHIC**

Aristote, Jean-François Mattéi nous l'a rappelé, divisait l'Univers en cercles concentriques dont le plus extérieur était celui des étoiles fixes, leur disposition ne changeait jamais. Là commençait le domaine du « moteur immobile » de Dieu.

Si Aristote et Archimède revenaient aujourd'hui, ils reconnaîtraient sans peine les constellations de la Grande Ourse à Cassiopée en passant par toutes les autres ... Ils ne seraient pas dépaysés. Même sur une durée de dix mille ans, les modifications ont été faibles. En revanche, il y a dix millions d'années, le ciel était complètement différent. L'impression d'immobilité ne correspond donc pas du tout à la réalité. En fait, l'Univers est en mouvement perpétuel, nous le savons bien maintenant, et il s'y passe tous les jours des événements qui sont souvent d'une violence terrifiante. C'est un feu d'artifice permanent.

* Le lecteur trouvera, ci-après, les notes prises par le Secrétaire général de l'AEIS au cours de l'exposé d'André Brahic, illustré par de nombreuses diapositives.

** Astrophysicien – Professeur à l'Université de Paris VII – Prix Carl Sagan couronnant ses vulgarisations.

Depuis quelques dizaines d'années, notre connaissance de l'Univers a été totalement bouleversée. 80 % de ce que nous savons aujourd'hui ici était inconnu il y a seulement quarante ans. Il y a seulement dix ans, vingt pour cent de l'histoire nous manquait. Restons donc modestes ; qui sait si, dans cinquante ans, un livre paraissant sur le sujet ne traitera pas d'une majorité de faits aujourd'hui inconnus ?

Compte tenu des dimensions inconcevables de l'Univers, il est facile de comprendre que, si l'on sait définir le temps sur Terre, dans l'Univers c'est totalement impossible. A cause de la durée mise par l'information pour parcourir des distances astronomiques, on ne peut pas synchroniser sa montre avec celle d'un extraterrestre vivant à quelques millions d'années- lumière de nous.

La physique, depuis Einstein, nous a appris que le temps et l'espace sont liés ainsi que le temps et la vitesse (le jumeau voyageur de Langevin).

Mais pour nous, sur Terre ou même dans le système solaire, le temps et son écoulement ont manifestement une signification. C'est ainsi que depuis le 12 février 2003, nous connaissons avec précision l'âge de l'Univers. On le situait entre 10 et 20 milliards d'années. Par prudence, on disait qu'il en avait environ 15. Son âge est précisément de $13,7 \pm 0,15$ milliards d'années. Nous le savons grâce aux observations faites récemment

dans l'Antarctique et par le satellite W.M.A.P. (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe).

Ceci ne veut pas dire qu'il y a 13,7 milliards d'années un monsieur barbu s'est dit : « J'ai une semaine de libre, si je m'occupais un peu avant de me reposer dimanche ? » Cela signifie que nous sommes capables de dire ce qui s'est passé *depuis* les 13,7 milliards d'années qui nous ont précédés.

Cela ne veut donc pas dire qu'il n'y avait rien avant, car ce n'est pas une question scientifique puisqu'aucun fait d'observation, aucune indication ne nous permette de penser à quoi que ce soit de précis.

On dispose, actuellement, d'une carte du ciel, projetée sur un plan, telle qu'on aurait vu l'Univers 380 000 ans après le big bang. Au lieu d'être isotrope, on observe déjà de petites fluctuations de densité qui prouvent que, très tôt, il y avait déjà des hétérogénéités qui seront à l'origine des galaxies.

Nous sommes entourés de trois sphères :

- celle de l'homme : là où l'homme a été, la Terre et la Lune ;
- celle des robots expédiés par l'homme qui lui ont permis de connaître, de cartographier et de photographier les autres planètes. Actuellement,

l'objet survolé le plus lointain est Triton, satellite de Neptune à 5 milliards de kilomètres.

- celle de nos yeux qui va jusqu'aux confins de l'Univers et donc le plus loin dans le passé.

On aimerait bien savoir maintenant ce qu'il y a derrière la sphère céleste : on commence à le découvrir.

L'astronomie est la plus ancienne des sciences et pourtant, c'est celle qui, actuellement, dispose le moins de moyens, surtout en Europe.

Pourquoi faire de l'Astronomie ? Trois raisons : culturelle, scientifique, industrielle.

- 1- La culture est nécessaire à la société, et la science en fait partie, comme la musique, la peinture, etc.

Après tout, comprendre dans quel Univers on est, comment la Terre a évolué, ce qui se passe au centre de la Terre est un minimum que tout honnête homme du 21^e siècle devrait posséder.

Discutant un jour avec Claude Allègre, je lui suggérai de mettre un peu d'astronomie dans ses programmes. Il me proposa, pour me convaincre du contraire, d'aller dans les banlieues.

Je suis allé à Val Fourré, dans une salle remplie de cinq cents gamins et je leur ai parlé d'astronomie. Je

vis alors leur yeux qui s'allumaient et j'ai pensé : tout n'est pas perdu !

J'ai alors rencontré Lionel Jospin et Jacques Chirac pour leur dire : quand vous avez des problèmes en banlieue, envoyez d'abord un astronome, la police après !

Cette dimension culturelle de la science n'est pas assez mesurée et il faudrait vraiment que, dans les programmes scolaires, on fasse comprendre aux élèves ce qu'est la démarche scientifique.

- 2- La raison scientifique est que l'Univers dans son ensemble et le système solaire en particulier, est un laboratoire unique où l'on trouve des conditions extrêmes qu'on ne peut pas reproduire dans un laboratoire terrestre. Comment y ferait-on un trou noir ? Mais on peut y tester la physique, les sciences fondamentales.
- 3- La raison industrielle et économique enfin est évidente car la recherche spatiale d'aujourd'hui, c'est l'industrie de demain, un passé récent est là pour le prouver.

Pour conclure, nous voyons dans l'Univers ce qui s'est produit dans le passé puisque nous disposons à la fois des dimensions spatiales et temporelles. Nous sommes tout petits dans cet Univers et ce qui est stupéfiant, c'est que l'Homme ait pu, avec son petit cerveau, bricolé par

l'Evolution, comprendre les choses à l'échelle de l'Univers. La prétention des scientifiques est que, peu à peu, nous puissions comprendre d'autres choses encore.

*TABLE RONDE**

Animée par Madame Geneviève Gourdet, présidente de
l'Université de Nice-Sophia Antipolis

La Présidente : Nous sommes heureux d'accueillir l'ancien Recteur de l'Université de Paris, le professeur René Blanchet et Madame la Directrice du Cabinet du Recteur de l'Académie de Nice-Sophia Antipolis.

Cette journée a été d'une richesse exceptionnelle avec des prises de parole très diverses. On n'a peut-être pas suffisamment souligné le mot « culture », car ce qui nous a été présenté avait souvent une beauté particulière.

* Le compte-rendu a été rédigé par le Secrétaire général de l'AEIS.

La « culture » doit être présente dans notre avenir.

Jean Aubouin¹ : Cette belle journée est de celles qui devraient réconcilier le public et la Science en montrant, d'une part quelques spectaculaires progrès récents, d'autre part la continuité de la pensée scientifique au cours du temps, du Passé au Présent.

Car la Science en a bien besoin, qui est aujourd'hui l'objet d'une certaine désaffection, non seulement du public en général, mais aussi des étudiants en particulier.

Sans doute peut-on y voir les conséquences d'une trop grande complexité, augmentée chaque jour par des découvertes nouvelles et par un vocabulaire ésothérique, le tout décourageant même pour un public cultivé. Comment comprendre et assimiler tout cela ?

A quoi s'ajoute ce qu'il faut bien appeler une vague d'obscurantisme ingrat à l'égard d'une Science à qui l'on doit beaucoup ; et dont, d'ailleurs, contradiction non assumée, on attend plus encore.

Je voudrais m'arrêter au cas des étudiants dont le nombre va diminuant d'une façon inquiétante dans l'Enseignement supérieur ; c'est-à-dire au problème de l'enseignement des sciences.

¹ Professeur émérite des Universités (géologie). Membre de l'Institut. Président honoraire de l'Académie des Sciences. Membre de l'AEIS Nice-Côte d'Azur.

Une première explication tient à la difficulté des études scientifiques, de moins en moins récompensée par des débouchés professionnels manquant souvent au rendez-vous : pourquoi tant de peine pour un bénéfice aussi aléatoire ?

Mais là n'est pas l'essentiel : l'aspect cumulatif de l'enseignement scientifique, aggravé au fil de découvertes toujours nouvelles, est quelque peu décourageant. Sous la double raison d'une trop grande masse de connaissances toujours plus spécialisées, la pensée scientifique s'estompe sous l'entassement des faits. C'est pourtant cet esprit scientifique qu'il faudrait développer avant tout, dans la mesure où il est une manière d'appréhender le monde bien au-delà des seules sciences.

Sans doute l'Histoire des sciences est-elle une manière de répondre à ce besoin.

D'une part, en montrant que les grandes étapes de l'Histoire des civilisations ont toutes été conditionnées par un saut scientifique et technique, et ce depuis la Préhistoire : la Science est une composante essentielle de l'Histoire, sinon l'un de ses principaux moteurs.

D'autre part, en faisant comprendre la démarche scientifique sur des exemples choisis replacés dans le cadre des connaissances de l'époque ; ce qui est facilité

par le fait qu'il s'agit d'exemples bien connus –ou que l'on croit connaître-. *La démarche scientifique c'est admettre que les faits ont raison par rapport à l'idée qu'on en a. D'où la méthode scientifique, fondée sur le principe de réalité, au triple critère de l'observation, de la mesure et de l'expérience.*

Il s'agit là des sciences de la nature comme on disait au 18^e siècle, c'est-à-dire toutes les sciences sauf la Mathématique ; laquelle est fondée sur la pureté du raisonnement logique que permet la perfection abstraite de son objet ; mais qui fournit aux autres sciences un puissant moyen d'analyse et de mesure au travers de son langage universel.

L'exposé de Pierre Couillet, appuyé sur les expériences de Galilée et de Newton, est exemplaire à cet égard ; il a, à juste titre, fasciné l'auditoire.

Certes, un tel enseignement de l'Histoire des sciences devrait éviter le travers cumulatif de l'enseignement des sciences en elles-mêmes et mettre l'accent sur les grandes aventures scientifiques qui ont conditionné l'Histoire et changé l'idée que l'Homme se fait de lui-même et du monde. La connaissance de l'Univers, jalonnée par les noms d'Eratosthène, Copernic, Galilée, Kepler, Newton, Einstein, serait un exemple superbe de saga scientifique. La connaissance de la vie depuis les origines en serait une autre. Car si Copernic a fait savoir

à l'Homme qu'il n'était pas au centre de l'Univers, Darwin lui a révélé qu'il n'était pas non plus le cœur du Monde vivant. D'autres exemples viennent à l'esprit comme les acquis scientifiques qui ont permis la naissance et le développement de la civilisation industrielle.

On montrerait ainsi que *la Science est partie intégrante de la Culture*. De ce point de vue, la notion de « culture scientifique » est mutilante par son adjectif : la Culture est un tout qui comprend les Sciences au même titre que la Philosophie, la Littérature ou les Arts.

Il faudrait donc définir un enseignement et former des enseignants. Ceux-ci devraient être des scientifiques ouverts à l'Histoire : car il faut être acteur de la Science pour en comprendre intimement le cheminement. Un dialogue avec les Historiens et les Philosophes enrichirait beaucoup le cursus.

De ce point de vue, l'enseignement expérimental mis en place à l'Université de Nice-Sophia Antipolis est un exemple à suivre.

Pierre Coulet : Je suis très ému par cette intervention, mais pour moi, c'est évident. Lorsque j'ai essayé d'expliquer la force centrifuge avec un billard circulaire, c'est une démarche que tout le monde peut comprendre, ainsi que la loi des aires. L'enseignement

des sciences dures a péché par le formalisme. On a court-circuité la science comme aventure humaine et y revenir est important du point de vue culturel.

Je suis persuadé que je peux, avec un peu de temps, expliquer la loi des aires à des gamins, mais je ne peux pas le faire de la manière dont elle est enseignée actuellement à l'Université, car il faut alors maîtriser le calcul différentiel et le calcul vectoriel. J'ai beaucoup travaillé avec des responsables des programmes ces dernières années, pour m'apercevoir que les mouvements en rotation n'existent plus dans les programmes des lycées parce que, dit-on, c'est trop compliqué. Or, c'est le seul mouvement inertiel qu'on voit autour de nous ; c'est le lancer d'une pierre, par exemple, alors qu'on ne voit jamais de mouvements qui se perpétuent en ligne droite.

Je crains qu'on ne puisse rien faire contre les programmes nationaux, mais localement, montrons aux gens et surtout aux jeunes, qu'avec cette démarche historique, en revenant à des expériences concrètes, on peut comprendre.

Arrêtons surtout de vouloir faire des programmes exhaustifs. Il vaudrait mieux que les étudiants aient quelques idées de la façon dont se produisent les choses, sans vouloir enseigner la science comme si on voulait faire de nos étudiants les meilleurs professionnels.

Il y a un problème puisque 90 % des élèves ne feront pas de la science. Mais je crains qu'au niveau national, ce combat soit perdu d'avance.

La Présidente : Ce que vous avez montré dans cette journée, c'est qu'il y avait aussi, lié à l'Histoire des sciences, quelque chose qui relève de l'imagination et de la créativité. Cela rejoint aussi la culture. Il est donc nécessaire de donner cet élan imaginatif, créatif. Qu'en pense un enseignant chercheur ?

Jean-Pierre Romagnan² : Effectivement, l'enseignement des sciences, quel est-il ? Un fatras de connaissances démesuré ?

Je pense qu'il faut insister sur l'enseignement de la démarche scientifique. Dans le département de physique, par exemple, nous avons un peu perdu notre âme en négligeant l'aspect expérimental. Nous avons trop tendance à l'enseigner comme les mathématiques, alors que c'est une science expérimentale.

L'aller-retour entre concepts fondamentaux et expériences est une nécessité mais, pour des problèmes matériels (expériences difficiles et coûteuses), nous avons évacué ce côté expérimental. C'est sans doute une

² Professeur des Universités (physique) .Directeur du département de physique à l'Université de Nice-Sophia Antipolis

des raisons de la désaffection des étudiants pour ces disciplines.

Heureusement, grâce à des professeurs comme Pierre Coulet, nous tentons de remédier à cet état de chose en agissant au niveau local. Nous avons donc mis en place un nouveau type d'enseignement intitulé : la mécanique qualitative qui s'appuie essentiellement sur des expériences fondatrices, sur l'Histoire des sciences.

L'accueil des étudiants à ce nouvel enseignement, dispensé depuis deux ans, est très favorable. Les enseignants y participent eux-mêmes avec beaucoup d'enthousiasme et, dans le cadre de la nouvelle réforme, cet enseignement qualitatif va prendre de plus en plus d'importance. Nous avons aussi mis en place une licence « Philosophie et science physique », et donc développé un enseignement pluridisciplinaire.

Jean-Luc Gautero³ : Cette licence Philosophie – science physique devrait, à terme, former des enseignants en philosophie, qui n'auraient pas du tout la crainte qu'ont la plupart des philosophes actuels vis-à-vis des sciences. Ils pourront mieux faire passer, auprès des étudiants et des lycéens, scientifiques comme littéraires, l'aspect culturel de la science sur lequel je

³ Professeur des Universités (philosophie). Directeur du département de philosophie de l'Université de Nice-Sophia Antipolis.

suis heureux que tout le monde ait insisté, car cela m'apparaît comme fondamental.

De même, dans mes cours de licence de philosophie traditionnels, j'essaie de mettre en évidence que la Science ne doit pas être considérée comme à part de la culture. Le nom grec ancien de la Science était *philosophia*.

La vieille formule de Rabelais : « Science sans conscience n'est que ruine de l'âme » montre bien qu'alors on ne voulait pas séparer la philosophie de la science.

Il est possible que les physiciens donnent actuellement une image fautive de ce qu'ils pensent réellement. Mais peut-être seuls les mauvais physiciens, qui ne sont pas de bons scientifiques, donnent cette mauvaise image d'être sans conscience !

Mais je pense que, pour la majorité d'entre ceux que je peux rencontrer, la science va avec la conscience.

La Présidente : On devrait montrer aux jeunes qui ont des problèmes vis-à-vis de l'éthique des sciences, que c'est une véritable interrogation qu'on ne doit pas éluder. Il nous faut montrer aux étudiants en sciences, qu'outre les problèmes d'enseignement, se posent des questions de type éthique, social, voire économique.

Il y a des questions de rapport entre l'éthique et l'idée qu'on se fait de la science.

Jean-Luc Gautero : Oui, mais qui proviennent de l'enseignement trop dogmatique des sciences au niveau du lycée. Il masque tout ce qu'il y a d'éthique dans une pratique scientifique réelle.

René Dars⁴ : Deux choses m'intéressent :

- 1- Les programmes de l'enseignement secondaire me semblent excessifs. En géologie, par exemple, si un élève de seconde possédait tout ce qui lui est proposé, il devrait pouvoir passer la licence.
- 2- Ne peut-on, à côté d'une licence Philosophie – Physique (avec peut-être un volet Chimie), imaginer un enseignement Philosophie – Sciences naturelles ?

Jean-Luc Gautero : Dans un premier temps, c'est une licence Philosophie – physique, parce que c'est avec les enseignants de physique que nous avons le plus de contacts, mais nous avons, au département de philosophie, un collègue qui est philosophe de la biologie et nous prévoyons en effet, si la licence de Philosophie – physique marche, de l'étendre à

⁴ Professeur émérite des Universités (géologie). Président de l'AEIS Nice-Côte d'Azur.

Philosophie – biologie ou Philosophie – sciences naturelles.

René Blanchet⁵ : Tous les mots clés ont été cités et je souscris entièrement à tout ce qui a été dit. Il y a peut-être un mot qu'il faut ajouter et qui est représenté à cette tribune, c'est : « interdisciplinaire ».

Ce qui a fait la force de cette journée, c'est cette rencontre de tous les horizons. Or, c'est ce qui manque le plus, notamment au lycée, où tout est extrêmement cloisonné. On y a créé, il y a peu, un enseignement civique, juridique et social (CJS). Cela partait d'une bonne intention, pour favoriser les rencontres autour de ces vastes questions de différentes disciplines, autour de méthodes. Cela a très vite dérivé dans un ghetto organisé ; une case de plus dans l'emploi du temps, une surcharge d'horaire supplémentaire pour les jeunes.

Il est indispensable de revenir aux démarches qui sont communes, qu'on parte sur des méthodes et des concepts globaux.

Au-delà de ce mot « interdisciplinaire » bien utilisé et bien compris, il est très difficile d'avancer au niveau national. Exemple : les travaux personnels encadrés dans le lycée. C'est une très bonne chose, mais elle a coûté, avec d'autres réformes, son fauteuil à un ministre.

⁵ Professeur des universités (géologie). Ancien Recteur de l'Académie de Paris. Membre de l'AEIS Nice-Côte d'Azur.

Au plan régional, on doit pouvoir faire des choses à condition que tout soit conçu autour du pivot de l'Université. C'est donc à partir de l'Université qu'il faut organiser ce projet, en allant aussi loin que possible, en ayant un projet, ambitieux certes, mais construit de telle façon que des résultats soient observables assez rapidement et, pour ce faire, je voudrais tout de suite déculpabiliser l'Université de Nice-Sophia Antipolis.

L'Université c'est, par définition, de l'enseignement associé à de la recherche de haut niveau. Il faut donc que, pour ces étudiants, au travers de la réforme LMD⁶, elle se concentre sur cette mission d'enseignement et de recherche.

Mais alors, il faut changer d'état d'esprit. Il faut considérer aujourd'hui que le lycée est un dispositif pré-universitaire. Or, dans ce pays, on considère encore le lycée comme un dispositif post-collège, avec le même système de programmes et de manuels.

Il faudrait qu'on se décide, pour des enfants qui ont seize ans en seconde, à les considérer dans leur formation pour répondre aux questions qui se posent toujours : culture, science, économie au sens large. Il faudrait que nous fassions en sorte d'associer beaucoup mieux l'Université à la formation continue du second degré.

⁶ Licence, Master, Doctorat.

C'est donc le problème de la formation des maîtres qui est posé. On doit reprendre les choses dans la durée, avec une approche de la science, de la culture qui soit celle qui est évoquée ici et en essayant d'éviter les cloisonnements par disciplines qui furent efficaces jadis, mais ne le sont plus aujourd'hui.

Patrice Crossa-Raynaud⁷ : La biologie a fait des progrès extraordinaires ces dernières années. Or, c'est probablement la discipline, avec le nucléaire, où l'on observe le plus grand divorce avec la société. Beaucoup d'élèves s'éloignent d'elle parce qu'elle a mauvaise presse, surtout à cause des OGM.

Christian Sardet⁸ : Je crois qu'en ce qui concerne les OGM, il faut manifester une très grande prudence, plus que dans les autres disciplines. Les forces économiques poussent à imposer des OGM pour des raisons qui sont parfois discutables. On observe la même chose pour les produits pharmaceutiques.

On a donc tout intérêt à décroisonner, car on ne peut pas isoler ces problèmes. La crainte de beaucoup de gens est donc compréhensible, mais il est de la responsabilité de nos dirigeants d'expliquer.

⁷ Directeur de recherches INRA honoraire. Secrétaire général de l'AEIS Nice-Côte d'Azur.

⁸ Directeur de recherches au CNRS Paris VI et observatoire de Villefranche sur Mer. Président de la société de Biologie Cellulaire de France.

Constatons qu'en fait aucun de nos hommes politiques ne parle de science. Elle n'est donc pas valorisée. Les émissions phares à la télévision ne parlent jamais de science. Tant que cela durera, il y aura un fossé entre la société et la science.

Si beaucoup de jeunes hésitent à choisir les carrières scientifiques, c'est dû, je pense, essentiellement au fait que nos enseignements sont devenus extrêmement spécialisés. On a demandé aux Universitaires « de publier ou de périr » et de se spécialiser dans des domaines très étroits pour publier. Devenus professeurs, ils vont se borner à enseigner la spécialité dont ils ont la capacité, ce qui n'intéresse pas les étudiants et ne correspond en rien aux débouchés.

Raymond Negrel⁹ : Je suis actuellement directeur scientifique à l'université pour les LMD chargé, lors de réunions interdisciplinaires, de définir ce que doivent être les Masters.

L'idée générale est qu'il faut mettre un terme à l'éclatement, faire des formations plus générales englobant plus de disciplines, y compris en sciences. Or, un de mes collègues a dit qu'un des enjeux du marché, c'était de sauver les disciplines en péril comme par exemple la science des sols. Mais on ne peut pas faire un Master de la science des sols !

⁹ Professeur des Universités (biologie), Doyen de la Faculté des Sciences - Université de Nice-Sophia Antipolis

Il y a donc un problème de sociologie du milieu qui est très fort. C'est dire, très simplement, que pour des problèmes de captation de postes, d'obtention de moyens, on a fait une intense diversification et les étudiants ne s'y retrouvent plus, mais ils ne sont pas forcément repoussés par la science.

Il y a quinze ans, on a observé qu'il y avait 45 % d'étudiants qui suivaient la filière S au lycée et on a déclaré qu'il faudrait passer à 55 % en 2002. Nous sommes à 36 % et cela est largement dû aux cursus qui sont proposés.

Dernier point. En ce qui concerne les lycées, il y a un problème d'adaptation terrifiant. On a voulu changer les programmes et introduire le mot « incitation ». Les formateurs de formateurs en ont formulé une définition hallucinante que je vous livre. *Incitation* : concept introduit par la théorie libérale pour justifier l'exploitation ! De même *subsidiarité* : concept introduit par le traité de Maastricht. Ce n'est tout de même pas St Thomas d'Aquin qui a rédigé ce traité !

Jean-Luc Gaffard¹⁰ : Dans ma discipline économique, la seule formation des professeurs de l'enseignement secondaire admissible est la formation lourde de type école d'été de quatre à cinq jours avec des Universitaires auprès desquels on fait un appel d'offre et

¹⁰ Professeur des Universités (économie), membre de l'Institut Universitaire de France, Université de Nice-Sophia Antipolis

pas des professeurs qui arrondissent leur fin de mois le mercredi après-midi, mais des gens qui sont sélectionnés par exemple pour faire comprendre ce que sont les marchés, les incitations, etc. On fera un appel d'offre auprès des universités, ce qui obligera ceux qui sont sélectionnés à penser qu'ils ne sont pas là seulement pour publier dans « Economic Review », mais aussi pour former des générations de professeurs.

Mais il y a là un problème de structure administrative colossal. En fait, c'est le dilemme du prisonnier car les professeurs ne sont parfois pas mécontents de rester tranquilles dans leur coin.

Sacha Sosno¹¹ : Je vous félicite pour cette journée tout à fait passionnante, mais je regrette vivement l'absence d'étudiants.

Raymond Negrel : Nous allons, dès maintenant, faire une vitrine sur ces problèmes à la Faculté des Sciences, en attendant autre chose.

Le fait qu'il y ait une licence Philosophie – physique qui puisse être élargie à d'autres disciplines est une expérience qui commence à faire des émules.

¹¹ Sculpteur. Membre de l'AEIS Nice-Côte d'Azur.

La Présidente : Vous avez soulevé le problème de l'absence d'étudiants à cette journée, mais il faut l'élargir aux élèves de l'enseignement secondaire. Tous les chefs d'établissement ont pourtant reçu une invitation.

Jean-Marc Mariani¹² : Trois aspects dans mon intervention :

- On a vu s'introduire le concept de « success story » à la fois comme méthode d'enseignement, d'animation de stage. Est-ce que ça ne devient pas une forme d'attraction des jeunes vers certains métiers ? Il y a, dans les médias, un accent très fort qui est mis sur les succès très rapides de certaines personnes. Ces démonstrations médiatiques n'ont-elles pas une attraction plus forte sur des jeunes qui veulent réussir leur vie par rapport à la difficulté d'un cheminement scientifique universitaire et d'études complexes ?
- N'y a-t-il pas une histoire de la pensée humaine : la distinction entre sciences dures et sciences molles qui évolue ? On pourrait s'interroger sur les phénomènes humains.
- En guise de boutade : y a-t-il une science qui ne soit pas humaine ?

¹² Chargé de la communication à la Délégation du CNRS à Sophia Antipolis.

Jean-Luc Gautero : Vous touchez là le problème de l'identification à des jeunes qui voient des personnes qui ont des professions passionnantes, des succès rapides, y compris financiers et sociaux. Effectivement, la science dure, comme vous l'appellez, n'est pas identifiée comme étant une des voies à choisir et les médias y ont leur part de responsabilité. Ce problème concerne aussi les Etats-Unis. Il n'y avait, l'an passé, que deux doctorants noirs en biologie. Mais si on voit souvent des noirs vedettes de football ou de basket, on n'y voit pas de biologistes. Il y a donc une grosse part d'identification.

Michel Bornancin¹³ : Pour la formation des maîtres, je voudrais dire tout le mal que nous devons, encore aujourd'hui, à la classification d'Auguste Comte. Même à l'Université, dès qu'on est un peu original, transversal, il est très difficile de se faire une place.

La formation des maîtres du second degré est strictement disciplinaire à cause des concours de recrutement. On n'y voit jamais d'épreuves sur l'histoire ou l'épistémologie des sciences. Il faudrait changer la structure des concours des maîtres du second degré.

Il faudrait peut-être aussi que les Universitaires s'intéressent à la formation des maîtres du premier degré car, actuellement, ils sont formés par ceux du second

¹³ Professeur émérite des Universités (biologie) Université de Nice-Sophia Antipolis. Ancien Recteur de l'Académie d'Ajaccio.

degré qui ne peuvent intervenir qu'au niveau de leur stricte discipline.

Ce qu'il faut apprendre à un élève du premier degré, ce sont des démarches, des découvertes, et non recaser rapidement des savoirs disciplinaires.

La Présidente : Il doit y avoir une formation continue des maîtres. Par exemple, ils devraient pouvoir venir dans les laboratoires de l'Université pour se recycler et voir comment la science est en mouvement.

Gilbert Belaubre¹⁴ : J'approuve complètement tout ce qui a été dit et qui montre combien votre colloque est d'actualité, car il y a un dilemme profond dans l'enseignement des sciences dont le but est de former des têtes bien faites plutôt que des têtes bien pleines. Il faut le faire dès le plus jeune âge comme le disait Max Planck : il ne faut pas que nous cherchions à faire comprendre à nos contemporains ce qu'ils ont eu du mal à comprendre eux-mêmes : leurs enfants le comprendront tout naturellement parce qu'on le leur expliquera à l'école.

Le vrai dilemme, c'est celui de la recherche scientifique car l'exemple des Etats-Unis, où il y a une désaffection pour la science, est patent, bien qu'il y ait là les plus fortes dépenses mondiales pour la recherche scientifique

¹⁴ Président de l'Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences - Paris.

et les plus grands résultats. Mais on y déplore aussi d'une manière violente et amère la haute spécialisation et l'absence totale d'interdisciplinarité.

En Europe, nous ressentons ce problème et tentons de miser sur l'interdisciplinarité. Il y a, d'ailleurs, des sciences en mouvement qui sont, par nature, interdisciplinaires, comme la microphysique qui rejoint forcément la biologie moléculaire, et la physique fondamentale qui va vers la cosmologie. Des passerelles s'établissent aux niveaux différents où l'on examine la matière.

L'Histoire des sciences est une de celles qui peuvent être les plus attractives pour des jeunes gens. L'émotion esthétique que procure la connaissance d'une manière générale n'est pas nécessairement une qualité de la nature, mais elle est forcément une qualité de la construction humaine qu'il faut faire comprendre.

Max Giglione : Ne faut-il pas s'intéresser aux élèves des collèges qui sont encore réceptifs et où les enseignants sont le plus disponibles ?

Pierre Coulet : Je suis de votre avis, mais nous sommes obligés d'avoir une démarche progressive de l'Université vers les classes terminales et les secondes avant de se préoccuper du collègue.

J.-L. Romagnan : Notre problème est effectivement d'accueillir les élèves de classe terminale et de première. Mais on peut aussi s'appliquer à intéresser les enseignants des collèges qui feront le relais auprès de leurs élèves. Je ne suis pas sûr d'avoir le ton juste pour m'adresser directement à eux.

On peut s'intéresser aux stages que les élèves de 4^e et 5^e font dans les entreprises. Combien de ces élèves font des stages dans les laboratoires de recherche ? On devrait en avoir beaucoup.

Il faudrait aussi que les parents comme les enseignants puissent intervenir dans l'école. Aux Etats-Unis, il n'y a pas de barrière comme il y en a en France.

La Présidente : Si nous avons organisé ce colloque aujourd'hui, ce n'est pas un hasard. Nous voulions des vues croisées sur un même thème et avec des visions complémentaires.

Or, il y a peu de lieux où les chercheurs de disciplines ou même de villes différentes se rencontrent et échangent.

Nous ne voulons pas en rester là et souhaitons faire que la Science soit réellement en mouvement à Nice. Il faut mettre en place ce que nous allons appeler « **La Maison de la Science** ».

Celle-ci impliquera un dialogue permanent entre des disciplines différentes sur des thèmes que nous

définirons. Nous n'avons pas épuisé celui d'aujourd'hui !

Cette Maison ne doit pas être coupée de la culture car elle doit déboucher sur la Ville, les citoyens, les enfants de Nice.

**ACADÉMIE EUROPÉENNE INTERDISCIPLINAIRE DES
SCIENCES
NICE-CÔTE D'AZUR**

20, rue de France – NICE – 06000

MEMBRES

❖ **Pr. Jean AUBOUIN**

Professeur émérite des Universités - Géologie
Membre de l'Institut
Ancien Président de l'Académie des Sciences

❖ **Pr. Alain BERNARD**

Professeur des Universités - Immunologie
Université de Nice-Sophia Antipolis
Chef du service d'immunologie – INSERM

❖ **Pr. René BLANCHET**

Professeur des Universités - Géologie
Ancien Recteur de l'Académie de Paris

❖ **Sonia CHAKHOFF - Trésorière**

Secrétaire d'administration (Recherche – CNRS)

❖ **Pr. Pierre COULLET**

Professeur des Universités - Physique
Professeur à l'Institut Universitaire de France
Université de Nice-Sophia Antipolis

❖ **Patrice CROSSA-RAYNAUD – Secrétaire général**

Directeur de recherches INRA honoraire
Membre correspondant de l'Académie
d'Agriculture de France honoraire.

❖ **Pr. Guy DAR COURT**

Professeur émérite des Universités- Psychiatrie
Université de Nice-Sophia Antipolis

- ❖ **Pr. René DARS - Président**
Professeur émérite des Universités – Géologie
Université de Nice-Sophia Antipolis
Ancien Doyen de la Faculté des Sciences de Nice
- ❖ **Pr. Jean-Pierre DELMONT**
Professeur honoraire des Universités –
Hépatogastro-entérologie
Chef de service honoraire du CHU de Nice
Université de Nice-Sophia Antipolis
- ❖ **Emile GIRARD**
Médecin. Président du Renond (Renouveau des
Orgues Notre-Dame)
- ❖ **Thierry GONTIER**
Maître de conférence de philosophie.
Université de Nice-Sophia Antipolis
- ❖ **Jean-Paul GOUX**
Chirurgien – Chirurgie thoracique et vasculaire
Membre de l'Académie de Chirurgie
- ❖ **Yves IGNAZI**
Ingénieur conseil (gestion des ressources humaines
et des organisations)
Président du CNAM-PACA
- ❖ **Pr. Gérard IOOSS**
Professeur des Universités - Mathématiques
Professeur à l'Institut Universitaire de France
Membre correspondant de l'Académie des
Sciences
Université de Nice-Sophia Antipolis
- ❖ **Pr. Jean JAUBERT**
Directeur du Musée Océanographique de Monaco
Conseiller scientifique de la Fondation Cousteau
- ❖ **Pr. Michel LAZDUNSKI**
Professeur des Universités – Biochimie
Professeur à l'Institut Universitaire de France
Membre de l'Institut (Académie des Sciences)
Directeur de l'Institut de pharmacologie
moléculaire et cellulaire : CNRS

❖ **Pr. Jean-François MATTÉI**

Professeur des Universités - Philosophie
Professeur à l'Institut Universitaire de France
Université de Nice-Sophia Antipolis

❖ **Pr. Daniel NAHON**

Professeur Emérite des Universités – Géologie
Professeur à l'Institut Universitaire de France
Professeur à l'Université Paul Cézanne
(Aix-Marseille III)
Ancien Directeur de la Recherche au Ministère de
L'Education Nationale, de la Recherche et de la
Technologie

❖ **Maurice PAPO**

Directeur honoraire des études et
recherches IBM
Ingénieur conseil (informatique)

❖ **Alexandre SOSNO**

Sculpteur

❖ **Jacques WOLGENSINGER**

Industriel
Ecrivain
Président de l'association « Le Nénuphar »
pour la promotion du français.

**Académie Européenne Interdisciplinaire
des Sciences
Nice-Côte d'Azur**

Déjà paru dans la collection

- | | | |
|--|------|------|
| 1- De la cellule à l'homme : des morts programmées | | |
| PUF | 2002 | 10 € |
| 2- L'erreur | | |
| PUF | 2003 | 10 € |
| 3- Actualité de l'humanisme | | |
| PUF | 2004 | 10 € |
| 4- Science et jeunesse | | |
| PUF | 2004 | 10 € |

Imprimerie Pierotti - Nice

