

Pr Dr. R. Raynal

ELEMENTS D'HISTOIRE DES SCIENCES

A l'attention des professeurs du secondaire.

Pourquoi ce livre ?

L'enseignement des sciences subit des changements importants ces dernières années, ce qui génère de nombreuses interrogations chez les professeurs :

- que faut-il enseigner ? D'après les instructions officielles, il s'agit de s'adapter toujours plus au niveau des élèves, quitte à renoncer à toute ambition. L'accent mis sur les compétences, au détriment inévitable des notions et des savoirs, laisse entendre que l'on n'ambitionne plus que de stimuler des comportements, et non d'instruire des individus

- comment faut-il enseigner ? Sous l'influence des pseudosciences de l'éducation, l'approche constructiviste (« l'apprenant construisant ses savoirs et maîtrisant ses compétences transversales ») tend à s'imposer comme étant « la » voie royale de l'enseignement, au mépris de la liberté pédagogique des professeurs, dont la formation est axée sur ces méthodes, et dont la validation est soumise à leur stricte observance, quelle que soit leur efficacité réelle, qui reste toujours à démontrer et semble même infirmée (étude « follow through » - résultats de PISA).

- l'enseignement des sciences a t'il un avenir en France ? Notre pays se satisfait d'un enseignement scientifique des plus modestes, en importance comme en volume horaire. Si les mathématiques sont un instrument de sélection, les autres sciences sont, dans la réalité des classes , de peu d'importance. L'inculture scientifique est générale, et des mouvements plus ou moins clairement anti-scientifiques (*écologistes « profonds », faucheurs d'OGM, anti - ondes, antinucléaires, anti - nanotechnologies, anti-n etc...*) ont acquis une influence de plus en plus marquée dans la société politique, alors même que les bases scientifiques de leur activisme sont plus que fragiles.

De plus, l'enseignement des sciences, perçu comme « trop difficile » en comparaison des autres matières (pour lesquelles on peut plus facilement abaisser les exigences... voir l'état désastreux de l'enseignement du français) n'attire guère les élèves. L'absence de débouchés nationaux dans de nombreuses filières fondamentales, le manque ou l'absence de considération pour les formations de troisième cycle, la pauvreté et l'indigence intellectuelle de nos universités, la stérilisation du talent des meilleurs par les « grandes écoles » qui orientent les étudiants les plus doués pour les sciences vers des carrières administratives sans intérêt scientifique posent problème.

Que faire ? A son niveau, devant ses classes, chaque professeur de sciences essaye, j'en suis persuadé, de faire de son

mieux. En fonction de sa formation, de ses goûts et de ses élèves, il développe des méthodes variées pour enseigner. Plus ou moins efficaces, elles sont toutes légitimes. Toutefois, je suis persuadé de l'intérêt d'enseigner les sciences comme elles ont été élaborées, découvertes. Suivre comme fil directeur, non les lubies plus ou moins inspirées de quelque « spécialiste » pseudoscientifique autoproclamé, mais la réalité des laboratoires, des approches, des hommes et des femmes qui, dans un contexte particulier, ont bâti, modifié, fait évoluer l'édifice scientifique.

Pour cela, il était nécessaire de présenter l'histoire des sciences en y incluant des éléments exploitables en cour. Certes, les élèves apprécient « la petite histoire », mais il est également nécessaire de bien montrer que les sciences ne sont pas des vérités éternelles désincarnées à apprendre par coeur, mais le résultat d'une approche humaine, d'une quête historique, d'une interrogation collective sur le monde et ses éléments. J'ai donc signalé des expériences historiques faciles à reproduire en cours, que ce soit par les élèves ou par le professeur. Ce sera l'occasion de distinguer plusieurs types « d'expériences scolaires ».

Une histoire générale des sciences serait un objectif trop ambitieux pour mes moyens, et clairement inutile, car déjà réalisée par de bien meilleurs auteurs que moi : j'ai donc décidé de donner des « coups de projecteurs » sur certains éléments de cette histoire, d'une grande importance. A cette occasion, j'en profiterai pour

déboulonner quelques mythes et signaler quelques erreurs, qui, introduites au départ avec les meilleures intentions du monde, ont été par la suite recopiées de manuel en manuel sans une once d'esprit critique.

Je donnerai aussi accès aux versions traduites en français de quelques articles et textes fondamentaux de l'histoire des sciences. Ce sera, pour certains, la première fois qu'ils seront ainsi accessibles à un public non anglophone.

Il existe de nombreux traités d'histoire des sciences. Celui que vous avez sous les yeux présente, je l'espère, quelques caractéristiques nouvelles :

- il prend le pari d'utiliser un langage des plus accessibles, loin du jargon philosophicard que l'on peut souvent trouver dans des ouvrages certes profonds, mais où il est, de ce fait, bien facile de se noyer ! De même, j'ai choisi, autant que possible, de citer directement les textes de certains auteurs, et en particulier les philosophes « présocratiques » plutôt que leurs innombrables commentateurs.

- Autant que possible, des schémas seront utilisés pour résumer les différents propos ou illustrer les notions abordées.

- Il utilise les textes et documents originaux, parfois dans leur intégralité, plutôt que des citations ou des commentaires souvent recopiés, mais bien peu critiqués.

- il fait appel à une dose massive d'humour, parfois noir, car il n'est pas de sciences sans joie (comme le déclare si bien le « disciple » du Léonard de Turck et de Groot : « je sers la science et c'est ma joie », et nous autres, profs de sciences, nous sommes à la fois serviteurs et « serveurs » de sciences)
- accessoirement, il est entièrement libre et gratuit (et donc parfaitement adapté au niveau du traitement des professeurs de sciences français). Vous pouvez donc en extraire et en modifier des passages entiers, si vous n'oubliez pas de mentionner, tout de même, qui en est l'auteur original (votre serviteur - voir licence CC en début d'ouvrage).
- il contient nombre d'opinions tranchées et argumentées (du moins je l'espère), loin du consensus mou et du politiquement correct, loin des « accommodements raisonnables », contorsions diplomatiques et autres tours de souplesse dorsale, sur les rapports entre les Sciences, leur enseignement et la société. Ne voyez dans cette véhémence que le reflet de la passion de l'auteur pour son sujet. Colis piégés, détritits infects et chèques de soutien peuvent m'être adressés par mail.

Et maintenant, commençons par le commencement : il y a fort longtemps, sous d'autres cieux, *sous de calmes portiques que les soleils marins baignaient de mille feux...*

I

AUX SOURCES DU
«MIRACLE GREC» :
CHRONIQUE D'UNE LUTTE
ANNONCÉE

«Il sera un temps où nos descendants s'étonneront de notre ignorance sur des choses qui sont tellement évidentes».

Sénèque le jeune; an 34

«Nul n'entre ici s'il n'est géomètre»

Bien avant la Grèce antique, d'autres civilisations se sont interrogées sur la nature, le monde. Elles sont parvenues à des découvertes importantes, établissant, par exemple, les régularités du mouvement des astres, découvrant des techniques, accumulant des connaissances sur des sujets variés, mais, de la Mésopotamie à la Chine, cet ensemble de connaissance ne s'est pas structuré, n'a pas débouché sur l'édification d'une véritable science, et est resté sans grandes conséquences sur l'histoire des sciences. Comme l'affirme Geoffrey Lloyd; « quelle qu'ait pu être la contribution égyptienne et babylonienne, c'est seulement avec les Grecs que l'enquête se dote d'une méthode sur laquelle elle a réfléchi ». Cette enquête, cette recherche se prononce, en grec ancien « *historiê* ».

Notre histoire va donc commencer sur le soleil de la Grèce antique. Pourquoi là ? Tout simplement parce qu'à cette époque et à cet endroit, tout un ensemble de facteurs (nous y reviendrons brièvement) va converger pour permettre que s'édifie une nouvelle vision du monde.

Tout commence avec un ensemble de doutes sur les explications surnaturelles des phénomènes, par des doutes sur les dieux. Ces doutes s'accompagnent d'une critique partielle de la magie. Aux pratiques magiques sont opposés les faits observables. Cette opposition s'incarne particulièrement dans les domaines où ces pratiques sont en concurrence directe : tel a été le cas, par exemple, de la médecine antique. Toutefois, la science grecque ne se substitue pas à la pratique magique : elle s'y superpose. Cette coexistence est facilitée par le caractère confidentiel des

connaissances, qui sont généralement réservées à une élite. Cela n'empêche pas que l'on puisse trouver, en médecine, autant de textes clairs, faits pour être accessibles à tous les lettrés, que de textes volontairement codifiés de façon à n'être compréhensibles que par un public d'initiés .

Dés son début, la pratique scientifique va se structurer par rapport à deux grandes lignes de tension :

1) L'opposition au surnaturel, et, en fin de compte, au religieux.

Ce dernier propose une cosmogonie « clé en main », assortie d'une explication simple des phénomènes, valable une fois pour toutes. Sous ses divers oripeaux idéologiques, le divin est la cause des phénomènes. C'est là ce qui annonce une lutte constante, encore active, quoique parfois cachée, ou même, c'est pire, niée, entre Science et religion (nous y reviendrons). Toute l'histoire des sciences illustre cette distension progressive, cette séparation trop souvent violente entre les domaines accessibles à la raison et ceux revendiqués comme étant l'exclusivité du divin.

Les premiers scientifiques vont considérer que derrière l'apparence (« *phénomainon* » en grec) il y a non pas un arbitraire divin ou une habitude (voire un habitus) surnaturelle, mais une raison, un « *logos* » accessible à l'entendement humain. Ceci fut, est, et restera une révolution.

Ainsi, il existe, pour les scientifiques Grecs, une universalité de la nature, ainsi qu'une causalité : tout événement possède une cause « *naturelle* » : Heraclite (-535, -475), par exemple, recherchera la cause derrière l'apparence. La « *nature* » est ainsi nettement séparée de l'ordre divin, c'est une « *phusys* » où existent des

régularités, comme l'alternance immuable de la cause et de l'effet. Les événements sont explicables par les phénomènes et les processus issus de la Nature elle-même. Cette tendance à l'universel se heurte à celle à laquelle prétend aussi la croyance religieuse. Elle s'inscrit jusque dans les cartes géographiques : les cartes grecques sont celles du monde connu (essentiellement les rivages de la Méditerranée), et non plus celles du pays, avec sa capitale représentée en position centrale (comme la régression chrétienne l'imposera au moyen âge).

L'opposition avec la religion commence ici. Elle ne pourra pas disparaître. Pour la première fois, dans la Grèce antique, il s'est agi de démontrer qu'il était « *arbitraire et superflu de mettre les dieux en cause, et proposer un autre cadre explicatif* » (Lloyd, p. 69). Cette recherche était le début d'une lutte contre ce que J. Monod appelle la projection animiste : *la démarche par laquelle les hommes projettent sur le monde la nécessité d'un « sens », d'une « volonté structurante » qui leur fait imaginer des ressorts métaphysiques pour animer la scène de l'univers.*

Contrairement à l'arbitraire divin, l'idée d'un univers ordonné, d'un « *kosmos* » (un ordre), ou il existe des lois gouvernant les phénomènes, prend sa source dans l'expérience quotidienne d'une société régie par des lois régulières, mais aussi abstraites, impliquant le législateur lui-même. Ainsi, l'édification de civilisations, de sociétés régies par des lois a servi de guide et de modèle à la pratique scientifique : ce sont la logique, l'argumentation, dérivée du discours juridique, qui vont être à la manœuvre et guider le scientifique, bien plus que l'expérience, dont l'heure n'est pas encore venue.

Les scientifiques grecs participent d'une société où le débat public (« *agon* »), l'éloquence, la persuasion sont d'une grande importance. Il en est de même en science ou en médecine, car il

faut convaincre, persuader les clients, car l'opposition avec les pratiques magiques n'est pas seulement philosophique, elle est aussi économique : pour le malade, vaut-il mieux faire un sacrifice aux dieux ou bien faire confiance au médecin ? Comme l'écrit Hippocrate (-460, -370) dans « *De la maladie sacrée* », en parlant des prêtres : « *jetant donc la divinité comme un manteau et un prétexte qui abritassent leur impuissance à procurer un remède utile, ces gens, afin que leur ignorance en devienne pas manifeste, prétendirent que cette maladie était sacrée* » (Lloyd, p. 31). Un demi millénaire plus tard, cette concurrence est toujours aussi vive : au premier siècle, le médecin Galien (130, 200) critique fermement la pensée magique de certains de ses prédécesseurs, dont un certain Pamphile qui non seulement « *n'a ni vu ni goûté les plantes dont il discourt* », mais qui de plus « *fait confiance à tous les auteurs d'autrefois* » et agrmente l'usage de ses plantes médicinales de « *formules magiques à prononcer lors de la cueillette (...) d'amulettes et de mascottes qui n'ont rien à voir avec la pratique médicale et qui ne sont que phraséologies mensongères* ». Galien traite son estimé confrère de « *camelot qui ne mérite aucune confiance* »...

Dans la société grecque, il est donc bien nécessaire de convaincre un auditoire de sa valeur politique, si ce n'est scientifique. Il faut rendre compte et justifier ses préférences, démontrer sa supériorité. C'est ainsi qu'Aristote en arrivera à constituer la première théorie systématique du raisonnement par déduction. Par contre, le peu d'importance donné alors à l'expérience scientifique est lié à la seconde ligne de tension de l'histoire des sciences.

2) L'opposition entre les sens et la raison.

Ici aussi, tout commence. À qui se fier ? Le scientifique doit-il croire au témoignage de ses sens, ou à celui de son esprit ? Pourquoi les deux ne s'accorderaient-ils pas ? Comment penser la

variété du monde, révélée par les sens, en utilisant sa raison, alors que, dans le témoignage des sens, les illusions abondent ? En fait, la valorisation intense du raisonnement déductif va conduire à minimiser l'importance des informations accessibles par les sens : l'expérience sensorielle est ainsi dépréciée au profit de la déduction pure. Parménide (-500, -450) déclare ainsi : « *ne laisse pas l'habitude, née de l'expérience, t'obliger à promener, le long de ce chemin, ton œil inattentif, ton oreille bruissante ou ta langue. (...) juge par le logos.* »

Les autres Eléates (Zénon, Melissos...) partagent le même avis, la même prévention vis-à-vis du témoignage des sens, toujours vu comme inférieur à la connaissance tirée de l'abstraction : le raisonnement déductif est LA méthode de l'enquête philosophique, donc la base de ce qui sera la démarche de la recherche scientifique. Ce primat du raisonnement n'est pas nouveau, ni spécifiquement grec : des le second millénaire av JC, les observations babyloniennes étaient arrangées a posteriori pour correspondre aux théories en cours, le primat de la théorie s'exerçant déjà. Bien plus tard, cette attitude se retrouvera chez l'astronome Claude Ptolémée (90-168) : ses calculs sont effectués à partir d'un nombre minimal d'observations, il ne procédera à aucune vérification de ses conceptions et réalisera des arrondis lorsque ces derniers l'arrangeront, une attitude que d'aucuns pourraient trouver furieusement moderne...

Entre temps, un pilier de la philosophie va consacrer cette négligence envers le monde sensible : Platon (-427, -347), le tôlier de la philosophie pour des siècles, va bâtir l'importance de l'idée, de l'essence, le réel sensible n'étant qu'une illusion, une projection déformée et multiple d'un réel inaccessible aux sens et rendant donc l'expérience inutile... C'est ce doute, provenant de Socrate qui a réfléchi sur le problème de la perception de la réalité, sur la validité des sensations, qui va limiter le recours à

l'expérimentation : la démarche scientifique expérimentale est une création récente. Il ne faudrait toutefois pas croire, contrairement à une légende tenace, que les scientifiques grecs ne réalisèrent aucune expérience : c'est la valeur, la place de l'expérience et sa conception qui se révélait alors extraordinairement limitée à nos yeux.

Les expériences sont vues comme un moyen limité et ponctuel de répondre à un problème immédiat, sans qu'il soit possible d'en tirer des conclusions générales ou d'envisager, à cause d'elles, des problèmes nouveaux : il s'agit d'illustrer des théories, de mettre en difficulté celle des adversaires, mais pas de mettre à l'épreuve les siennes propres. L'exemple de la réalisation des dissections montre ce rapport limité à l'expérience : avant Aristote, la dissection n'est qu'un moyen de répondre à des problèmes spécifiques, et n'est jamais envisagée comme permettant des découvertes, ou comme fournissant des informations valables pouvant conduire à des problèmes nouveaux.

L'« inventeur » de l'expérimentation semble être Anaximène (-585, -525), qui pour étayer sa théorie liant le feu à la raréfaction de l'air, compare l'air sortant de la bouche en quantité importante ou peu importante, et souligne la différence de température perçue alors : beaucoup d'air crée une sensation de froid, peu de chaud, donc peu d'air = chaud = feu. Raisonement certes discutable à nos yeux, mais logique (« *selon le logos* ») à l'époque. C'est d'ailleurs pour nous un excellent exemple que la perception (chaud, froid) n'est pas la réalité. C'est cette différence entre ce qui est et ce que nous pouvons en savoir qui a conduit Parménide (vers - 500) à justifier le déni des perceptions. Premier à raisonner dans l'abstrait, pour lui, la réalité n'est pas l'apparence, qui en fait est une tromperie. Seul le raisonnement (le fameux « logos », discours rigoureux sur les rapports entre les choses) conduit à la réalité.

Erasistrate (cité par Galien) décrit lui même la démarche scientifique de son temps : « *Ceux qui n'ont aucune habitude de l'enquête sont aveuglés et étourdis dès leurs premiers travaux, et ils abandonnent immédiatement la recherche par fatigue de l'esprit et par une impuissance qui n'est pas moindre que celle des coureurs participant à des courses sans y être entraînés. Mais l'Homme habitué à la recherche a recours à toutes les astuces possibles lorsqu'il mène son enquête mentale, il se tourne dans toutes les directions et, loin d'abandonner son enquête au bout d'une journée, il la continue pendant toute sa vie. Il examine les unes après les autres toutes les idées se rapportant à l'objet de l'enquête, et persévère jusqu'à ce qu'il ait atteint son but* ».

On remarque bien qu'il s'agit là d'une démarche, d'une enquête mentale, d'une activité purement spirituelle. On ne parle nulle part d'expérience, et pour cause : il n'existe alors aucun mot pour la désigner clairement, et elle n'est donc pas un juge pour les pères des sciences qui se défient des sensations. Cela se comprend si l'on songe à l'une des premières « vraies » expériences scientifiques, le suivi de la formation d'un embryon de poussin, pratiquée en ouvrant chaque jour un nouvel œuf de poule fécondé, d'âge ainsi croissant. Cette expérience est d'une grande importance démonstrative, car elle a été mainte fois répétée, au cours de l'histoire, depuis Hippocrate jusqu'à W. Harvey, et chaque observateur y a vu, pendant des siècles, des choses différentes !

Toutefois, l'ensemble des scientifiques grecs, disséminés sur plus d'un demi-millénaire, ressent bien cette tension entre le besoin expérimental et la retenue liée au peu de confiance à accorder aux sens. Malgré tout, si un problème pratique le réclame, des expériences complexes et longues peuvent être menées : les astronomes Méton et Euctemon (vers - 430) ont ainsi réalisé des observations suivies sur une longue période pour résoudre des

problèmes liés au calendrier, afin de déterminer la date des solstices.

Pythagore (- 580, - 495), défiante au sens propre les nombres et leurs rapports, n'en assure pas moins qu'« *il faut s'occuper des hommes en commençant par la sensation* ». (Jamblique). Aristote (- 384, -322) et Galien (129, 201) vont franchir un pas de plus : ils vont bien signaler les travers de la pratique scientifique de leurs concitoyens, mais, malgré cela, ils vont eux même réaliser les mêmes « erreurs », tant l'habitude est ancrée de ne pas valoriser le témoignage des sens. Écoutons-les.

Aristote : faites ce que je dis, pas ce que je fais...

Écoutons Aristote s'exprimer, au sujet des abeilles, avec une modernité sidérante, il y a 24 siècles : (*en anim III, x*) « *les faits ne sont pas connus d'une manière satisfaisante, et s'ils le deviennent un jour, il faudra se fier aux observations plus qu'aux raisonnements, et aux raisonnements dans la mesure où leurs conclusions s'accorderont avec les faits observés.* »

Il liste les erreurs conceptuelles des auteurs grecs, ce qui ne l'empêche pas de les reproduire lui même allègrement sans en avoir conscience :

- ne pas prendre des faits connus comme point de départ de leurs recherches,
- généraliser à partir d'un petit nombre de cas,
- tirer des conclusions hâtives basées sur des données insuffisantes,
- deviner les résultats d'une expérience sans la réaliser,
- prévoir sans vérifier la justesse des prévisions.

Pour Aristote, le réel n'est pas une tromperie, et le témoignage des sens, loin d'être négligé, doit être contrôlé, corrigé

par la raison, le logos. Il s'oppose donc à l'idéalisme de Platon, et va (bien entendu) se voir accusé d'impiété.

Bien que certaines des conceptions et observations d'Aristote vont régner sur le monde occidental pendant plus d'un millénaire, en ce qui concerne le statut de la réalité c'est malheureusement Platon qui emporte le match, et ce regard critique sur la réalité ne resurgira qu'au 16e siècle, où la nécessité de voir la raison corriger le témoignage des sens a été exprimée de façon éblouissante par La Fontaine dans une fable (un animal dans la lune) que de nombreux écoliers ont apprise (du temps où ils apprenaient encore par cœur, *horresco referens*, des textes), et bien peu ont compris:

Pendant qu'un Philosophe assure,

Que toujours par leurs sens les hommes sont dupés, (C'est Platon)

Un autre Philosophe jure, (Aristote)

Qu'ils ne nous ont jamais trompés.

Tous les deux ont raison ; et la Philosophie

Dit vrai, quand elle dit que les sens tromperont

Tant que sur leur rapport les hommes jugeront ;

Mais aussi si l'on rectifie

L'image de l'objet sur son éloignement,

Sur le milieu qui l'environne,

Sur l'organe, et sur l'instrument,

Les sens ne tromperont personne.

La nature ordonna ces choses sagement :

J'en dirai quelque jour les raisons amplement.

*J'aperçois le Soleil ; quelle en est la figure ?
Ici-bas ce grand corps n'a que trois pieds de tour :
Mais si je le voyais là-haut dans son séjour,
Que serait-ce à mes yeux que l'oeil de la nature ?
Sa distance me fait juger de sa grandeur ;
Sur l'angle et les côtés ma main la détermine ;
L'ignorant le croit plat, j'épaissis sa rondeur ;
Je le rends immobile, et la terre chemine . (contre l'apparence)
Bref je démens mes yeux en toute sa machine.
Ce sens ne me nuit point par son illusion.
Mon âme en toute occasion
Développe le vrai caché sous l'apparence. (Héraclite, lève toi!)
Je ne suis point d'intelligence
Avecque mes regards peut-être un peu trop prompts,
Ni mon oreille lente à m'apporter les sons.
Quand l'eau courbe un bâton, ma raison le redresse,
La raison décide en maîtresse. (le logos corrige le réel)*

La « Galénique » : Claude Galien, père d'un intégrisme médical malgré lui.

Même s'il ne l'applique pas toujours, ressemblant ainsi à nombre de ses prédécesseurs, Claude Galien développe un doute méthodique : il affirme *“ne croire aucun de ceux qui déclarent n'importe quoi avant d'avoir moi-même examiné les faits dans la mesure où j'ai pu le faire”*, afin de *“trouver ce qui est en accord avec es faits réels et ce qui ne l'est pas, et ensuite garder l'un et rejeter l'autre”*. Toutefois, dans la réalité, il continue de déduire « a l'aveugle » en se basant davantage sur l'idéologie que sur les faits : ainsi, comme il constate qu'il existe une communication entre veine et artère, et comme il ne la voit pas, il infère l'existence d'une communication, au moyen de pores, entre les ventricules cardiaques, dont pourtant il reconnaît *“qu'il n'est pas possible de les observer réellement”*, ce qu'il justifie par leur petitesse et par le fait que sur l'animal mort, elles se contacteraient et ne seraient alors plus visibles.

Galien réalise des expériences : il remarque que, contrairement aux affirmations du stoïcien Chrysoppos de Cnide, la voix ne peut provenir du cœur, car il a connaissance qu'un chirurgien ayant accidentellement sectionné les nerfs reliant le cerveau au larynx, son malade était devenu muet. Galien, en scientifique authentique, réédite l'opération sur un porc, et obtient le même résultat. De la même façon, au moyen de diverses incisions, il montrera que la paralysie est provoquée par des lésions de la moelle épinière.

Galien réalise également, dans la tradition grecque, des expériences dont le but principal est de confondre ses contradicteurs, avec une logique à laquelle l'épistémologue le plus sourcilieux ne peut trouver rien à redire : voyons comment il ruine les opinions de ses contradicteurs sur le rôle des reins.

Les disciples d'Asclépiade soutenaient que les reins ne jouaient aucun rôle dans la fabrication de l'urine. Voici comment Galien réalise des expériences irréfutables pour leur démontrer leur erreur (et, accessoirement, qu'il a raison, et qu'ils ne sont que de sinistres imbéciles - *de fac. nat. I, xiii, 36*) :

« Nous nous trouvions dans l'obligation de montrer, sur un animal vivant, que l'urine s'écoule de façon bien visible, venant des reins, par les uretères, et entre dans la vessie, même si nous n'avions que très peu d'espoir que cela mette un terme à leurs jacasseries (celles des disciples d'Asclépiade).

La manière de le montrer est la suivante : il faut couper le péritoine face aux uretères et ligaturer les uretères par de la ficelle. Ensuite, on fait courir l'animal après l'avoir refermé et entouré de bandages (et aucune trace d'urine ne sera alors évacuée). Au bout de quelque temps, on retire le bandage extérieur et on montre que la vessie est vide et que les uretères sont remplis et gonflés, et même sur le point d'éclater. On enlève alors les ligatures de ficelle et il est évident que la vessie se remplit d'urine. »

Comme les disciples d'Asclépiade objectaient qu'en comprimant la vessie d'un animal mort, son contenu ne ressortait pas par l'emplacement des uretères (et que donc ces derniers ne pouvaient y amener l'urine), Galien poursuit en montrant l'existence d'un « sens de circulation » de l'urine :

« Après avoir fini cette démonstration, il faut, avant que l'animal n'évacue l'urine, ligaturer le pénis avec une ficelle, puis comprimer la vessie de toutes parts : quoi que l'on fasse, nulle urine ne refoulera vers les reins par les uretères. Il est donc évident que, non seulement chez un animal mort, mais aussi chez un animal vivant encore, les uretères n'ont aucune possibilité de reconduire l'urine quittant la vessie. »

Galien poursuit sa démonstration par de nouvelles expériences, utilisant ici l'un des uretères comme témoin, ce qui est peu fréquent dans l'approche expérimentale antique :

« Après avoir fait ces observations, on libère le pénis de l'animal et on laisse évacuer l'urine. Ensuite, on religature l'un des uretères et l'on permet à l'autre d'acheminer l'urine jusqu'à la vessie. Puis, après avoir attendu quelque temps, on constate que l'uretère ligaturé est manifestement gonflé et rempli du côté le plus proche du rein tandis que l'autre uretère, qui est resté libre de toute ligature, est de nouveau plat et mou, mais a rempli la vessie. Il faut ensuite sectionner l'uretère plein, et l'urine en jaillit comme le sang lorsqu'un vaisseau sanguin est coupé. (...) Quiconque aura l'envie d'essayer cela sur un animal et d'en faire la recherche condamnera vigoureusement, je crois, l'effronterie d'Asclépiade ».

Il y a, dans ce compte rendu d'expérience vieux de 20 siècles, de quoi faire un joli exercice pour des élèves de cinquième. L'encadré page suivante montre comment cette source réelle peut être utilisée dans le cadre scolaire.

Galien, malgré sa rigueur et ses découvertes, n'est pas, lui aussi, sans commettre des erreurs : on notera la généralisation abusive de ses observations anatomiques, réalisées sur différents animaux, à l'être humain, sans vérification possible.

Toutefois, alors même que Galien préconisait de rechercher la vérité en restant indépendant de ses prédécesseurs (lui-même avait corrigé son « maître », Aristote, sur plusieurs points), son expertise a été si grande que personne n'a osé le contredire pendant un millénaire, ses découvertes tout comme ses erreurs s'étant figées en dogme... Ce qui signifie en fait que pendant mille ans aucun biologiste n'a approché son niveau de compétence et de connaissances !

Constitution d'un exercice

Le but de cet exercice est de vérifier les connaissances acquises par les élèves, et pour cela de voir comment ils les appliquent dans une situation nouvelle pour eux. On pourrait tout aussi bien l'utiliser pour faire découvrir aux élèves le rôle des reins, les questions seraient alors différentes.

Tout d'abord, il convient de simplifier l'énoncé de Galien pour que le vocabulaire reste accessible, sans bêtifier. On peut le faire ainsi:

Vers l'an 160, le médecin Grec Claude Galien veut montrer que les reins jouent un rôle dans la fabrication de l'urine. (l'auteur est présenté, l'époque mentionnée, le but recherché clarifié). Il décrit ainsi ses expériences:

«Il faut (...) ligaturer les uretères par de la ficelle. Ensuite, on fait courir l'animal après l'avoir refermé et entouré de bandages (et aucune trace d'urine ne sera alors évacuée). Au bout de quelque temps, on retire le bandage extérieur et on montre que la vessie est vide et que les uretères sont remplis et gonflés, et même sur le point d'éclater. On enlève alors les ligatures de ficelle et il est évident que la vessie se remplit d'urine.»

1 - Situer sur un schéma titré et légendé les reins, les uretères et la vessie (*autant vérifier que les élèves ont compris le décors, et les relations entre ces organes*).

2 - Que peut-on conclure de l'absence d'évacuation d'urine par le chien ligaturé ? (*là, on attend au moins l'idée qu'il y a un rapport entre la sortie de l'urine et les uretères*).

3 - En utilisant les résultats de l'expérience de Galien, tracer sur votre schéma le sens du parcours de l'urine. Expliquez votre raisonnement.

4 - Galien poursuit ses expériences: *« Ensuite, on ligature de nouveau l'un des uretères et l'on permet à l'autre d'acheminer l'urine jusqu'à la vessie. Puis, après avoir attendu quelque temps, on constate que l'uretère ligaturé est manifestement gonflé et rempli du côté le plus proche du rein tandis que l'autre uretère, qui est resté libre de toute ligature, est de nouveau plat et mou, mais a rempli la vessie. Il faut ensuite sectionner l'uretère plein, et l'urine en jaillit.*

- a) Que montre cette expérience ? (*Que l'urine vient bien du rein, et est transportées par les uretères jusqu'à la vessie: on confirme et étend la précédente...*)
- b) Quel avantage y a t'il à laisser intact un uretère ? Qu'est ce que cela permet ? (*l'avantage, c'est de permet de voir l'uretère fonctionner normalement, bien entendu, et cela permet de les comparer. Une gratification pour l'élève qui vous parlera d'expérience témoin!*)
- c) Que montre la section de l'uretère ? (*Au minimum on attend le sens de déplacement de l'urine confirmé, au mieux l'idée qu'il y aurait une pression, donc une fabrication continue d'urine...*)

Des ombres sur les sciences

«Aucun savant ne peut bâtir l'édifice entier de la science à lui seul, il faut que chaque contribution se conserve afin que d'autres, ailleurs ou plus tard puisse continuer la tâche entamée. L'extinction de l'algèbre supérieure chinoise au XIV^e siècle, montre ce qui arrive lorsqu'une civilisation perd ses courroies de transmission du savoir.»

D. Cosandey

S'il faut un premier exemple de l'obscurantisme religieux qui va assombrir le monde occidental, il est donné, à l'époque même où enseignait Galien, par Tertulien, entre 155 et 220. Ce sinistre « fondateur » de l'obscurantisme chrétien (pléonasme), lui-même très instruit, parle clairement : « *Athènes (la science) et Jérusalem (la foi), qu'ont-elles à faire ensemble ?* » Et il ne s'agit pas là d'une pusillanime « séparation des magistères », bien au contraire : on parle ici d'**un rapport de subordination**, voire d'un rejet pour incompetence. Les faits ? La réalité ? Aucune importance ! ce qui compte, c'est la foi : « *credibile est quia ineptum* » (c'est crédible parce qu'inepte, ou, dit de façon plus directe « plus c'est gros, plus ça passe »). Ce Fanatique, avec « saint » Augustin, va contribuer avec joie à stopper le progrès des sciences : on ne peut, ni ne doit, s'occuper d'étudier le monde sensible, car il est création divine, parachevée et parfaitement connue : tout est dans la bible.

En ce qui concerne plus spécifiquement la biologie, tout ce qui a trait à la vie et à la mort est écrit : Augustin ose dire que chercher au-delà est non seulement inutile, mais dangereux. Dommage que nos modernes théoriciens de la « séparation des magistères » aient la mémoire courte, et la vision brouillée !

« St » Basile persiste : tout étant créé à la perfection, tout changement est illogique, inutile et va à l'encontre de la religion... *Credo quia absurdum...* (je crois précisément parce que c'est absurde)... Encore une marque de l'irréductible antagonisme entre le credo et la raison.

Aurelios Augustinus (st augustin 350-430) est le digne élève de « St » Ambroise (celui-ci ayant clairement déclaré : « *on entre au royaume des cieux par la simplicité et la croyance, non par des argumentations sensées* »). Pour lui, la croyance est le monde : « *credo ut intelliam* » (je crois pour comprendre). Les textes bibliques, comme la genèse, sont la réalité. La genèse **EST** le récit véridique et indépassable de la création du monde, la pensée abstraite, coupée de la matière et du monde, est la seule référence, les sens sont tromperie et illusion (diablerie, d'où le sens ambigu, encore, du mot « sensuel »...)

Cette défiance envers le monde sensible est clairement exprimée : Augustin décrit bien que le goût pour la recherche est « corrompu et étrange » si cette dernière s'appuie sur le témoignage des sens. Ici aussi, on retrouve la haine du corps, de la matière, propre à l'idéologie chrétienne, aujourd'hui comme hier : « *je ne sais pas combien de temps va durer ce que je perçois avec mes organes des sens, comme ce paysage, ou ce firmament, et les objets que j'y reconnais d'une façon ou d'une autre; mis sept plus trois font dix, non seulement maintenant, mais pour toujours.* » Il ne s'agit pas de magnifier la supériorité des mathématiques sur les autres types de raisonnement : il s'agit de montrer que seule la coupure du monde sensible conduit à la vérité. N'ouvrez donc pas les yeux pour

regarder et observer : c'est Augustinus qui réclame que les yeux soient fermés pour priés : regarder est un obstacle à l'illumination intérieure qui ne peut provenir que de la croyance.

Avec Augustinus et ses séides, l'attitude de l'église envers les sciences est claire : c'est « eyes wide shut » !

Il faudra attendre Adélarde de Bath, vers 1100, pour que la primauté de la raison sur certains textes sacrés puisse être envisagée, mais encore sous l'angle platonicien, avec mise en doute systématique du témoignage des organes des sens. En effet, tout comme Aristote, après une lutte farouche, deviendra tout soudain l'ami de la physique chrétienne (qui se base toujours sur lui, de nos jours, pour le dogme de la transsubstantiation), Platon vole au secours de la théologie. Certaines de ses conceptions, exposées dans le Timée, seront reprises par les « pères » de l'église catholique, toujours révéérés et encensés, pour engager la mise à mort de la raison. On est atterré des régressions scientifiques augustiniennes : les antipodes, par exemple, n'existent pas, car l'équateur est infranchissable à cause de la chaleur. Comme de par ce fait on ne peut convertir les hypothétiques antipodiens, ces derniers n'existent pas. Fermez le ban !

Expérience et raisonnement

La démarche expérimentale existait bien, et était pratiquée avec rigueur, dans l'antiquité, mais elle ne constituait qu'un complément, un accessoire de la logique déductive qui prévalait. Or, les deux éléments sont indispensables pour fonder l'aventure scientifique. Comme le notait A. Einstein : « *le développement de la science occidentale à eu pour base deux grandes réalisations : l'invention d'un système logico formel par les philosophes Grecs et la découverte qu'il est possible de découvrir des relations causales par une expérience systématique.* »

Straton de Lampsaque, successeur de Théophraste (qui avait découvert la sexualité végétale et noté l'influence du milieu sur leur emplacement) à la direction de lycée (vers 280) a eu beau recommander que des études expérimentales soient effectuées sur les végétaux, personne ne se donna la peine de les réaliser : le témoignage des sens, condition de l'expérience, n'était pas reconnu comme étant assez fiable face au raisonnement déductif : les sens ne se montraient-ils pas incapables de montrer l'existence des pores qui devaient exister (disait le raisonnement) entre les parties droite et gauche du cœur, ou les trous qui devaient exister dans les nerfs, ces derniers étant des tuyaux conduisant un « air » subtil, un « *pneuma* », dans le corps ? Si les sens ne les montraient pas, c'est que les sens mentaient, car le raisonnement ne pouvait se tromper.

Le problème du statut du témoignage des sens sera souligné, plus de mille ans plus tard, par Galilée lui-même : dans le *Sidereus nuncius*, il affirme « *chacun peut se rendre compte, avec la certitude des sens, que la Lune est dotée d'une surface non point lisse et polie, mais faite d'aspérités...* » (Koyré, 118). Quelques lignes plus bas, Galilée souligne qu'en ce qui concerne la structure de la Voie lactée, ses observations à la lunette astronomique « *en ont rendu l'essence manifeste, non seulement aux sens, mais à l'intellect* ». Ici aussi nous retrouvons la Fontaine, ou les sens, corrigés par la raison, conduisent à la vérité du monde. Cette correction n'existait pas, pour les pères Grecs de la science, car le témoignage des sens devait être asservi aux raisonnements logiques.

Quelles étaient donc les spécificités de la science grecque antique ? Nous en dégageons trois, qui font toujours partie du monde scientifique :

- La **démonstration**, en mathématique et en logique
- La **modélisation**, si bien illustrée en astronomie par les travaux de Ptolémée
- **L'affrontement contre la pensée magique**, particulièrement visible en médecine, et qui préfigure la lutte inévitable (et toujours actuelle) entre la Science et les religions en tant qu'explications du monde. Dès l'école d'Hippocrate, l'objectivité se développait en cherchant à rejeter magie et superstition.

En caricaturant, Aristote, pour la physique, et Galien pour la biologie ont permis un passage progressif de la pure déduction à l'induction : sous leur influence, les faits sont désormais pris en compte, même partiellement, même imparfaitement. L'expérience, toutefois, n'est jamais un moyen d'étudier la cause des phénomènes : elle se limite à un rôle accessoire d'illustration, de vérification, de confrontation à une doctrine adverse. Comme le dit Lloyd : « *une fois que la théorie a reçu quelque renfort de l'expérience, la recherche s'arrête. Dit autrement : tous les procédés utilisés ont en commun le fait que la justification rationnelle du test n'est pas soumise à l'examen, et qu'ils visent non pas à étudier les causes, mais à résoudre des problèmes particuliers* ». À l'appui de cette thèse, précisons qu'il faudra attendre le 18^e siècle pour que soit défini précisément le terme « *experimentium* », pourtant souvent utilisé depuis l'Antiquité.

En effet, au lieu de s'opposer sur les lois de la cité, les Grecs s'opposent sur les lois du monde : la science naissante est le lieu de débats de type judiciaire. Une fois l'opposant vaincu, l'expérience devient inutile, et aller plus loin ne sert à rien. Triompher de son contradicteur est une fin en soi, qui se substitue à la recherche expérimentale, et n'est donc pas un vecteur majeur de progrès. La seule observation aurait-elle pu remédier au manque d'importance de l'expérimentation ?

L'observation ne suffit malheureusement pas : reprenons l'exemple du développement de l'œuf de poule, un sujet que de nombreux auteurs ont étudié, car le processus est mystérieux, passionnant, le matériel facile à se procurer et relativement simple à étudier (il suffit, dans le plus simple des cas, à partir d'un ensemble d'œufs fécondés, d'en ouvrir un à intervalle régulier pour observer dans quel état se trouve l'embryon). On constate qu'à travers les siècles, personne n'a vu la même chose dans l'œuf de poule ! Parfois même, ils y ont discerné des événements opposés, comme l'ont fait Aristote, décrivant bien les phénomènes, et Fabrici, pourtant un observateur de talent, mais à l'entendement obscurci par ses idées préconçues.

Avec l'observation, on risque fort de ne voir que ce que l'on désire observer, consciemment ou non. Intervenir sur l'objet d'étude est primordial, c'est le mérite d'une vraie expérimentation sur le réel. Car il est en effet extrêmement facile de « tricher », consciemment ou non, avec la réalité observée : même loin de la Grèce, en Chine, les éclipses, vues comme le signe d'un mauvais gouvernement, ne sont pas consignées si l'empereur est apprécié (ou craint...). L'existence officielle (et historique) de ces éclipses dépend donc de facteurs... politiques. De même, bien plus tard, la supernova de 1054 ne sera pas vue (ou du moins jamais notée) en occident, où les cieux se devaient de rester immuables.

La science grecque antique possède aussi une autre caractéristique qui va nous permettre de contribuer à répondre à une question que l'on ne peut éviter : pourquoi eux ? Pourquoi la Science est-elle née et surtout a-t-elle prospéré dans cette partie du monde ?

Il nous faut alors réaliser que les scientifiques grecs voyagent sur la Méditerranée, d'îles en côtes. Leur science, qui va devenir LA Science, est une science « littorale », une science du voyage, et ce fait n'est pas anodin.

Pourquoi la Grèce ?

Thalassa ! Thalassa !

Il y eut de nombreux peuples de marins, mais le monde grec de l'antiquité présentait plusieurs particularités, que D. Cosandey a bien mises en relief dans son volumineux ouvrage.

Pour la première fois, on y a trouvé réunis:

- une division politique relativement stable en cités états se faisant concurrence, et dotées d'institutions politiques variées.
- Un essor économique certain, nécessitant des voyages, et donc la nécessité de mesures pour établir les routes maritimes, construire les navires, bref se représenter ce qui n'est pas immédiatement accessible. Et, comme le dit M. Serres, « *mesurer l'inaccessible consiste à le reproduire* », ce qui conduit, par exemple, au développement de la géométrie.

Les deux éléments précédents sont reliés à une géographie particulière, liés à un littoral découpé et à de nombreuses îles, favorisant à la fois le commerce, les déplacements par voie maritime et un relatif isolement politique permettant une certaine stabilité et générant une concurrence entre cités. Cette division politique « stable » et l'essor économique fondé sur une

« thalassographie articulée » (une forte interpénétration des côtes et des rivages) sont les éléments qui assureraient le boom scientifique et technique.

Pline lui-même le faisait remarquer: « *les Grecs ont effectué bien plus de travaux scientifiques de qualité dans leur pays secoué par des discordes intérieures que les romains, dans leur empire paisible où la science a décliné sous le règne de l'utile et du profit* ».

Afin d'illustrer à la fois la pertinence de cette approche et les dangers qui ont toujours pesé (et pèsent encore) sur l'activité scientifique, il est utile d'observer comment l'activité scientifique exceptionnelle de la Chine ancienne a « brutalement » avorté sans donner lieu à une « renaissance asiatique ».

Le contre-exemple chinois

Alors même que s'élevaient, en Grèce, les blanches colonnes symbolisant les fondements de notre civilisation, un édifice intellectuel tout aussi remarquable était en train de s'édifier à quelques milliers de km vers l'orient, dans l'est de la Chine actuelle.

L'antiquité européenne correspond en Chine à une période de l'histoire subdivisée en "*printemps et automne*" et en "*royaumes combattants*", périodes pendant lesquelles plusieurs royaumes indépendants se livraient à des guerres fréquentes, et qui ont été extrêmement fécondes, tant sur le plan philosophique que scientifique.

De nombreuses écoles philosophiques (d'où leur nom « *les cent écoles* ») se développent, et des philosophes comme Confucius, le plus connu, mais aussi et surtout Mo Tseu (aussi orthographié Mozi), rédigent leurs œuvres. Confucius deviendra le philosophe

officiel de l'empire, mais son enseignement n'est que fort peu enclin à l'exploration scientifique. Ce n'est pas le cas du mohisme, doctrine de Mo Tseu, qui lui est contemporaine et qui s'est révélé scientifiquement bien plus féconde.

La philosophie Mohiste étudie et catégorise les diverses formes d'argumentation, valorisant la précision et la rigueur du discours (rappelons que le fameux logos grec, c'est aussi le « discours rigoureux ») jetant les bases d'une étude du raisonnement scientifique qui, hélas, ne sera jamais entreprise (*Weixwei Guo*).

Les disciples de Mozi envisagent ainsi la mobilité de la Terre, la décomposition de la matière en petits éléments insécables et enseignent que tout mouvement est causé par une force. La circulation du sang, et la transformation des espèces sont, en biologie, des opinions alors courantes. L'avance prise alors sur le monde occidental est de près de dix siècles voire plus (*ou, plus exactement, on devrait plutôt dire que le retard occidental sur les royaumes Chinois sera de 1000 ans...*).

Au niveau technique, l'étude de l'irrigation, des voies navigables, est mise à l'honneur. Avec 11 siècles d'avance sur l'Europe (*ou plutôt, l'Europe, avec 11 siècles de retard...*) les chevaux reçoivent un harnais de poitrail. Des navires de haute mer sont construits, la boussole est connue, même si elle n'est pas encore utilisée pour la navigation, l'arbalète et le trébuchet sont d'un usage courant.

Cette effervescence intellectuelle ne va toutefois pas survivre au Premier Empire, à la première unification de la Chine. En effet, les idées de Mozi étaient soutenues par une organisation militante puissante, et elles avaient alors un rayonnement supérieur, en

particulier chez les commerçants et les artisans, a celui des conceptions aristocratiques de Confucius. L'organisation survécut à la mort de Mozi, mais son importance et sa discipline quasi militaire signèrent son arrêt de mort: le nouveau gouvernement impérial ne pouvait tolérer une organisation potentiellement dangereuse : le support populaire du Mohisme fut réduit par la répression impériale exercée à l'encontre du commerce, de l'artisanat et de la petite paysannerie; et cette école de pensée va s'étioler puis disparaître vers - 200, en parti aussi parce qu'un de ses objectifs, la fin des guerres incessantes entre les royaumes rivaux, est atteint par l'unification du pays. Mais à quel prix ! En - 213, l'empereur fait brûler la majorité des livres (prévoyant, il épargne du feu les traités de médecine...) et impose la philosophie de Confucius .

La physique Mohiste, avec ses atomes et ses forces, s'éteint. Peu de choses subsistent des connaissances du passé, en particulier au niveau mathématique. Cette lente dégradation ne se produit pas sans résurgences d'une activité scientifique brillante. Ainsi, vers - 100, l'origine biologique des fossiles est envisagée, ce qui ne sera le cas en Europe que... 15 siècles plus tard; et en 180 environ, le médecin Hua Tao réalise des interventions chirurgicales abdominales en utilisant un anesthésiant de son invention.

Toutefois, contre la tendance générale à l'appauvrissement intellectuel, un scientifique exceptionnel va illuminer cette époque de marasme intellectuel. Il s'agit de [Zhang Heng](#) (78-139). Ce dernier, homme de lettres et de sciences d'une exceptionnelle fécondité et d'un grand talent, fut à l'origine de progrès notables dans de nombreux domaines, de l'astronomie à la géologie en passant par les mathématiques. On lui doit, entre autres, la construction du premier sismomètre. C'est à son époque, avec

cette fois quelques siècles de retard sur Héraclide et Pline, que l'idée que la Lune est à l'origine des marées se répand.

On pourrait définir Léonard de Vinci comme le Zhang Heng Européen, si Léonard avait été auteur plutôt que peintre, et avait rayonné 13 siècles plus tôt...

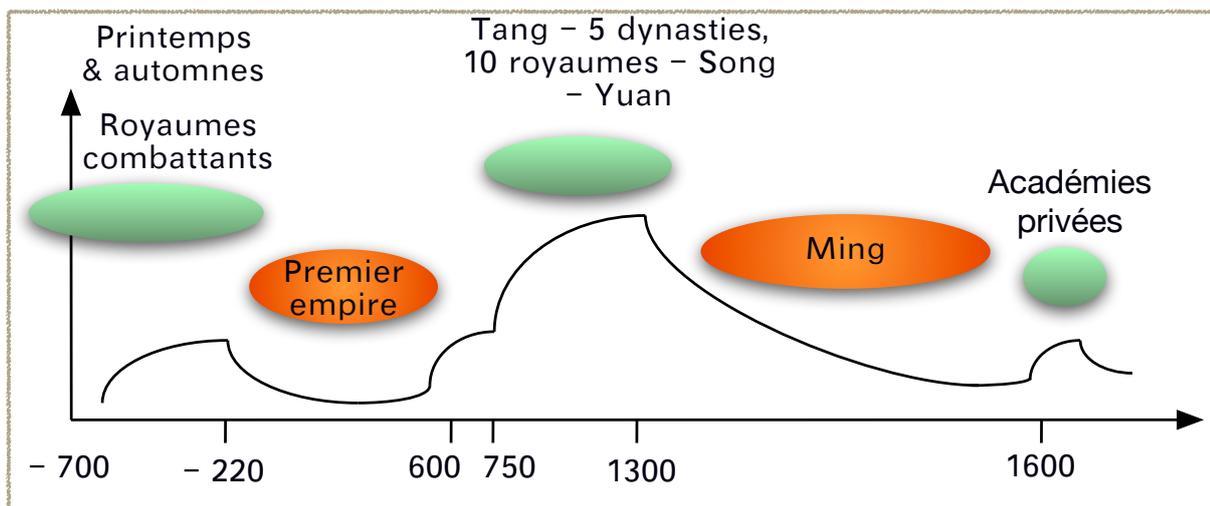
Au début du moyen âge européen, une nouvelle période de division politique du pays va de nouveau créer les conditions propices à une reprise de l'activité scientifique, sur le fond philosophique de l'essor du bouddhisme: la méthode expérimentale est théorisée vers 1050 par Cheng Ming Dao et Cheng Yi Zen, alors que depuis un siècle sont connues les techniques aussi avancées que les lentilles optiques et leurs distorsions, la poudre à canon, la propulsion marine par roue à aubes ou le papier monnaie. À la même époque, Bi Sheng inventera l'imprimerie.

Plusieurs siècles auparavant; la découverte et l'identification de pins fossilisés, puis, vers l'an 600, de poissons fossiles permet au 11e et 12e siècle à des scientifiques comme Shen Gua et Zu Xhi non seulement d'identifier clairement l'origine biologique des fossiles, mais aussi de cheminer vers l'idée de l'évolution des organismes, ce qui est intellectuellement facilité par la philosophie bouddhiste.

Malgré son avance technique et scientifique, la civilisation chinoise voit une nouvelle fois son essor scientifique coupé par une nouvelle unification du pays, dont l'économie se dégrade. C'est l'arriération Ming : un état sans rival identifié se désintéresse du monde extérieur, et s'attache principalement à se perpétuer en faisant la chasse aux innovations perçues comme dangereuses, se limitant ainsi à un utilitarisme étroit.

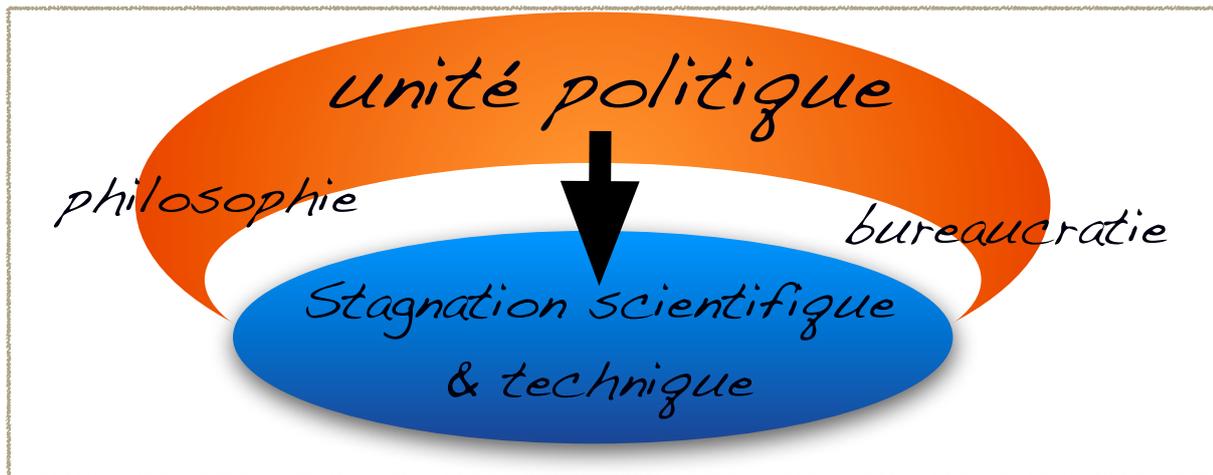
Ainsi, entre 1280 et 1550 la réflexion astronomique s'étiole, l'algèbre va entièrement disparaître, les travaux antérieurs étant oubliés. Les autres sciences se figent. Il y a non seulement un arrêt brutal des sciences, mais aussi une **régression des techniques**. L'enseignement se sclérose, les académies privées et l'enseignement libre disparaissent. Il y a stagnation intellectuelle. Alors que la caste marchande est réprimée, la liberté individuelle s'éteint. Les individus les plus brillants, recrutés en tant que mandarins, se voient fonctionnarisés et coupés de ce qui reste du monde des sciences, qui sont totalement absentes des programmes d'études conduisant aux plus hautes fonctions. Comme le note Needham (p. 236): « *Les lettrés confucéens sont, pour la plupart, imprégnés d'un profond dédain pour la recherche et la pratique scientifiques, pour ces «activités interventionnistes» dans le monde de la nature* ».

Le mandarinat devenant l'expression de l'excellence et drainant les individus les plus intelligents, l'économie périclité, la science s'arrête.



Développement scientifique en Chine de -700 à 1650: des périodes extrêmement brillantes (en vert) sont entrecoupées de régressions spectaculaires (en orange) liées à l'unification politique et à la répression bureaucratique.

L'exemple chinois nous offre par deux fois une illustration des périls qui menacent l'activité scientifique. Comme le résume Cosandey (481): « *les efforts persévérants de la population conduisent lentement à la liberté et à la richesse, et donc à l'émergence de la pensée créative. L'état universel brise alors le mouvement pour défendre ses propres intérêts, et la Chine s'immobilise.* »



Facteurs ayant contribué à la régression, puis la stagnation scientifique chinoise.

L'autosatisfaction, la vanité, la bureaucratie en tant que système de gouvernement sont donc parfaitement capables de stopper le progrès des sciences et des techniques: le rôle sclérosant tenu en occident par la religion catholique est ici endossé par la bureaucratie impériale. Si l'on excepte une brève reprise de l'activité scientifique vers 1600, liée au développement d'académies privées rapidement interdites, l'arriération Ming clôt l'aventure scientifique orientale. Intellectuellement, la Chine ne s'en relèvera pas.

Une troisième raison, également liée à l'unification politique et philosophique, va expliquer l'inertie scientifique chinoise: après Mozi, les différentes écoles de pensées vont rechigner à envisager la recherche de la vérité par le réductionnisme comme une voie acceptable. Se polarisant sur

l'étude des voies menant à « la sagesse », elles dédaignent celles menant à « la vérité », ou du moins ne semblent pas considérer que les deux soient obligatoirement liées. Cette absence de division des problèmes, cette vision « holiste » va paralyser intellectuellement la science chinoise en l'empêchant de généraliser la démarche expérimentale réductionniste, barrant ainsi la route à des esprits puissants qui, de toute façon, seront accaparés par le classicisme mandarinal et sa vénération du passé.

(A. Chieng, 2007)

L'ORDRE ET LA LOI

Le projet scientifique n'est possible que si l'on admet qu'il existe un ordre (sous la forme basique d'une causalité) dans le monde sensible, et que cet ordre peut se traduire en « lois », concept tiré, nous l'avons vu, de l'organisation des sociétés antiques.

Si l'origine de cet ordre est laissée, pour un temps du moins, dans le domaine de la croyance, la recherche, la découverte, l'établissement des lois du monde va constituer, jusqu'à la date charnière de la parution de « l'origine des espèces », l'essentiel de l'activité scientifique.

Ces « lois » sont de nature idéale, s'appliquant à l'ensemble de l'univers. Il y a là de quoi réjouir Platon, pour qui, rappelons-le encore, l'important est l'idée, l'essence, le réel étant une illusion, et donc l'expérience inutile...

Cette quête de lois s'appuie sur la recherche dans la nature de « régularités », d'événements dont la cause est facilement identifiable et généralisable (*que l'on me pardonne d'énoncer de tels truismes, mais l'expérience prouve que plus une idée est évidente, et plus il est prudent de la signaler clairement au départ*).

Cette recherche des lois du monde peut parfois s'accompagner d'une volonté de puissance sur ce même monde: lui donner ses lois, c'est le dominer. Ainsi, tout comme le conquérant substitue son ordre à l'ordre ancien, la volonté de légiférer sur le monde des scientifiques ne peut que se heurter à la volonté des structures étatiques et/ou religieuses de régner sur le monde.

Pour illustrer cette volonté de puissance, notons par exemple que les anciennes constellations chinoises installaient la Chine elle-même dans le ciel, avec son empereur, sa géographie,

ses palais et son organisation sociale. Contrairement à la Grèce, le ciel chinois n'était pas mythologique, mais politique !

Au niveau biologique, cette recherche d'un ordre mènera non seulement à de nombreuses classifications, mais aussi à l'étude anatomique, et celle des lois à la recherche du fonctionnement des organismes. C'est là que va apparaître la distinction entre la forme (liée à « l'ordre ») et la fonction (liée à la « loi ») des différents éléments d'un organisme. Au cours de l'histoire, différentes justifications, relevant surtout du parti pris, mettront l'accent sur l'une ou l'autre de ces approches.

Pour Aristote, par exemple, la fonction d'un organe prime sur sa forme. Cela lui permet de mettre en évidence l'organe reproducteur des céphalopodes (hectocotyle), découverte qui sera oubliée jusqu'en 1851, mais cela le pousse aussi à négliger les différences entre les animaux aquatiques à branchie et à poumon: peut importe le flacon, pourvu qu'on ait l'ivresse! Ces considérations vont aussi le pousser au finalisme, qui sera institué pendant tout le moyen âge. Ce finalisme revient à considérer les lois visibles du monde comme la manifestation d'un ordre invisible, qu'il soit de nature platonicienne ou divine.

La découverte qu'un organisme possède une histoire évolutive permettra de réunir et de dépasser cette opposition apparente. Cela amènera bien évidemment, comme nous le verrons, une réaction forte de l'église, touchée dans le fondement de sa légitimité: l'ordre ne procédant plus du surnaturel, sa propension à définir ou inspirer la loi s'en trouve amenuisée: sans prise désormais sur les lois du monde, sans la nécessité d'une transcendance pour expliquer l'ordre de la nature, sa légitimité à inspirer les lois de la société pose question. Car dès le moyen-âge, l'église a tenu à contrôler, sinon la découverte des lois du monde

(qu'elle a gêné ou retardé par de nombreux moyens), du moins leur enseignement. C'est ainsi, après avoir réservé enseignement et éducation à ses seuls membres, qu'elle a mis la main sur l'université.

Cette dernière est une structure typiquement européenne, ayant grandement, à son début, contribué à l'émancipation des scientifiques envers le pouvoir religieux.

Au début, en effet, les universitaires ne dépendent financièrement que de leurs clients, et non de l'église ou de l'état (ce qui sera le cas plus tard). Ainsi, en 1210, l'archevêque de Sens et l'évêque de Paris interdisent l'enseignement de la physique d'Aristote, ce païen qui plus tard deviendra référence indépassable de l'horizon intellectuel chrétien. Les universitaires passent outre, pendant 19 ans. Ensuite, toujours rétifs à l'autorité ecclésiastique, ils se mettent en grève, puis quitteront Paris, avec armes, bagages et élèves, pour d'autres places, dont un village de la verdoyante campagne anglaise nommé Oxford.

De nouveaux conflits se développeront en 1252, 1270 et 1277. Le pape condamnant l'enseignement d'Aristote; Siger de Brabant et Roger Bacon sont emprisonnés. Guillaume d'Occam, entre 1339 et 1346, rencontrera la même opposition et seule la liberté universitaire lui permettra d'en triompher.

L'Université assure également un emploi, le seul possible, aux scientifiques: entre 1450 et 1650, 87% des scientifiques sont universitaires. Lorsque l'université sera entièrement sous la coupe de l'Église, sa stérilité scientifique deviendra patente: aux 16 et 17 siècles, l'université de Paris, aux mains de l'église, sera franchement opposée au progrès scientifique et technique (*c'est d'ailleurs l'université de la Sorbonne qui condamna en 1546 l'imprimeur Étienne Dolet à être brûlé sur le bûcher, mais, vu qu'il s'était repenti, sans*

qu'on lui arrache la langue avant, bel exemple, s'il en fut, de charité typiquement chrétienne). Il ne faudrait pas croire que cette propension a « dire » la loi de la nature en justifiant son ordre ne concerne que la religion chrétienne: c'est même un dénominateur commun, car, même en Inde, les brahmanes tentèrent de faire interdire les voyages aux longs cours des marchands, qui obligeaient ces derniers à entrer en contact avec des « impurs »...

Un exemple du statut de l'expérimentation au moyen-âge :

Le 23 août 1664, trois membres de l'université de Paris, Antoine de Villon (professeur de philosophie, également astrologue), Étienne de Clave (médecin, féru de « chymie ») et Jean Bitaud, élève de ce dernier, défient publiquement les autres membres de l'université en affichant sur les murs de Paris leur intention, pendant deux jours, de soutenir publiquement 14 objections à l'encontre de la théorie des éléments et en faveur de l'atomisme (*ce qu'ils entendaient par ce mot étant assez éloigné des conceptions de l'antiquité, mais faisant la part belle, tout de même, au matérialisme*).

Après un premier assentiment de la direction de l'université, le parlement de Paris interdit immédiatement ces cours, mais il faut surtout remarquer que nos trois « hérétiques » se proposaient d'illustrer leurs discours d'expériences alchimiques à valeur démonstrative : un des premiers exemples du statut public de l'expérience scientifique, et de son intégration dans un processus de persuasion en droite ligne des conceptions de l'antiquité, ce qui

fut justement noté par un de leurs opposants, Jean Baptiste Morin, qui écrivit :

« *Estienne de Claves, Docteur médecin, grandement expérimenté en la chymie (dit l'Histoire) qui avec alembics & cornues eust prononcé des arrest bien cornus.* ». Non seulement ils sont interdits de parole, privés de salle (ils avaient envisagé d'utiliser l'hôtel de la reine Margot) mais également poursuivis par la faculté de théologie. Sentant le vent du boulet, Bitaud s'enfuit, Villon s'évade, et de Claves est arrêté. Villon sera renvoyé de l'université; mais surtout le parlement décrète que « ***tenir ou enseigner aucune maxime contre les auteurs anciens et approuvés sera désormais puni de mort*** ».

De Claves promettait, dans une de ses affiches « *de montrer par raisonnements **et par l'expérience**, gratuitement et sans nulle espérance de profits, Diane nue et sans vêtements et la nature elle-même débarrassée de ses ombrages ou impuretés* ».

Afin de souligner que l'on trouve encore ici dans le cadre d'une expérience conçue comme un acte politique, d'une démarche « judiciaire », il précise, dans le style fleuri de l'époque; « *Antoine de Villon, le soldat philosophe, descendra le premier dans l'arène armé de la chlamyde de Pallas, il déclarera la guerre par un combat public a tous les partisans de la doctrine péripatéticienne, et convaincra si ouvertement de fausseté les principes physiques d'Aristote par ses thèses que les efforts de ses adversaires seront jugés vains par tous les assistants* ».

On est donc bien ici dans une joute oratoire appuyée par l'expérience, et pas dans une démarche de recherche utilisant l'expérience!

Pour plus de précisions : D. Kahn, [Revue d'histoire des sciences](#) 2002, vol. 55.

2

L'expérience est un théâtre

Où l'on se rend compte que l'expérience, en sciences, n'est pas seulement un questionnement du réel, mais aussi une mise en scène de ce dernier.

De l'expérience en sciences

« La science expérimentale ne consiste pas à expliquer l'inconnu par le connu (...) Elle vise, au contraire, à rendre compte de ce que l'on observe par les propriétés de ce que l'on imagine. »

F. Jacob

Nous avons vu que, dans l'antiquité, l'expérience scientifique telle que nous la connaissons n'existait pas: elle n'était convoquée que dans le but d'assurer un triomphe sur une opinion adverse ou, dans le meilleur des cas, pour illustrer un propos. Elle n'était jamais une source pensée et mise en scène de connaissance.

Historiquement, l'expérience scientifique, en même temps qu'elle a acquis son caractère démonstratif, a aussi été un spectacle (ce qui sera utilisé sciemment par Nicolas Tesla), une « monstration ». Ainsi, des chimistes comme Humphrey Davy, puis Faraday sont restés célèbres pour leurs expériences publiques; et plus tardivement des projections publiques de préparations microscopiques faisaient encore les délices des Parisiens curieux en 1883 ! Point n'est besoin de préciser que tout professeur de sciences sait à quel point, dans les classes, le côté spectaculaire d'une expérience est important pour qu'elle se fixe dans la mémoire des élèves, créant un point d'ancrage pour des notions plus difficiles à mémoriser.

Une des plus anciennes expressions de ce caractère « spectaculaire », au premier sens du mot, de l'expérimentation scientifique se retrouve dans l'étude publique de l'anatomie réalisée au moyen de dissections humaines publiques dans les théâtres anatomiques.

Ces derniers sont des structures démontables, itinérantes, dans lesquelles, à partir de 1502, tout d'abord en Italie, sont réalisées de longues dissections de cadavres humains, mais aussi d'animaux. Ils ont eu un très grand succès, assurant, pendant les mois d'hiver (la température retardant la putréfaction...), des spectacles fort courus entre 1550 et 1800 (ils ont d'ailleurs illustré nombre d'ouvrages anatomiques).

Ces dissections publiques montraient aussi comment l'enseignement était conçu: outre un déroulement très codifié et ritualisé, un maître lisait directement un ouvrage d'anatomie (de Galien, souvent), sans un regard pour le vrai corps en train d'être disséqué par des assistants qui devaient présenter au public les structures nommées, même quand ces dernières... n'existaient pas ! Les assistants n'hésitaient pas à faire circuler dans le public des organes séparés du corps, afin que leur vision fût meilleure...

C'est d'ailleurs pour ces théâtres, tout d'abord itinérants et temporaires, puis permanents et à l'origine des amphithéâtres de dissection, que furent inventés les billets d'entrée à un spectacle...

L'expérience scientifique n'est donc pas limitée ou circonscrite à un mode personnel de recherche de la vérité: elle comporte toujours une part de spectacle. Mais ce n'est pas tout. Elle fait partie d'un ensemble bien plus complexe, la démarche scientifique, qui ne se limite pas à une méthode expérimentale, comme cela a été trop souvent écrit, lu et, hélas, cru. Voyons quelles sont les limites de la méthode expérimentale et de son utilisation dans l'enseignement des sciences (*)

Démarche scientifique, volonté expérimentale et enseignement

«Il n'y a rien de simple dans la nature, il n'y a que du simplifié»

G. Bachelard

Cette partie du livre est réécrite et actualisée à partir d'un article paru dans la revue de l'APBG, février 2003, ainsi que dans la revue Belge de pédagogie, et présent sur mon site web

Dans l'enseignement des sciences, l'accent est mis depuis longtemps sur l'acquisition de la démarche expérimentale, longtemps présentée comme étant la voie royale d'accès à la démarche scientifique, quand elle ne la résume pas. Mais il faut se demander quelle est la place exacte de l'expérience dans le processus bien plus large et plus complexe que nous appelons la démarche scientifique. En effet, le processus expérimental, parfois survalorisé, est devenu fréquemment si surinvesti dans l'enseignement que l'on devrait feindre de croire que sa stricte application garantirait *de facto* l'accès à la vérité scientifique cachée derrière la trompeuse évidence première révélée par la simple observation. Pourtant, malgré des sommes considérables, en matériel et formation, investies dans cette vision de l'expérimentation, l'enseignement scientifique ne s'est apparemment pas amélioré, et demeure, et depuis longtemps, en crise (1).

Certes, cette défiance nouvelle à l'égard de la scientificité n'affecte pas que la France (2); mais si l'on peut assurément crier à l'insuffisance des moyens, il faut bien convenir que les ressources que la nation peut consacrer à l'enseignement ne sont pas exponentiellement extensibles, et qu'il faut bien, en attendant mieux peut être, faire avec ce que l'on a.

Et que faisons-nous, le plus souvent, dans l'enseignement, ou plutôt que nous « conseillons-t-on fortement » de faire ?

Le plus souvent, la démarche expérimentale que l'on nous presse d'appliquer est excessivement théorisée, coupée de ses racines historiques, épistémologiques et scientifiques, et découpée arbitrairement en tronçons abstraits qui perdent au fil des « évaluations formatives » toute connexion avec le réel ressenti des élèves (différent de celui du professeur !) et avec la réalité quotidienne de l'activité scientifique.

Pour quelqu'un qui a déjà pratiqué la recherche, sa présentation dans l'enseignement tient davantage d'un surréalisme volontariste que d'une saine description de sa réelle pertinence (3). Nous allons voir que, telle qu'elle nous est le plus souvent présentée, la démarche expérimentale « pédagogique » correspond plus à une conception initiale erronée qu'à une pratique se référant aux processus actuels de l'activité scientifique. Il est d'ailleurs significatif que toute personne ayant pratiqué la recherche en biologie ne puisse reconnaître sa démarche, le plus souvent chaotique (4, 5), dans la suite de concepts théoriques forgés et utilisés en grande partie par des philosophes ou, bien pire, des « didacticiens » qui ne furent jamais en mesure de travailler « à la paillasse ».

Une pratique théorisée et fantasmée

S'il est une caractéristique regrettable de notre enseignement, c'est bien que de vouloir justifier toute activité pratique par une théorisation sous-jacente mal venue, et de baptiser expérience ce qui n'est, le plus souvent, qu'une simple illustration pratique de concepts approchés par d'autres biais. Ce succédané de démarche expérimentale ne saurait en effet correspondre et résumer à lui seul l'activité scientifique du 21^e siècle commençant et renvoie plutôt, dans son application pédagogique quotidienne, à des conceptions archaïques plus proches de la fin du 19^e ! L'un des textes fondateurs auquel se réfèrent nombre de pédagogues est l'introduction à l'étude de la médecine expérimentale de C. Bernard (6).

Est-il permis, n'est-il pas légitime de s'interroger sur l'actualité de ce texte, paru en 1865? C. Bernard fait débiter son raisonnement par un constat, une observation, un fait isolé : il s'adresse ainsi à un réel morcelé, dont l'étude se révèle

indispensable, mais dont **l'intégration dans un système cohérent n'est pas envisagée**. Mieux même, il s'oppose, avec la plupart des esprits illustres de son temps, à une explication chimique des caractères biologiques, démarche pourtant à la base de la biologie contemporaine (7). Si l'expérience sert C. Bernard, elle est aussi sa propre limite, et ce mur de l'évidence sensible l'empêche d'envisager une intégration de ses découvertes dans un modèle plus général.

Une approche beaucoup plus moderne est d'ailleurs défendue avec brio par un de ses contemporains, Helmholtz, qui a seulement le tort d'être allemand. C'est d'ailleurs à l'époque même où C. Bernard transposait dans les sciences de la vie la démarche qui avait si bien réussi à la physique depuis Newton que cette dernière allait se trouver confrontée à la nécessaire construction de nouveaux modèles théoriques. Ces derniers, ainsi que les hypothèses hardies sur lesquelles ils étaient bâtis, avançaient en fait des réponses possibles à des problèmes de nature non pas pratiques, liés à des expériences nouvelles, mais essentiellement conceptuels, en relation avec des expériences anciennes dont l'interprétation ne se révélait pas intellectuellement satisfaisante (8).

Cette différence dans les approches du physicien et du biologiste, l'un précédant l'autre dans la structuration du travail scientifique, se retrouve au niveau de l'approche de la réalité : alors que celle du physicien est modélisée, celle du biologiste reste encore, le plus souvent, subie. Il a souvent été dit que la biologie moderne nous offre le spectacle d'une immense collection de faits, mais qu'il lui manque une charpente, une théorie unificatrice capable de structurer et d'ordonner cet ensemble disparate : quid du « modèle standard » de la biologie? Seule la théorie de l'évolution peut prétendre à une telle force unificatrice. Or justement, cette théorie semble être de prime abord celle qui

concerne un ensemble de faits qui, du fait de leur éloignement dans le temps ne peuvent pas toujours être soumis au verdict de l'expérimentation; à un point tel que certains opposants irréfléchis ont même proposé de la retirer de la sphère de la scientificité à cause du caractère non réfutable hâtivement affirmé de quelques-unes de ses affirmations !

La pratique de la théorie.

Une prétention commune à bien des professeurs de sciences (et qui croît en importance lorsque l'on s'élève vers les classes supérieures), est de croire qu'ils enseignent « la science ». Vaine conception, car la science ne s'enseigne pas : elle se vit ! La science n'est pas un corpus statique, mais un processus dynamique fait d'inspiration, de ténacité et de vérifications. Nous enseignons (ou essayons de le faire) des connaissances, une vision du monde, une logique; mais nous ne faisons en fait que raconter des histoires de science, car la science ne peut se bâtir dans les lycées et les collèges ! Ce découplage croissant entre recherche et enseignement, entre science qui se fait et science qui s'enseigne, peut être à l'origine de la différence d'appréciation du statut de l'expérience dans le processus scientifique : le recours constant et la survalorisation de la démarche expérimentale **laissent croire que pour comprendre il suffit de faire**, mais c'est ici négliger certains points facilement occultés par la sincère ardeur « expérimentatrice » de l'enseignant :

— l'élève ne « fait » pas : il « refait » une manipulation dont les résultats, connus à l'avance, ne sont pas du tout surprenants et s'intégreront sans heurts au corpus des savoirs défini par l'enseignant. En cas de conflit (expérience « qui ne marche pas »), l'analyse des causes d'échec est le plus souvent escamotée et ne donne pas lieu à une véritable recherche dérivée, qui d'ailleurs pourrait se révéler bien plus formatrice. Cette façon de faire s'explique fort bien dans le cadre de l'acquisition d'un savoir, ou

d'un savoir-faire, en un temps nécessairement limité, mais il ne s'agit en aucun cas d'une véritable expérimentation scientifique. Ici, le perfectionnement progressif des dispositifs expérimentaux qui révèle le phénomène est toujours passé sous silence : le « montage » est la plupart du temps donné, prêt et sans discussion. Cette façon de faire est **une manipulation** (du réel et de l'élève !), en aucun cas une expérimentation. Cet agencement factice se révèle concrètement dans les « fiches TP » qui sont encore souvent utilisées sous des formes diverses, et qui guident l'élève, mettant ses facultés d'observation sur les rails de la conformité et obérant ses capacités de création (certes limitées, parfois inexistantes, mais que l'on peut essayer de stimuler a minima, de temps à autre). L'apparition des TPE en lycée peut être une opportunité de mettre en route une réelle démarche scientifique, mais cela réclame, outre des conditions de travail adéquates, une réelle mise en condition des élèves, qui, de consommateurs de savoirs, devront devenir des producteurs d'incertitudes, et non, hélas, comme trop souvent, de simples copistes de solutions déjà réalisées par d'autres.

— L'expérience ne naît pas *ex nihilo* : elle est le produit d'une réflexion sous-tendue par une culture scientifique que ne possède pas l'élève. Avant son élaboration, il est nécessaire d'ordonner en une problématique l'ensemble des connaissances préexistantes. Cette nécessité de la problématique a été prise en compte et souvent très maladroitement présentée : nous avons été bien trop souvent enjoins de représenter ce processus par l'apparition dans nos cours de « problèmes » qui n'en sont pas, dont la justification est souvent bancal et la logique discutable (à qui se destine ce problème? A l'élève, qui ne se le pose pas? Au professeur, pour qui ce n'en est pas un? A l'entité classe, à la définition problématique?). Le risque était grand de générer ainsi une « endoprobblématique », adaptée en fait au déroulement de

séquences d'enseignements théorisées, mais sans ancrage dans la démarche réceptive de l'élève. Ce placage artificiel de conceptions théoriques dans le déroulement pratique de l'enseignement a abouti à une démarche faussée qui n'abuse d'ailleurs ni l'enseignant ni ses élèves : une problématique imposée n'est qu'une contrainte formelle, et non un moyen de susciter une véritable interrogation. Il est des cas où, dans le déroulement des cours, une problématique s'impose d'elle-même, générée par les insuffisances des conceptions précédentes, mais cette situation particulière ne peut être qu'abusivement généralisée

— L'histoire des sciences, aussi souvent invoquée que superbement ignorée (ce qui a motivé cet ouvrage) nous montre que **l'expérience entre en fait fort peu dans le processus de la découverte, mais plutôt dans celui de la confirmation** de cette dernière, de son acceptation par le monde scientifique sans l'approbation duquel il n'est pas de découverte, car c'est un tort que d'avoir, seul, raison avant les autres. L'histoire de Wegener, Hertz et Boltzman est à cet égard édifiante ! Plus près de nous, dans les années soixante, H. Temin fut parmi les premiers à envisager l'existence de la conversion de l'ARN des rétrovirus en ADN. Il maintint son opinion malgré l'incrédulité générale qui environnait à l'époque tout ce qui touchait à l'existence de rétrovirus humains (avec de fortes réticences, voire des refus, de publication), et son travail ne fut reconnu que bien plus tard, lorsque l'équipe de D. Baltimore confirma le bien-fondé de ses conceptions (5). Peu importait alors la solidité de ses protocoles expérimentaux, seul comptait l'état de réceptivité de la communauté scientifique, lequel ne se laisse pas modifier facilement par des résultats expérimentaux, surtout si ces derniers conduisent à une interprétation par trop novatrice. Nous retrouverons cette « insoutenable inutilité » de

l'expérimentation en étudiant les travaux d'Avery et coll. sur l'ADN, et nous verrons comment une histoire peut être de toute pièce créée *a posteriori*.

L'élaboration d'une découverte tient parfois plus à un « changement de paradigme » selon que l'accumulation de faits nouveaux finit par rendre caduque une conception existante qu'au résultat d'une expérience décisive (9) ou bien résulte d'une « intuition géniale » dont la confirmation expérimentale est une validation à la fois personnelle, scientifique et sociale. Ce fait peut être illustré par la découverte du prion par S. Prusiner en 1982, qui permit à son auteur d'obtenir le prix Nobel pour une hypothèse hardie, non conventionnelle, en rupture avec les conceptions traditionnelles des biologistes moléculaires (dont certains ne s'en sont pas encore remis !), mais sans qu'une confirmation expérimentale rigoureuse n'en ait encore été obtenue à l'époque (10). On peut d'ailleurs remarquer que, 15 ans auparavant, la même hypothèse émise par Griffith (11) n'avait suscité aucun intérêt : malgré sa pertinence, son retentissement est resté subordonné à une évolution des conceptions générales de la biologie moléculaire. **Une découverte n'est donc possible que lorsque qu'elle peut s'insérer dans le corpus des savoirs sans trop de difficultés**, la durée de cette insertion étant éminemment variable selon les pays et les cultures : le darwinisme, par exemple, rencontra en France une résistance d'une exceptionnelle ampleur, le rôle de la sélection naturelle et les travaux de Mendel n'étant pleinement accepté qu'après 1945 (12), et ce malgré les efforts de chercheurs comme L. Cuénot ou E. Guyénot...

— L'expérience n'est pas dans le monde, mais « hors le monde » : c'est une démarche éminemment personnelle, qui se pratique dans un environnement simplifié à l'extrême, dont les liens avec

le réel sont souvent distendus. Cette distension au réel est d'ailleurs ressentie par l'élève qui souvent a le plus grand mal à relier les conditions de l'expérience « en classe », avec son décorum plus ou moins développé (fiches, matériel...) et sa propre expérience sensible sur des sujets aussi communs que les êtres vivants. Le professeur a intériorisé, de par sa formation, les rapports entre la réalité et son morcellement expérimental, mais ce n'est généralement pas le cas de l'élève ! Cette distorsion entre l'objet d'étude et sa « matérialité dialectique » se retrouve à bien d'autres niveaux : certains exégètes de la physique (nous retrouverons ces sinistres personnages, les postmodernes, à la fin de notre ouvrage), peu au fait de sa pratique et de ses objets, on pu ainsi aller jusqu'à dire que l'objet de l'étude scientifique ne tire son existence que de la technique utilisée pour le mettre en évidence. Ils prennent ainsi pour la réalité ce qui n'est qu'une mise en ordre préalable du réel, laquelle ne peut se faire sans conceptions initiales dont l'origine est souvent fort peu scientifique (13). On ne peut cependant se prévaloir de l'existence et de l'influence de cet ordonnancement préalable pour en déduire, comme Feyerabén, que la démarche scientifique n'est qu'un discours creux : c'est confondre ici la carte et le terrain !

— Le recours exclusif à l'expérience laisse entendre, depuis le début de la formation des élèves et jusqu'à son terme, qu'il existerait une véritable logique de la découverte scientifique; analogue dans sa structure à une démonstration mathématique et popularisée un temps par des acronymes tels O.H.E.R.I.C. et autres...

Pourtant, il est de notoriété publique que dès 1926 les travaux de K. Popper (14) ont montré qu'une telle prétention est vaine. L'élève a l'image d'une science faite d'une calme succession d'expériences et de conclusions, bien rangées, qui se superposent successivement pour aboutir aux connaissances actuelles. On

construit pour lui une représentation pyramidale de l'historicité épistémologique (vous venez de lire la phrase la plus alambiquée de l'ouvrage). Ainsi, la nature essentiellement polémique de la discussion des découvertes est systématiquement occultée, alors qu'elle peut constituer un excellent moyen de stimuler l'attention des élèves.

— L'expérience ne tire son sens que de l'interprétation qui en est faite (15). On chercherait en vain une initiation à l'interprétation expérimentale dans les programmes de science. Les plus souvent, l'expérience est présentée (rarement réalisée....) de façon à orienter la réflexion sur un plan univoque, en obérant la multiplicité des facteurs qui peuvent influencer le résultat obtenu. Il manque l'occasion de réaliser que l'expérience, loin d'être un moyen d'apporter une réponse à un problème, suscite en fait de nouvelles questions, ouvre la voie à de nouveaux problèmes qui se font jour lorsque le moment est venu d'interpréter et d'incorporer ses résultats au corpus des connaissances disponibles.

— L'accent mis délibérément sur l'expérimentation se réfère en fait à la science expérimentale « idéalisée » et positiviste du 19^e siècle : peu de trace des procédés typiques de la science actuelle : observation et expérimentation certes, mais aussi interprétation, **modélisation**, abstraction, **simulation**, comparaison avec ce qui existe et discussion, mise en forme et publication, corrections et remises en causes, discussions, inclusion dans un modèle plus vaste et retour à l'observation... (16). Cette dernière est aussi survalorisée, alors qu'elle est plus que faillible : on ne peut qu'affecter de croire que la construction d'hypothèse à soumettre au verdict de l'expérience se construit uniquement à partir des données observées, sans prendre en compte les mécanismes variables de l'appropriation du phénomène observé, de sa correspondance interne aux conceptions de l'observateur (17), à

ses buts et à son histoire. Cette appropriation, cette connaissance venue de l'intérieur, peut fort bien déboucher sur la prise en compte des caractéristiques individuelles du chercheur, souvent négligées dans notre approche : la recherche n'est pas un processus purement rationnel, loin de là (18), et c'est aussi, tout simplement, l'art de ceux qui aiment la science !

Claude Bernard lui-même, à la fin de son introduction à la médecine expérimentale, signalait que « *si un phénomène se présentait dans une expérience avec une apparence tellement contradictoire qu'il ne se rattachât pas d'une manière nécessaire à des conditions d'existences déterminées, la raison devrait repousser ce fait comme non scientifique* ». C'est pourtant ce fait qui est un appel à la raison, de par son existence même ! Lorsque Fleming se trouve confronté à un fait imprévu, il ne fait pas alors une expérience. S'il néglige l'imprévu, ce qui ne rentre pas dans sa pratique, alors il passe à côté de la découverte !

Ainsi, en 1992, lorsque le premier télescope à fluorescence entra en service, un « *phénomène contradictoire* » se produisit : l'instrument détecta une particule élémentaire d'origine cosmique transportant une énergie si grande (3×10^{20} eV, celle d'une balle !) que ce fait expérimental fut d'abord rejeté comme un simple dysfonctionnement de l'appareil. Il fallut toute l'opiniâtreté d'un jeune physicien pour qu'après plusieurs années cette observation soit enfin reconnue ! (19) **La découverte, est, par essence, le terrain de confrontation avec le fait inconnu, pas avec le fait attendu.**

Le fait attendu peut d'ailleurs fort bien se trouver créé de toutes pièces par une interprétation subjective des résultats expérimentaux : ainsi René Blondlot identifia-t'il en 1903 les fabuleux rayons N, qu'il voulait observer, et de nombreux scientifiques de premier plan (Becquerel, Berthelot...) appuyèrent

ses conceptions illusives, voire observèrent eux aussi ces rayonnements aussi protéomorphes qu'inexistants.

La sacralisation de l'expérience et le refus de la dépasser peuvent conduire aux plus grandes erreurs, même les esprits les plus remarquables. C'est ainsi que la volonté de s'en tenir à l'expérience a, particulièrement en France, retardé abusivement non seulement la prise en compte, mais aussi l'enseignement de la notion d'atome, à un point tel que cela en est devenu ridicule.

En 1836, il régnait une grande confusion dans les notations utilisées en chimie, causée à la fois par le concept « d'équivalents » (ou l'on considérait les rapports fixes modélisés par Dalton comme sans valeur probante sur la structure de la matière), la notion d'atome, mais aussi l'idée de molécule, qui commençait à se faire jour. On peut donc, à la limite, comprendre les déclarations du grand chimiste Jean Baptiste Dumas qui, au collège de France, ne craignait pas de déclarer : « *Si j'en étais maître, j'effacerais le mot atome de la science, persuadé qu'il va plus loin que l'expérience; et jamais en chimie, nous ne devons aller plus loin que l'expérience* ». On peut y voir une conséquence de l'opposition entre « atomistes » et « équivalentistes » qui disposaient chacun à l'époque de quelques arguments.

Ce n'était plus du tout le cas un demi-siècle plus tard : le chimiste Marcellin Berthelot, en tant qu'inspecteur de l'enseignement supérieur, puis que ministre de l'instruction publique va, en mandarin accompli, verrouiller la chimie française en empêchant l'enseignement de la théorie atomique en France jusqu'à sa mort, en 1907, restant totalement indifférent à la découverte de la radioactivité par les Curie et à la mise en évidence de l'électron... « Grace » à Berthelot, la chimie française restera plus d'un demi-siècle à la remorque de l'industrie chimique Allemande. De plus, en ayant placé dans l'appareil d'état ses séides, Berthelot va être à l'origine d'une inertie scientifique énorme : ce fait est peu

mentionné, mais la défiance à l'endroit de l'atomisme s'est longtemps maintenue : en 1933, des chimistes français bien en vue doutaient encore de l'existence de l'atome en tant que réalité physique, ne voyant en lui qu'une « *constante d'intégration dans les équations des physiciens* »... Cette situation perdura longtemps, comme en atteste l'intégration de l'enseignement de la théorie atomique au lycée uniquement après 1947, et celle de la classification périodique des éléments dans l'enseignement secondaire uniquement en 1978 (heureusement, des professeurs responsables usant de leur liberté pédagogique, ce privilège insupportable que d'aucuns veulent voir supprimé, l'avait enseignée d'eux-mêmes bien avant). J'ajouterai que j'ai moi-même eu à faire des exercices de chimie, copiés de décennie en décennie dans les manuels, rédigés en équivalents en... 1985 !

Cette détectable habitude française de verrouillage idéologique et de blocus intellectuel se retrouvera, bien plus près de nous, au sujet de l'enseignement de la tectonique des plaques en géologie et de l'évolution des organismes en biologie, un enseignement bloqué par J. P. Grassé pendant tout le vingtième siècle !

Bref rappel sur l'atomisme en chimie au début du 19^e siècle

1790: Wenzel et Richter établissent l'existence de proportions fixes dans certaines réactions chimiques. En 1792, Richter publie «stœchiométrie», ouvrage qui décrit ces proportions.

1800: Alors que Joseph Louis Proust, en France, étudie ces proportions dans des oxydes métalliques, il est en bute aux attaques de Claude Louis Berthollet lorsqu'il affirme que dans une réaction les réactifs se combinent selon des proportions fixes. En Angleterre, John Dalton explique, théorise, modélise et va hardiment plus loin que l'expérience en affirmant que les combinaisons chimiques se font par l'entremise de quantités élémentaires, les atomes, dont les groupements composent les corps. Chaque sorte d'atome possède un poids caractéristique, expérimentalement mesurable. En donnant 1 pour l'hydrogène, Dalton commence le travail de mesure des poids atomiques, une activité qui sera reprise et développée par de nombreux chimistes.

1810: Gay Lussac, Puis Avogadro montrent que les idées et les conclusions de Dalton s'appliquent aux gaz. En Suède, Berzelius détermine précisément des poids atomiques, qu'il commencera à publier en 1818.

1820: Petit et Dulong étudient les capacités calorifique de 13 corps simples pour établir leur loi sur les chaleurs spécifiques. Elle montre que les composants (qu'ils nomment bien atomes) des corps simples ont la même capacité calorifique. Mitscherlich, en Allemagne, lie la forme des cristaux et le nombre d'atomes que l'on y trouve.

La nécessaire modélisation

Au niveau de la modélisation biologique, la construction patiente des schémas décrivant l'interaction des différentes hormones montre comment une théorisation, une abstraction constructive sont nécessairement venues se superposer et ordonner les faits mis au jour par l'observation et l'expérience (20). Un exemple de cette abstraction constructive peut nous être aussi fourni, en biologie moléculaire, par les systèmes de contrôle de l'expression génétique : l'opéron lactose, par exemple, a été décrit comme une application de concepts cybernétiques au monde du vivant. Pourtant, que de résistances, à l'époque, à cette approche expérimentale de la régulation de l'activité des gènes par le milieu ! Cette résistance n'était pas tant fondée sur les insuffisances réelles du modèle que sur son approche « réductionniste » (et pourtant toujours expérimentale) des phénomènes du vivant, approche contribuant à alimenter une « guerre des biologies » qui est encore loin d'être terminée. Ici encore l'approche expérimentale n'est qu'un déclencheur de la démarche scientifique, mais la pluralité des interprétations possibles pour un même résultat lui confère un statut ambigu : l'expérience n'est plus, contrairement à sa présentation dans notre univers pédagogique, une « preuve », mais un simple indice dans un processus d'enquête qui la contient, la régule et finalement la dépasse.

La nécessité de la modélisation est loin, cependant, de constituer un phénomène récent : déjà Descartes proposait de reconstruire un monde fictif, modelé sur le réel, pour mieux comprendre ce dernier. Cette modélisation est en elle même une source de nouvelles découvertes : ainsi en est il, en physique, du

modèle standard qui prédit l'existence et motiva la découverte de particules inconnues comme le boson Z0, ou plus anciennement de l'émergence du concept de champ, concept qui se révéla en fait correspondre ultérieurement non à un artifice de calcul, mais bel et bien à la réalité intrinsèque au monde subatomique. C'est précisément cette efficacité de la démarche scientifique qui la distingue des discours sociologiques voulant la ramener à une simple convention sémantique et qui se trouvent bien en peine d'explicitier de façon convaincante cette emprise sur une réalité non encore existante, mais potentiellement définie.

Le potentiel prédictif de la démarche scientifique a été patent en Physique après Newton, et souligné par Laplace; mais dans les sciences de la vie, le premier à s'y référer clairement est, à ma connaissance, Christiaan Huygens (21). En 1678, dans son « traité de la lumière », il note que les biologistes ne pourront parvenir au même degré d'exactitude que les mathématiciens, et écrit : *« les naturalistes doivent se contenter de probabilités qui touchent à la certitude et doivent les accepter comme preuve et s'en satisfaire. La preuve la plus accessible est apportée lorsque les conclusions que l'on attend d'une expérimentation suscitée par une hypothèse sont confirmées par les expériences et si de nouveaux faits ou évènements prévus se réalisent conformément aux prévisions »*. Comme Galilée, Huygens était un fabricant d'instruments scientifiques : lunettes astronomiques et horloges étaient son quotidien, et cette nécessité de la mesure, de la réalisation de la fabrication d'objets complexe a pesé sans ses conceptions et son activité scientifique.

Les pauvres heures de la simulation

La simulation est également souvent absente de nos enseignements « expérimentaux », c'est pourtant le lien entre le

modèle et l'expérience. Elle conserve mauvaise presse dans l'enseignement, et sans remonter jusqu'à Platon, qui en voyait le degré le plus bas de la réalité (22), sa réhabilitation en tant que « réel reconstruit » par Nietzsche puis ses succès dans le monde scientifique moderne ne trouvent que fort peu d'échos dans l'enseignement des sciences, encore nettement marqué par l'empirisme. Comme le remarquent M. Grobois et coll. dans leur étude (23) : « *Essentiellement, l'accession au savoir biologique se fait sous la marque d'une conceptualisation empiriste qui ne correspond plus à la science moderne.* »

La simulation dans l'enseignement présente pourtant un double intérêt, et un danger à ne pas négliger :

- pouvoir être construite à partir du réel, intégrée dans une approche globale puis testée. On aboutit à une modélisation numérique dans laquelle nous pouvons faire varier des paramètres sur lesquels nous ne pouvons intervenir, ou qui se déroulent sur une échelle de temps trop importante pour nous les rendre accessibles, à nous autres scientifiques, mais plus encore à nos élèves !
- Permettre la réalisation « d'expériences impossibles » (*peuplons un territoire virtuel d'un assortiment d'animaux et de végétaux, laissons tourner la simulation et revenons 10000 ans plus tard : pourquoi tous nos carnivores sont-ils morts? Pourquoi ne reste-t'il plus de sapins? Comment des plantes sont-elles arrivées sur cette île où nous n'avons rien semé?*).

Pourquoi cette réticence à simuler, alors que le lent et progressif équipement informatique des collèges et surtout des lycées semblerait de prime abord permettre plus facilement cette pratique? La crainte souvent exprimée est celle d'un éloignement de la réalité, de la perte du sens du « concret », d'un remplacement de « l'expérience » par la simulation, c'est à dire

par un simulacre. Crainte justifiée lorsque, pour des raisons discutables et essentiellement budgétaires, le matériel biologique est parfois remplacé abusivement, jusqu'à l'université, par un programme de simulation plus ou moins bien réalisé, et parfois même bricolé. Cependant, n'y aurait-il pas place pour un usage limité et raisonné de simulations numériques performantes dans notre enseignement? Faudra-t'il encore longtemps avant de se rendre compte qu'une simulation bien conduite est une expérience authentique, et qu'elle ne prend son sens que par un retour au phénomène réel qu'elle a contribué à expliciter? Loin de distendre le lien entre le réel et le virtuel, la simulation contribue *a contrario* à enrichir le réel de notre réflexion (voir le chapitre suivant, sur le patch clamp). Ainsi, la simulation des procédés évolutifs a pu conduire à l'élaboration d'algorithmes autoadaptatifs capables d'optimiser la résolution de problèmes de mécanique, de logistique, de calcul ou d'ingénierie (25). La conception de matériaux nouveaux est basée sur des simulations d'une efficacité étonnante (26) et la possibilité de simuler le comportement de molécules diverses dans un environnement virtuel offre aussi de nouveaux moyens à la pharmacologie et à la biochimie (27).

La démarche expérimentale, partie émergée de l'iceberg de la pensée scientifique

Nous voyons donc que la démarche expérimentale, pour indispensable qu'elle soit, est cependant à utiliser avec précaution : se fonder sur elle pour bâtir une démarche théorisée présentée comme scientifique revient en fait à négliger à la fois l'apport épistémologique du siècle dernier (cybernétique, théorie des systèmes, biologie théorique...), les enseignements tirés de l'histoire des sciences et la pratique quotidienne de la recherche

authentique. On peut d'ailleurs remarquer que ces questions, qui se poseront avec une acuité renouvelée dans le futur de l'enseignement de la biologie, ont été résolues *de facto* au niveau de l'enseignement de la physique, qui a abandonné depuis bien longtemps la prétention de décrire, au niveau de l'enseignement secondaire, le réel du laboratoire (28), pour se limiter à **des savoirs opérationnels**, conceptuellement satisfaisants et cohérents même si, par ailleurs, ils se révèlent actuellement scientifiquement dépassés (atome de Bohr par exemple), bien que toujours utiles : ce sont des « modèles didactiques » dont la prétention se limite à faire comprendre, de façon imparfaite, mais accessible, un phénomène autrement plus complexe que ce que l'on en dit.

L'enseignement, non pas de la démarche expérimentale, mais bien de la démarche scientifique (qui s'en distingue, nous l'avons vu, sur bien des points) nécessite donc de disposer d'un luxe qui hélas ne nous est pas actuellement accessible (et ne saurait, vu la multiplicité des disciplines et la limitation du temps de travail des élèves, nous échoir à l'avenir) : du temps ! Exiger des professeurs un enseignement réellement basé sur l'intégration des processus expérimentaux en sciences tout en les enjoignant de parcourir l'intégralité d'un programme conçu sans réellement tenir compte de cette exigence s'apparente à la résolution quotidienne de la quadrature du cercle. Il nous faut donc mettre davantage l'accent sur non seulement la démarche expérimentale, mais bel et bien sur la pensée scientifique, qui s'en distingue nettement, car comme le prophétise sombrement P. Nouvel (18) : « *si le goût pour la science se perdait, si l'art d'aimer la science cessait d'être cultivé, la science s'arrêterait* ».

À n'en pas douter, nous devons à l'avenir restaurer une image positive de l'activité scientifique et de l'expérimentation en

un temps où celle-ci commence à être envisagée comme étant un synonyme de danger, d'agression contre « l'état de nature » cher aux nouveaux émules de John Ludd. « *Le progrès des connaissances et des technologies rencontre un scepticisme croissant pouvant aller jusqu'à l'hostilité, et l'aventure du savoir ne suscite plus l'enthousiasme sans réserve dont elle faisait l'objet il y a quelques décennies* » (29).

Pour illustrer la complexité et les modalités de la démarche scientifique, j'ai choisi de présenter un exemple qui possède l'avantage d'être à la fois complet sans être trop complexe et qui, de plus, est susceptible d'intéresser autant les biologistes que les physiciens. Il s'agit d'une partie des travaux d'Hodgkin et Huxley sur les propriétés électriques des neurones.

Une démarche exemplaire

Andrew Fielding Huxley (1917-2012) était membre d'une véritable dynastie de scientifiques exceptionnel : son grand-père n'était autre que Thomas Huxley, le compagnon de Darwin, avec qui il partage d'ailleurs le fait d'avoir été marié à un membre de la famille Wedgwood.

Alan Lloyd Hodgkin (1914 - 1998) a travaillé avec lui à Cambridge pour étudier les propriétés électriques des neurones. Leurs travaux commencèrent dans les années 1930, furent interrompus par la guerre et se déroulèrent principalement entre 1946 et 1950. Leurs conclusions furent publiées en 1952, et ils obtinrent le prix Nobel de Médecine en 1963.

Huxley et Hodgkin ont utilisé un « matériel » biologique un peu particulier : il leur fallait, pour pouvoir étudier le comportement électrique des axones, un animal possédant un axone de grande dimension, de façon à pouvoir (avec les techniques disponibles dans les années 1930) y insérer « facilement » des électrodes.

La trouvaille de Young

Cela semblait impossible, mais, en 1935, le zoologiste John Zachary Young (1907 — 1997) s'était intéressé aux fibres nerveuses observées dans le manteau des calmars. Ces céphalopodes peuvent se propulser par réaction pour effectuer des mouvements rapides. Pour cela, ils contractent d'un bloc leur manteau, chassant l'eau qu'il contient par un petit orifice. La brusque contraction du manteau est liée à la présence d'une fibre

nerveuse géante qui l'innervait, et qui est en fait un axone géant mesurant entre 0,5 et 1 mm de diamètre. À l'époque, les recherches sur les propriétés des membranes des cellules nerveuses utilisaient surtout des fibres nerveuses de crabe, solides, mais de très petit diamètre (1/30 mm).

Young, venu au départ à Woods Hole (Massachusetts), à l'institut océanographique récemment fondé, pour apprendre à élever les calmars en captivité, montre en 1936 que les fibres du manteau sont en réalité des axones géants isolés (*pour cela, il aura l'idée de les stimuler chimiquement, avec du citrate de sodium, et de détecter leur réaction en utilisant un... haut-parleur qui montrera, en crachotant après que le citrate ait été mis en contact avec l'axone, qu'il y a bien génération et transmission d'un message électrique le long de cet axone — un TP très facile à reproduire en classe de lycée si on le désire, ou dans le cadre d'un TPE*).

En 1938, Hodgkin avait utilisé pour ses recherches la fibre de crabe isolée, mais sa petitesse limitait les expériences réalisables. Il rejoint dès lors Woods Hole, où Curtis et Kenneth (souvent surnommé Kacy) Cole (1900 — 1984) commencent à utiliser l'axone géant du calmar comme modèle d'étude des propriétés électriques de la membrane des cellules nerveuses. Cole et Curtis avaient montré que la perméabilité ionique de la membrane variait lors d'un potentiel d'action. Toutefois, l'amplitude de ce dernier posait problème : d'après les hypothèses de l'époque (de Bernstein, en particulier), la différence entre potentiel de repos et d'action devrait être faible. Or, Hodgkin et Huxley, en 1939, mesurent sur des fibres de crabe un potentiel de repos de 37 mV et un potentiel d'action de 73 mV. Pour expliquer cette valeur, ils songent à réaliser des mesures intracellulaires. En 1939, ils obtiennent le premier enregistrement d'un potentiel d'action utilisant une électrode axiale intra cellulaire (*ci-contre*).

Ce n'est toutefois qu'en 1947 qu'ils réaliseront l'essentiel de leur travail, en utilisant l'axone géant du calmar comme modèle d'étude.

Une démarche scientifique complète.

La première étape de la démarche de Hodgkin et Huxley (que je nommerai H & H), une fois le matériel d'étude choisi, a été d'améliorer les techniques expérimentales à utiliser pour son étude. Nos deux scientifiques vont développer et utiliser **deux techniques de mesure** :

- **le space clamp** : une longue électrode axiale rend l'intérieur de l'axone isopotential. Cela permet d'éliminer une variation de potentiel dans l'espace (le long de l'axone) pour ne plus s'intéresser qu'à une variation dans le temps. Cette technique avait été initialement mise au point par George Marmont et le physicien Kacy Cole. Elle permet d'avoir une situation où le changement de tension du potentiel d'action se produit simultanément en chaque point le long de l'axone de calmar, comme si elle se produisait dans une petite surface au lieu de se propager dans un cylindre.

Alors que Marmont avait mis au point les électrodes et l'appareillage de mesure, Cole n'a pu le convaincre de l'utilité du montage pour étudier le potentiel d'action ; aussi les deux chercheurs de Woods Hole se partageaient les appareils : alors que Marmont travaillait le jour, Cole, lui, œuvrait pendant la nuit pour mettre au point et utiliser la seconde technique : le voltage clamp (dont « voltage imposé » me semble être une bonne traduction). Cole obtient ainsi en 1939 le premier enregistrement d'un potentiel d'action et de la variation d'impédance qui lui est associée dans un axone géant de calmar (*ci-contre* : Cole & Curtis, 1939, *J. Gen. Physiol.* 22 : 649).

Au printemps 1948, Cole communique sa technique à Hodgkin qui, contrairement à lui, est immédiatement persuadé de son intérêt pour l'étude des courants ioniques à l'œuvre dans le potentiel d'action (Cole essayera de décrire mathématiquement les courants ioniques, mais sans élaborer de modèle). L'été, de retour à Plymouth, Hodgkin travaille avec Huxley à leur propre appareillage, en améliorant le montage de Cole.

- **Le voltage imposé** (*patch clamp*) a pour principe de fixer, d'imposer au moyen de deux électrodes (axiale et extra cellulaire) une différence de potentiel transmembranaire. En retour, la membrane va réagir, et l'appareillage électronique contrebalance (et permet donc de mesurer, en générant puis injectant un « contrecourant ») la réaction membranaire afin de maintenir constante la ddp choisie. Pour chaque voltage imposé, il est donc possible de mesurer les courants transmembranaires générés.

La seconde étape est d'enregistrer le phénomène afin de l'étudier. Ensuite, H & H vont décrire et modéliser leurs observations. Pour établir cette modélisation, ils vont représenter la membrane sous forme d'un circuit électrique qui se comportera de la même façon que cette dernière. Ils construisent progressivement, au fil des expériences, le circuit équivalent à la membrane, et établissent en même temps les différentes équations décrivant les variations d'intensité et de différence de potentiel dans ce circuit.

L'élaboration d'un modèle électrique

Ils montrent tout d'abord l'existence d'un seuil de dépolarisation : l'électrode axiale ne déclenche un potentiel d'action qu'au-delà d'un certain seuil, et, une fois déclenché, ce potentiel garde la même grandeur (110 mV) : il s'agit d'un

phénomène « tout ou rien » (nous pourrions dire « binaire, avec soit un effet 0, soit un effet 1 [potentiel d'action]).

Comment les courants membranaires peuvent-ils expliquer le potentiel d'action observé ?

En dessous du seuil de potentiel, on obtient une réaction passive de la membrane : un léger courant capacitif $[dv/dt]$ + conductance, bref comme un circuit RC passif.

Au-dessus du seuil, H & H découvrent du nouveau [*voir ci-dessous*] : après le bref courant capacitif [C.C), il apparaît rapidement un courant entrant [de l'extérieur vers l'intérieur de l'axone] qui diminue puis finit par s'inverser pour devenir un courant «sortant» [de l'intérieur de l'axone vers l'extérieur].

H & H montrent ensuite qu'il est possible de **bloquer séparément** ces courants.

— Le tétrodoxine fait disparaître le courant entrant, il ne subsiste que le courant sortant.

— le tétra éthyl ammonium fait disparaître le courant sortant, il ne subsiste que le courant entrant. De plus, le léger délai avant le courant entrant disparaît aussi.

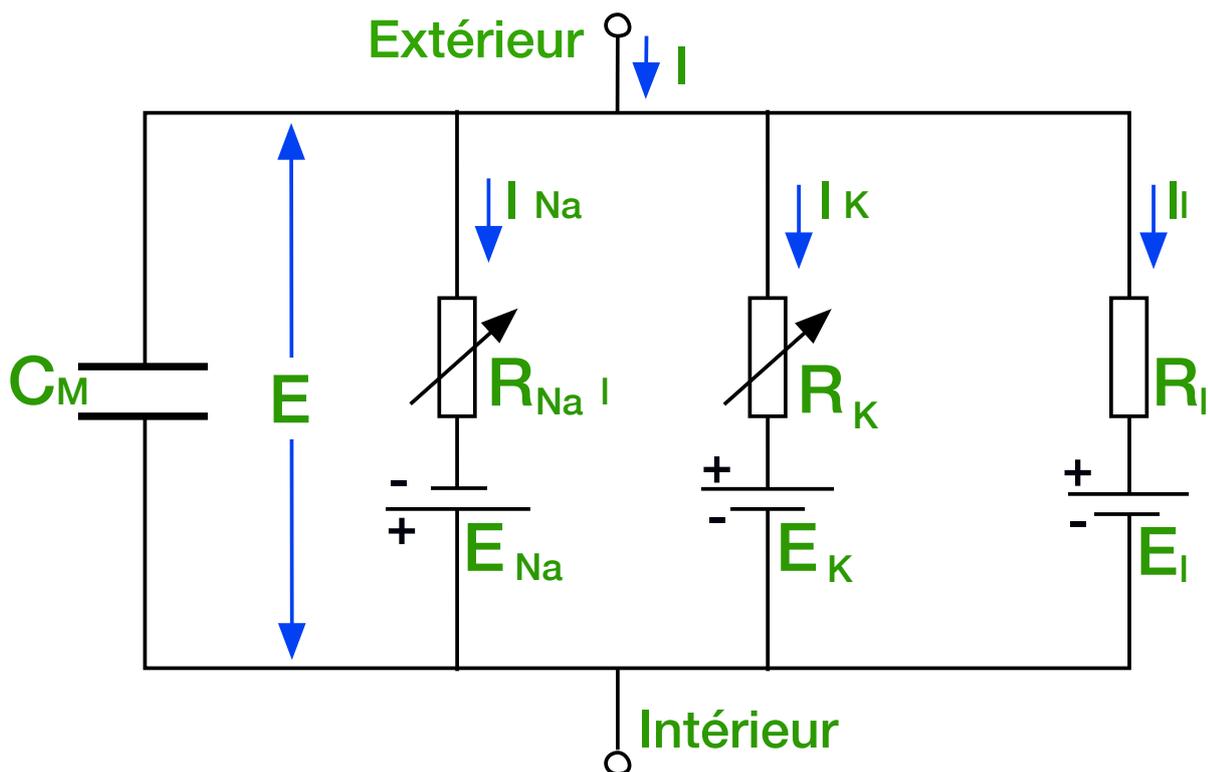
Ils en déduisent [*et les élèves aussi, dans un bel exercice réalisable — voir plus loin*] que les courants observés possèdent **deux causes distinctes**.

En changeant les concentrations ioniques à l'extérieur et à l'intérieur de l'axone, ils découvrent que le courant entrant est lié aux ions sodium, et le sortant aux ions potassium. La pente de la courbe décrivant l'évolution des courants permet de supposer :

- qu'il existe des canaux à sodium, activés progressivement puis désactivés
- que les canaux à potassium, s'ouvrant plus tardivement, ne sont pas, eux inactivés.

Ces différents canaux ont un comportement dépendant du voltage.

H & H modélisent alors la membrane par un circuit électrique [voir schéma] comportant capacitance, une partie passive [décrivant la membrane aux voltages en dessous du seuil de dépolarisation] et deux conductances [résistances variables dépendantes de la tension couplées à un générateur] de polarité opposées, l'une représentant le courant entrant [sodium] et l'autre le courant sortant [potassium].



Circuit modélisant la membrane d'un neurone. Schéma RR d'après H & H, 1952

Ils ont ensuite recherché quels mécanismes pouvaient expliquer la succession des courants liés aux ions Na et K.

Mathématisation I

Hodgkin et Huxley ont donc exprimé l'intensité des courants ioniques en fonction des ddp constatées, soit, selon la loi d'ohm :

$$I_K = g_K [V_m - E_K] \text{ et } I_{Na} = g_{Na} (V_m - E_{Na})$$

Ils en déduisent la conductance de la membrane pour ces différents ions. Ils obtiennent deux résultats différents :

★ la conductance liée à K^+ est voltage dépendante et croit lentement, après un temps de latence, interprété comme correspondant à l'ouverture de canaux ioniques. Dès que le potentiel imposé est annulé, la ddp diminue et retourne à sa valeur de repos.

★ la conductance liée au sodium, par contre, augmente rapidement [et de façon voltage dépendante] puis elle s'inactive rapidement, avant la fin du VC. Le courant sodium ne se maintient pas.

Mathématisation II

L'évolution de la conductance est ensuite elle aussi mise en équation, dans chaque cas [ions K^+ et Na^+], à partir des données expérimentales : les courbes obtenues expérimentalement sont décrites mathématiquement, et il apparaît alors que pour décrire la lente croissance du courant potassium, et son atténuation rapide, on se retrouve avec une expression mathématique comprenant une puissance quatrième du temps $[1 - \exp(-t)]^4$ pour la croissance et un facteur $\exp[-4t]$ pour la décroissance.

H & H en déduisent l'équation décrivant la conductance liée au K :

$$g_K = g_{K_{\max}} n^4$$

avec n compris entre 0 et 1, et dépendant à la fois du voltage, mais aussi du temps [$dn/dt = a_n (1-n) - b_n n$].

g_K est une conductance/cm², a et b varient seulement avec le voltage et ont une dimension en 1/t, n est sans dimension et varie entre 0 et 1).

Déductions & prédictions

Comment expliquer ce facteur n^4 , découvert mathématiquement ? H & H notent dans leur publication : *«une base physique peut être donnée à cette équation si l'on suppose que les ions potassium peuvent traverser la membrane uniquement lorsque 4 particules similaires occupent une certaine région de la membrane»* [H & H 1952, J. Physiol 117, 500-544]. Le nombre n correspondrait donc au % de canaux potassiques ouverts.

De la même manière H & H montrent que le courant sodium peut être décrit selon l'équation : $g_{Na} = g_{Na_{\max}} h m^3$, avec m comme paramètre lié à l'ouverture rapide des canaux sodiques et h liée à leur fermeture plus lente. Le facteur 3 indiquerait alors la présence de trois «points de passage» des ions sodium dans le canal sodique, conjugué à une seule voie de «blocage» du passage des ions [h]

La variation de ces deux paramètres dans le temps est décrite par les équations différentielles suivantes :

$$I = C_m V + g_{Na} h m^3 (V - V_{Na}) + g_K n^4 (V - V_K) + G_L (V - V_L) \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} m = \alpha_m (V) (1 - m) - \beta_m (V) m \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} n = \alpha_n (V) (1 - n) - \beta_n (V) n \quad (3)$$

$$\frac{d}{dt} h = \alpha_h (V) (1 - h) - \beta_h (V) h \quad (4)$$

Ainsi, H & H parviennent, en 1952, à établir 4 équations décrivant la formation du potentiel d'action. Les paramètres des équations proviennent des expériences réalisées. H & H résolvent ensuite les équations obtenues pour la ddp, ce qui leur donne un modèle mathématique du comportement membranaire.

Les équations décrivent, reproduisent, mais aussi **possèdent un pouvoir prédictif**, non seulement parce qu'elles décrivent l'évolution du système dans le temps, mais aussi parce qu'elles impliquent l'existence d'éléments jusqu'alors inconnus et révélés par la formulation mathématique : ici les modalités du fonctionnement des canaux potassiques et sodiques à l'échelle moléculaire.

Autrement dit, le modèle choisi, l'expérience, sa transcription physique [circuit électrique] puis sa traduction mathématique mettent en lumière de nouveaux faits : les canaux potassiques doivent comporter 4 «portes», les ions doivent passer 4 à 4 : la démarche scientifique débouche sur de nouvelles conceptions, et prévisions qui donneront lieu elles aussi à de nouvelles démarches et expériences.

Le fonctionnement des canaux s'est révélé correspondre aux prévisions du modèle de H & H. Leur mode de fonctionnement

était «contenu», pour ainsi dire, dans l'équation décrivant l'intensité dans le circuit équivalent à la membrane :

$$I = C_m V + G_{Na} h m^3 [V - V_{Na}] + G_K n^4 [V - V_K] + G_L [V - V_L]$$

De même, l'évolution du paramètre h va permettre d'expliquer la période réfractaire qui fait suite à un potentiel d'action : juste après le maximum du potentiel, h est presque nul [donc les canaux Na sont fermés], ce qui signifie que le courant sodique est interrompu et ne peut reprendre avant que h ait pu augmenter de nouveau.

Au titre de test «final», il est indispensable de vérifier si le modèle conçu conduit bien, par la résolution des équations, à une reconstruction du potentiel d'action tel qu'il a été observé. Il y a ici une vérification [il y en aura plusieurs, en fait] de l'adéquation de la modélisation avec le phénomène observé.

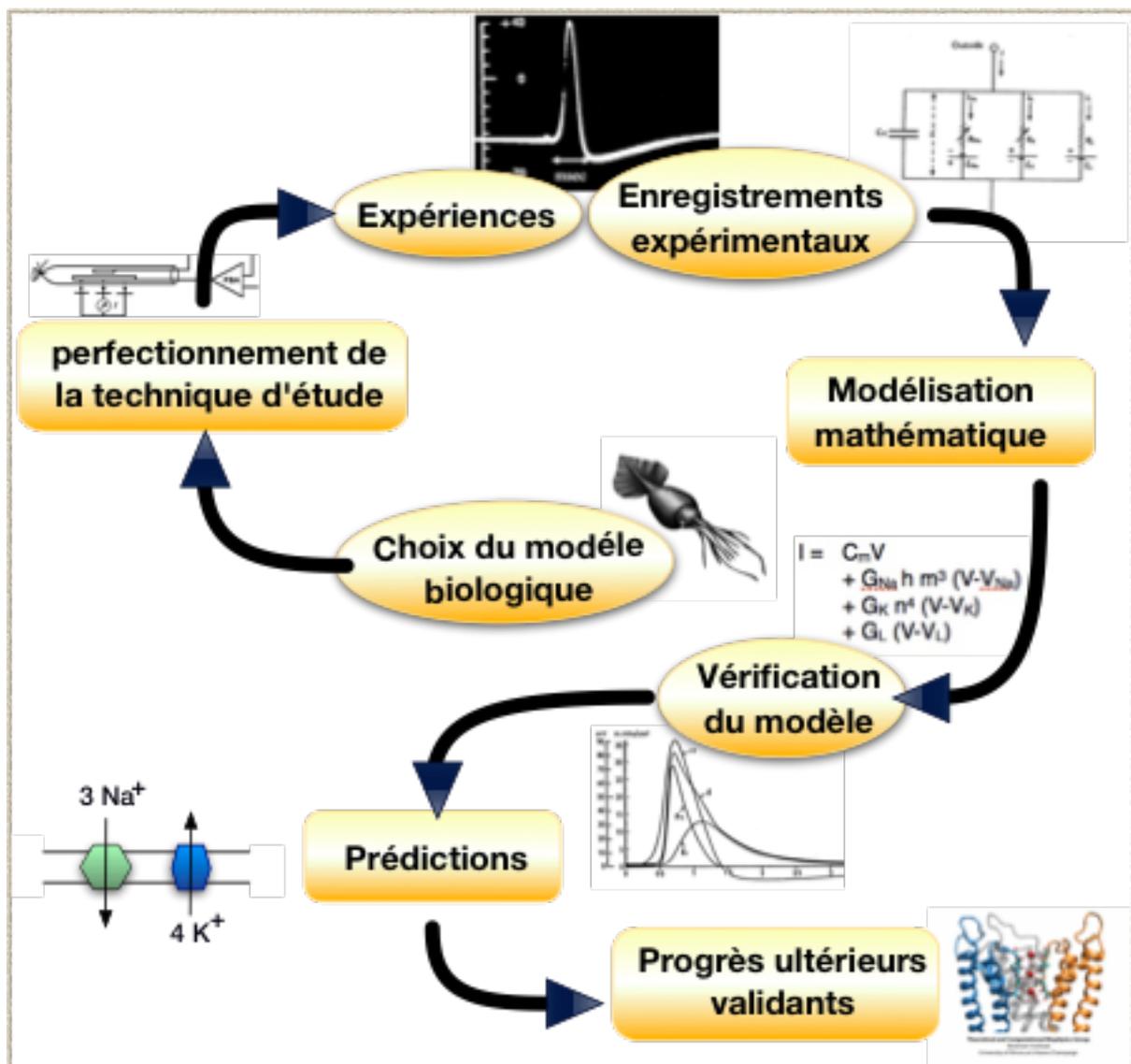
Solution des équations obtenues montrant l'évolution des conductances pendant un potentiel d'action : on retrouve, pour V , toutes les caractéristiques d'un «vrai» potentiel d'action. [D'après H & H, 1952].

En résumé, la démarche scientifique réelle comprend les étapes suivantes, d'un développement variable selon les cas :

- ◆ découverte d'un modèle animal particulier, apte à l'expérimentation
- ◆ mise au point d'une technique d'étude
- ◆ perfectionnement de cette technique
- ◆ enregistrement des résultats des expériences
- ◆ modélisation physique
- ◆ traduction en terme mathématique
- ◆ vérification expérimentale de la validité du modèle mathématique

- ◆ utilisation de la numérisation pour prédire le comportement du système [ou d'autres caractéristiques de ce dernier].
- ◆ Vérification ultérieure de la correspondance entre la réalité et les conclusions tirées du modèle.
- ◆ Chemin faisant, génération de nouvelles questions, base de nouvelles expériences...

Nous retrouvons ici une démarche scientifique complète [voir schéma ci-dessous], exemplaire, et qui montre bien que la démarche expérimentale est une composante intégrée, multiforme, qui ne peut être isolée, de la démarche scientifique.



3

ATOMES

«A l'origine de toutes choses il y a les atomes et le vide (tout le reste n'est que supposition). Les mondes sont illimités, engendrés et périssables. Rien ne naît du néant, ni ne retourne au néant. Les atomes sont illimités en grandeur et en nombre et ils sont emportés dans le tout en un tourbillon. Ainsi naissent tous les composés : le feu, l'air, l'eau, la terre. Car ce sont des ensembles d'atomes incorruptibles et fixes en raison de leur fermeté.»

Démocrite d'Abdère, - 430

L'atomisme

“Si tu possèdes bien ce savoir, la nature t’apparaît aussitôt libre et dépourvue de maîtres tyranniques, accomplissant tout d’elle-même sans nul secours divin.”

Lucrèce. De rerum naturae

L'atomisme est important non seulement en tant qu'histoire de l'édification de la théorie atomique, mais aussi comme illustration de l'importance du matérialisme dont il est la base philosophique.

Il ne s'agit pas ici d'écrire une énième (et inutile) histoire de la découverte de l'atome, mais de parler de l'histoire de la notion même d'atome, ce qui est moins fréquent, précède les découvertes modernes et est souvent très rapidement expédié, le temps d'une référence à Démocrite, dans les manuels.

Il semble que la notion d'une « granularité » de la matière soit des plus ancienne. Il en est des traces, peu claires, dans les traditions hindoues remontant à — 600 (*textes du sage Kanada, réputation de Charvâkâ, dont les textes ont été brûlés, car impies, comme d'habitude, ce dernier étant athée*), et, même pour les « pères » Grecs tels que Leucippe et Démocrite, il semble que l'atomisme en tant que tel (*la matière est composée de particules séparées de vide*) ne soit pas une idée radicalement nouvelle, mais soit inspirée de conceptions plus anciennes, telles celles du phénicien Mochos de Sidon (*cité par Poseidonius, Strabon, Jamblique et Damacius, il aurait vécu vers - 1200, mais Poseidonius, le plus ancien, parlerait ici d'événements survenus 11 siècles avant sa naissance...*). Toutefois, les contributions non « grecques » à l'atomisme n'ayant pas eu d'influence par la suite, il est logique de traiter principalement de l'histoire de cette idée à partir des penseurs grecs, bien qu'il soit utile de remarquer que, partout où elle a point, elle a rencontré une opposition frontale des autorités religieuses (*une constance dont nous commençons à avoir l'habitude, et qui, bien entendu, se poursuit de nos jours*).

En schématisant honteusement, disons que deux conceptions vont s'affronter pendant l'antiquité *sur la nature des choses* (de la matière) :

- celle des « éléments », qui fait de la matière un mélange d'éléments « simples », facilement observables. Cette conception est restée dans les mémoires et dans les expressions, car bien qu'elle se soit révélée erronée, elle ne manquait pas, à l'époque, de finesse et de logique. La matière en tant que mélange de quelques éléments est l'idée qui s'est imposée jusqu'au 19e siècle (et davantage encore en France, pays des lumières...). La théorie des éléments se divise elle même en plusieurs variantes, allant des 4 éléments (*terre, air, eau et feu*) à un mélange de deux, voire assurant la primauté d'un seul (*l'air, ou l'eau, voir [les aventures de Van Helmont l'alchimiste](#)*).

- Celle d'une matière granulaire où se mêlent « l'être » (l'atome) et le « non-être » (le vide).

Deux philosophes ont exposé les premiers une doctrine atomiste, Anaxagore (-500, -428) et Leucippe, ce dernier étant le plus communément cité, car il eut comme élève le célèbre Démocrite, et que sa conception était plus aboutie. En effet, pour Anaxagore, la matière est composée d'éléments continuellement et perpétuellement divisibles.

Les phénomènes résultent des rencontres de ces « germes élémentaires » :

Il n'y a donc ni création, ni destruction de matière, mais juste une transformation :

Ce précepte, que l'on retrouvera bien plus tard chez Lavoisier, sera répété bien des fois par les différents philosophes atomistes (une douzaine).

Les conceptions astronomiques d'Anaxagore, mélange hétéroclite de vieilleries déjà archaïques à son époque (*Terre plate, ou à la rigueur légèrement concave, voie lactée correspondant à l'ombre de la Terre, qui permet de voir plus d'étoiles...*) et d'intuitions géniales (*les astres, soleil compris, sont des masses incandescentes, la lune est une pierre qui reflète la lumière du soleil*) lui valent d'être accusé d'impiété vers — 432, ce qui motive son exil à Lampsaque : le premier philosophe à s'être installé à Athènes quitte la ville, chassé par les religieux, prélude à d'autres exactions restées tristement célèbres !

Leucippe, personnage mi-réel, mi-légendaire, de sexe inconnu, serait à l'origine du terme « atome », vers — 440. Il ne reste rien de ses œuvres éventuelles, dont la seule trace se réfère à l'existence d'un traité dénommé « *la grande cosmologie* ». Si l'on en croit Diogène Laerce (XI,30), Leucippe pensait :

Le vide et les particules suffisent donc à décrire l'univers. Il n'y a donc plus de place pour l'inobservable, ce qui ne serait ni matière, ni vide : le matérialisme de Leucippe règle le compte des nombreuses divinités de l'époque.

Leucippe est aussi connu pour une « expérience » légendaire : en voyant un rayon de lumière révéler la poussière en suspension dans l'air, il aurait eu l'idée que ces grains étaient semblés à des agrégats d'atomes formant ce qu'il a appelé des « *simulacres* », ces derniers étant seuls capables de stimuler les organes des sens et constituant donc les seules voies d'accès à la connaissance.

Il est d'ailleurs important de signaler que la percée intellectuelle réalisée par les atomistes n'est peut être pas celle qui fait de la matière une réunion de corpuscules invisibles, mais bien l'affirmation de l'existence d'un vide, d'un « zéro physique » présent dans le monde, ce concept qu'ils vont nommer « *non-être* ». Il faudra plus d'un millénaire avant que le vide, que Démocrite définit comme « *ce qui n'offre aucune résistance* », ne fasse son retour en sciences...

Démocrite, dont le nom est resté lié à l'atomisme (*un philosophe bizarrement toujours considéré comme « présocratique » alors qu'il est mort 30 ou 40 ans après Socrate...*), était un scientifique « pur et dur », d'une érudition intense « *le plus subtil de tous les anciens* » d'après Sénèque. Démocrite connu sa période la plus féconde vers — 433, après de longs voyages d'études. Dédaignant fortune et honneurs, il s'enferma dans son jardin pour étudier, puis dans des tombeaux, afin d'être au calme (!). Ce misanthrope des sciences,

considéré par ses contemporains comme mentalement dérangé, fut cependant honoré par les plus critiques des philosophes qui furent ses contemporains. Il aurait écrit une cinquantaine d'ouvrages, dont il ne subsiste que quelques fragments ([*voir annexe sur les textes antiques*](#)). Démocrite est surtout connu par ce qu'en a dit Aristote, qui ne l'approuvait guère, aussi est on en droit de se demander dans quelle mesure le stagyrite a t'il quelque peu travesti sa pensée.

Démocrite reprend les idées de Leucippe : la nature est formée d'atomes et de vide. Il rend clairement les atomes insécables (d'où leur nom !), insiste sur leur petitesse qui les rend invisibles. Il propose qu'il existe différents types d'atome, de forme variée, et qu'ils s'associent selon leurs formes, entrant en collision au cours de leur déplacement dans le vide.

Démocrite pose clairement les bases du matérialisme scientifique : rien n'existe hormis matière et vide (les dieux sont donc matériels, et ne sont pas plus à craindre que les fauves, par exemple). L'esprit meurt avec le corps, car il est matière. Pour lui, il existe dans l'univers, qui se développe jusqu'à tout contenir, de nombreux mondes, semblables ou différents de la Terre, dont certains sont habités :

Démocrite et l'expérience :

Il y a deux formes de connaissance pour Démocrite : l'une véritable, l'autre obscure. À la connaissance obscure appartiennent la vue, l'ouïe, l'odeur, le goût, le toucher. La véritable connaissance est toute différente. Quand la première se révèle incapable de voir le plus petit, ou d'entendre, ou de sentir, ou de goûter, ou de toucher et qu'il faut pousser ses recherches sur ce qui est plus difficilement perceptible à cause de sa finesse, alors intervient la connaissance véritable qui, elle, possède un moyen de connaître plus fin et plus exact.

On ne peut qu'être surpris par l'avance intellectuelle de Démocrite. Ce dernier réfléchit ainsi sur le problème de l'apport des sens à la connaissance, dont nous avons vu à quel point il était fondamental. Démocrite risque quelques remarques :

— il note que nous ne portons pas attention à un grand nombre de sensations, que nous opérons sans le vouloir un tri dans les informations que nous recevons du monde.

— que comme les impressions varient selon les personnes, et même pour une même personne, il est illusoire de dire qu'une impression est plus « vrai » qu'une autre : *« il n'y a rien de véritable, mais que l'opinion de tous fait l'opinion de chacun. »*

La vérité est donc une apparence, et son appréhension est variable selon les individus. Il n'existe donc pas de vérité ultime connaissable, car *« de la réalité nous ne saisissons rien d'absolument vrai, mais seulement ce qui arrive fortuitement, conformément aux dispositions momentanées de notre corps et aux influences qui nous atteignent ou nous heurtent (...) En réalité, nous ne savons rien, car la vérité est au fond du puits. »*

Bien entendu, Démocrite tire les conséquences métaphysiques de son matérialisme :

Le matérialisme de Démocrite (qui vint à Athènes et, sans se faire connaître, rencontra Socrate) est diamétralement opposé à l'idéalisme de Platon, qui voulut brûler ses livres (idée funeste,

déjà...), mais en fut dissuadé par deux pythagoriciens (Démocrite lui-même louait Pythagore), car trop de personnes possédaient déjà les livres de Démocrite, ce qui nous rassure sur la popularité du « pasteur des paroles », selon les mots de Timon de Crotonne.

Le temps, hélas, et la bêtise des Hommes, ont accomplis la volonté de Platon : il ne reste rien des livres de Démocrite ([voir annexe sur les textes antiques](#)).

Afin de souligner quelle fut l'influence historique de Démocrite, nous retrouvons encore une fois notre La fontaine national, philosophe authentique trop souvent réduit à ses talents de fabulistes, mais qui, en quelques vers, en dit parfois bien plus que dans de gros volumes.

Il honore Démocrite d'une fable (VIII, 26) louant les esprits profonds et déplorant l'incompréhension qu'ils suscitent (*et contribuant aussi à critiquer le principe d'une démocratie, un courtisan ne saurait se refaire*) :

DÉMOCRITE ET LES ABDÉRITAINS

Que j'ai toujours haï les pensées du vulgaire !
Qu'il me semble profane, injuste, et téméraire,
Mettant de faux milieux entre la chose et lui,
Et mesurant par soi ce qu'il voit en autrui !
Le maître d'Épicure en fit l'apprentissage.
Son pays le crut fou : Petits esprits ! mais quoi ?
Aucun n'est prophète chez soi.
Ces gens étaient les fous, Démocrite, le sage.
L'erreur alla si loin qu'Abdère députa
Vers Hippocrate, et l'invita
Par lettres et par ambassade,
A venir rétablir la raison du malade.

Notre concitoyen, disaient-ils en pleurant,
Perd l'esprit : la lecture a gâté Démocrite.
Nous l'estimerions plus s'il était ignorant.
Aucun nombre, dit-il, les mondes ne limite :
Peut-être même ils sont remplis
De Démocrites infinis.
Non content de ce songe, il y joint les atomes,
Enfants d'un cerveau creux, invisibles fantômes ;
Et, mesurant les cieux sans bouger d'ici-bas,
Il connaît l'univers, et ne se connaît pas.
Un temps fut qu'il savait accorder les débats :
Maintenant il parle à lui-même.
Venez, divin mortel ; sa folie est extrême.
Hippocrate n'eut pas trop de foi pour ces gens ;
Cependant il partit. Et voyez, je vous prie,
Quelles rencontres dans la vie
Le sort cause ; Hippocrate arriva dans le temps
Que celui qu'on disait n'avoir raison ni sens
Cherchait dans l'homme et dans la bête
Quel siège a la raison, soit le cœur, soit la tête.
Sous un ombrage épais, assis près d'un ruisseau,
Les labyrinthes d'un cerveau
L'occupaient. Il avait à ses pieds maint volume,
Et ne vit presque pas son ami s'avancer,
Attaché selon sa coutume.
Leur compliment fut court, ainsi qu'on peut penser.
Le sage est ménager du temps et des paroles.
Ayant donc mis à part les entretiens frivoles,
Et beaucoup raisonné sur l'homme et sur l'esprit,
Ils tombèrent sur la morale.
Il n'est pas besoin que j'étale
Tout ce que l'un et l'autre dit.
Le récit précédent suffit

Pour montrer que le peuple est juge récusable.
En quel sens est donc véritable
Ce que j'ai lu dans certain lieu,
Que sa voix est la voix de Dieu ?

La Fontaine se reconnaissait comme disciple de Lucrèce, il le cite nommément dans le « poème du quinquina » :

*« Vous vous reconnaissez à ces traits, Uranie :
C'est pour vous obéir, et non point par mon choix,
Qu'à des sujets profonds j'occupe mon génie,
Disciple de Lucrèce une seconde fois.
Favorisez cette œuvre ; empêchez qu'on ne die
Que mes vers sous le poids languiront abattus »*

Épicure (-340 -270) va développer le problème des perceptions comme voie d'accès à une vérité limitée : fondant l'empirisme, il affirme que la perception est la seule voie vers la connaissance, et réhabilite donc les sens. En effet, il remarque que la raison dépend des sens, car elle se construit sur l'expérience du monde fournie par ces derniers. Il s'écarte sur ce plan de Démocrite, pour qui prévalait encore la raison abstraite sur le témoignage des sens, pourtant reconnu indispensable.

Pour ce qui est des atomes ; laissons parler Épicure lui-même, dans sa lettre à Hérodote (un des 5 textes qui nous sont parvenus — je souligne les passages qui me semblent importants) :

« L'univers est composé de corps et de vide. L'existence des corps nous est garantie par-dessus tout par la sensation, car c'est sur elle que se règlent, comme je l'ai dit, toutes les conjectures que le raisonnement dirige vers l'invisible. Quant à l'espace, que nous appelons aussi le vide, l'étendue, l'essence intangible, s'il

n'existait pas, les corps n'auraient ni siège où résider ni intervalle où se mouvoir, comme nous voyons qu'ils se meuvent. Hors de ces deux choses, on ne peut plus rien saisir d'existant, ni sensiblement ni par analogie au sensible ; rien d'existant à titre de substances complètes, car il n'est pas ici question de ce que nous appelons les attributs ou accidents de ces substances. Maintenant, parmi les corps, on doit distinguer les composés et ceux dont les composés sont faits : ces derniers corps sont insécables et immuables — et il le faut bien pour que toutes choses ne se résolvent pas en non-être et pour qu'il y ait des réalités capables de subsister dans la dissolution des composés ; de plus, ces corps élémentaires sont essentiellement pleins, de sorte que la dissolution ne sait par où ni comment les prendre. Et, par là, les éléments des corps sont des substances insécables.

Les corps insécables et pleins, dont sont formés et dans lesquels se résolvent les composés, présentent un nombre de formes différentes trop grand pour que nous puissions le saisir : car le nombre prodigieux des formes différentes offertes par les composés ne peut pas provenir d'un nombre concevable de formes élémentaires toujours les mêmes. De plus, chaque sorte de forme comporte un nombre infini d'exemplaires ; mais, envisagées quant à leurs différences, les formes ne sont pas en nombre absolument infini : elles dépassent seulement tout nombre concevable, à moins qu'on ne s'avise de considérer les grandeurs des atomes comme pouvant aller à l'infini. Ajoutons que les atomes sont, depuis l'éternité, dans un mouvement perpétuel. Les uns dans leur mouvement laissent subsister entre eux de très grandes distances ; les autres, au contraire, gardent là

même leur vibration, s'ils se trouvent pris dans un enchevêtrement ou enveloppés par des atomes enchevêtrés. Et en effet, ce résultat provient d'abord du vide qui, au sein même des composés, isole en lui-même chacun des atomes, faisant ainsi que rien n'appuie sur chacun des atomes pour l'immobiliser ; puis, d'autre part, la solidité qui appartient aux atomes fait qu'ils rebondissent après le choc, autant du moins que leur enveloppement par le composé leur permet de reprendre, à la suite du choc, leur position primitive. Il n'y a pas de commencement à ces mouvements, parce que les atomes et le vide sont éternels. »

Épicure pose clairement les choses : **la seule réalité est la matière**. Les dieux, matériels, sont indifférents par nature aux hommes, et ne sont donc pas à craindre. Ils sont à jamais isolés du monde des hommes. (et deviendront bientôt inutiles).

Tout savoir découlant de l'observation par les sens, les deux, sens et raison, sont indissociables. Les observations doivent donc précéder les conclusions, et certaines observations permettent d'établir des jugements de portée universelle, des « lois ». Tout est là. Et sera ignoré pendant 1800 ans... jusqu'au 18^e siècle !

Lorsqu'il envisage le mouvement des atomes, Épicure fait preuve d'une intuition géniale, diamétralement opposé aux conceptions aristotéliennes qui s'imposeront historiquement. En effet, il déclare :

« Lorsqu'ils sont emportés à travers le vide, les atomes ne rencontrent aucune résistance et, par conséquent, doivent tous être animés de vitesses égales. En effet, les atomes lourds ne se mouvront pas plus vite que ceux qui sont petits et légers, quand ni les uns ni les autres ne rencontrent aucun obstacle ;

et les atomes de petit volume ne se mouvront pas plus lentement que les grands, quand les petits atomes eux-mêmes ne subissent aucune résistance, ce qui les rend capables d'accomplir un trajet quelconque en aussi peu de temps qu'on veut. Et cette égalité de vitesse dans le vide a lieu aussi bien pour le mouvement transversal imprimé par un choc que pour le mouvement vers le bas donné à chaque atome par son poids propre. Car, tant qu'un atome conservera l'impulsion qu'il a reçue d'un choc et celle qui lui vient de son propre poids, pendant tout ce temps il se mouvra aussi vite que la pensée, cela jusqu'à ce qu'une chose lui résiste soit en vertu d'une impulsion d'origine antérieure, dont elle serait elle-même animée, soit en vertu de son propre poids. »

Inutile de souligner l'importance du concept qui permet d'inférer l'égalité des vitesses de corps de masses différentes lors de leur déplacement dans le vide : rien ne s'en approchera avant Galilée, 20 siècles plus tard ! Et que dire de l'idée d'un mouvement qui se perpétue jusqu'à ce que quelque « chose lui résiste » : l'inertie de Newton n'est pas loin... 2000 ans, à peine...

Épicure, toutefois, doit expliquer comment les atomes peuvent s'entrechoquer alors qu'ils sont censés se déplacer à la même vitesse, dans le vide. Il invente alors une disposition particulière, le « *clinamen* », qui les pousse à dévier de leur trajectoire pour se rencontrer. Nombre de doctes linguistes ont traduit, avec raison, *clinamen* par déclinaison, avec le sens d'une inflexion de trajectoire, mais pour nous, scientifiques, les termes « force », « attraction », « interaction » ne doivent-ils pas être considérés comme étant plus proche de l'idée du philosophe ?

Si Épicure nous est connu, c'est surtout grâce à l'un des très rares philosophes latins : le sage Lucrèce (— 99, -55), qui va le

premier tirer les conséquences logiques du matérialisme : aux dieux indifférents et lointains d'Épicure, il oppose une conception logiquement équivalente : l'absence de dieux, ce qu'il accompagne, dans sa sombre verve poétique, d'une critique radicale de la religiosité et de la superstition. Une seule œuvre, inachevée, lui sert à exposer la physique, et en passant la philosophie, d'Épicure, et à la dépasser même : **de rerum natura** (« de la nature des choses »)

J'adore cet auteur. Que dit-il ?

*« Il faut poser d'abord notre premier principe
Rien n'est jamais créé divinement de rien ».*

Les particules élémentaires (oui) Lucrétiennes sont les atomes, éternels, variés, innombrables et insécables, de Démocrite et Épicure. Dès lors, rien n'existe hormis eux, le vide et le mouvement :

*« Tous sont en mouvements incessants et divers
Soit qu'ils s'écartent loin après s'être heurtés,
Soit qu'ils restent voisins tout en s'entrechoquant. »*

Lucrèce détaille ensuite la notion de *clinamen*, que personnellement je transcrirais par “force attractive” :

*“Pendant qu'ils tombent droit, entraînés dans le vide
Par leur poids, en un lieu et un moment quelconques
Les atomes dévient, mais très peu, juste assez
Pour que leur mouvement puisse être dit changé.
S'ils ne déviaient ainsi, tous tomberaient tout droit,
Comme gouttes de pluie, dans le vide sans fond :*

*Il n'y aurait entre eux ni rencontres ni chocs ;
La nature jamais n'aurait rien pu créer. "*

Et cela suffit : les combinaisons d'atomes, grâce au *clinamen* qui les attire et aux propriétés intrinsèques qui les unissent momentanément, forment la matière. La matière, le vide et le mouvement expliquent l'univers. Avec Démocrite et Épicure, il n'y avait plus de métaphysique utile. Elle devient à présent clairement optionnelle :

*" Si tu possèdes bien ce savoir, la nature t'apparaît
Aussitôt libre et dépourvue de maîtres tyranniques,
Accomplissant tout d'elle-même sans nul secours divin. "*

Et rien, hormis les atomes eux-mêmes, n'est éternellement organisé. Ni le corps, ni l'esprit, ni l'âme, tous obligatoirement arrimés à la matière, ne sauraient éternellement survivre, car tout ce qui est organisé finit par retourner à l'état atomique :

*" Rien ne s'anéantit ; toute chose retourne,
Par division, aux corps premiers de la matière. "*

L'examen de la nature et son explication (*naturae species ratioque*), formulation quatre fois reprise par Lucrèce dans son poème, exclut toute théologie, tout idéalisme, tout spiritualisme.

Bien entendu, **les atomes de Lucrèce ne sont pas "nos" atomes**, mais conceptuellement, **l'avance sur les autres idées sur la structure de la matière est phénoménale** : à la suite du "règne" de Platon et des idées désincarnées, règne favorisé par la mystique chrétienne, les atomes vont quasiment disparaître pendant... 17 siècles ! Ils ne reviendront timidement sur le devant de la scène de la connaissance qu'en 1620 avec Isaac Beeckman, mathématicien hollandais contemporain de et ami de Descartes, qui reprend les idées de Lucrèce et développe l'idée d'un "étage" intermédiaire entre les atomes et la matière, la

molécule. Par la suite, les plus célèbres scientifiques seront partisans d'une structure corpusculaire tant de la matière (Galilée — *il saggiatore* , 1623) que de la lumière (Isaac Newton, alchimiste bien connu pour ses modestes contributions à la physique, et que nous allons retrouver très bientôt).

Expérience de Lucrèce
pour suggérer l'existence de atomes

(pouvant facilement être répétée devant les élèves, la toge n'étant pas obligatoire, mais vivement conseillée)

Lucrèce verse dans un récipient du sable grossier, puis du sable de plus en plus fin, puis, enfin, de l'eau:

«voyez, plus les grains qui composent le sable sont fin et plus il coule et se comporte comme de l'eau. Se pourrait il que l'eau elle même soit faire de grains indivisibles, trop ténus pour nos sens ?»

Ces grains, d'autres avaient, plus d'un siècle auparavant, tenté de les mettre en évidence, et pensaient même y être parvenus: le médecin Erasistrate de Cos (-310 -250) pense que toute matière étant pesante, des "morceaux" non visibles doivent s'en détacher: pour le prouver, il fait une expérience: un oiseau enfermé dans une cage, sur une balance, perd du poids... une observation qu'il explique par la perte de ces «grains invisibles de matière» (ce qui nous montre encore une fois que l'expérience ne suffit pas). Il est possible de faire, à partir de cette expérience, travailler les élèves sur la différence entre fait et interprétation - on peut aussi utiliser pour cela les expériences de [Van Helmont](#)).

L'œuvre de Lucrèce, qui a survécue, va transmettre l'idée de l'atomisme et du matérialisme qui lui est afférent, et qui va, de temps à autre, redevenir apparente, avant d'être fermement combattue par l'obscurantisme religieux auquel nous devons, aujourd'hui encore, le caractère péjoratif du mot "matérialiste"...

Ainsi, Marco Aurélio Severino, en 1632, prendra clairement parti pour l'atomisme dans ses ouvrages, dont un est spécifiquement consacré à la réfutation de la physique d'Aristote (*Antiperipatias, hoc est adversus Aristoteleos*) alors qu'un autre, la "zootomie selon Démocrite" paru en 1645 fonde, après le premier essai de Belon, et sa célèbre planche comparative des squelettes humains et d'oiseau, une comparaison systématique de l'anatomie de différents animaux. Severino montre clairement les correspondances anatomiques entre animaux qui semblent relever d'un même "plan". Un des chapitres de son livre s'intitule d'ailleurs clairement "*de unitate corporis animalis*"...

Le mot "zootomie", dérive du grec *zoon*, animal, et *atomein* », indivisible : il s'agit bien d'analyser les animaux, de les découper jusqu'à leurs constituants invisibles et insécables. C'est pour cela que Severino insiste sur l'observation des plus petites parties des êtres vivants. Sa démarche est explicitée par le titre de son livre (*ci-contre*) : il s'agit de trouver les « atomes » de la biologie, qui finiront par être identifiés comme étant les cellules, mais ne seront aperçus par Hooke que 22 ans plus tard. Bien entendu, Severino fut poursuivi par l'inquisition...

Severino est aussi souvent crédité de la paternité de l'utilisation d'un microscope et des conseils pour l'utiliser dans l'étude de l'anatomie. Ce n'est pourtant pas ce qui apparaît à la lecture de son ouvrage, ou il semble plutôt qu'il explique

comment utiliser les parties d'un œil de poisson pour obtenir des lentilles grossissantes, certes utiles, mais que l'on ne peut appeler réellement un microscope (terme popularisé par Demisiano l'année même de parution de la *zootomia* ; les premiers microscopes optiques datant du début du 17^e siècle) .

Il existe des rapports entre l'atomisme et la théorie cellulaire : dans les deux cas, il y a une recherche d'un « constituant ultime » de la matière et du vivant. Que les êtres vivants soient constitués eux aussi d'atomes, cela ne fait pas doute pour les tenants de cette hypothèse, tout au long de l'histoire, mais comme les atomes ne sont que matière, et donc pas vivants par eux-mêmes, la recherche de la plus petite unité vivante, caractérisant l'organisation des êtres vivants, reste d'actualité : le lien se fait, au début de la renaissance, entre les atomistes et le monde vivant.

Je citerai pour cela Diderot, qui, dans son texte le plus libre et le plus inspiré, *le rêve de d'Alembert*, écrit distinctement : « *Un point vivant... Non, je me trompe. Rien d'abord, puis un point vivant... À ce point vivant, il s'en applique un autre, encore un autre ; et par ces applications successives il résulte un être un, car je suis bien un, je n'en saurais douter...* »

La recherche d'une granularité du réel a été dans les deux cas un moteur essentiel, même si, dans le cas de l'atomisme, l'accent a été mis sur l'opposition entre atomes et vide alors que pour les « points vivants » des êtres, l'accent était porté sur les caractéristiques de leur juxtaposition, de leur comportement collectif. Nous retrouverons cette quête dans l'élaboration de la [théorie cellulaire](#).

4

Cinétique et marquises

«*Le mouvement, c'est maintenant !*» (paroles d'un célèbre immobiliste).

Cinétique m'était contée

«E pur si muove !» (Et pourtant, elle est mobile !)

Galilée (d'après la légende), après son abjuration

L'étude de la mise en place et de la mathématisation de la notion d'énergie cinétique va nous permettre d'illustrer à la fois l'ingéniosité des observateurs et des expérimentateurs, de nous appuyer sur eux pour des travaux pratiques faciles à réaliser en classe, et va de plus nous donner l'occasion de bien distinguer les mathématiques de la physique, un point d'une grande importance bien trop souvent escamoté dans les pratiques scolaires qui font de la physique une « simple » application de virtuosité mathématique.

S'il n'est pas possible de savoir à quel moment l'idée d'énergie cinétique s'est dégagée, c'est tout simplement parce que cette dernière fait partie de notre expérience quotidienne. Nul doute que dès l'antiquité la plus reculée, des notions au moins empiriques sur les rapports entre vitesse, masse et énergie, sous des noms différents, ont été remarquées. Les militaires, par exemple, se sont vite aperçus qu'une arme légère dotée d'une haute vélocité (flèche, lance avec propulseur) pouvait causer plus de dégâts qu'une arme plus massive, mais moins rapide (comme une massue).

Les anciens livres hindous n'ont pas contribué significativement à l'élaboration de la science moderne, mais c'est chez eux que l'on retrouve les plus anciennes traces de réflexion rationnelle sur ces problèmes: Des -700, dans le *Vaisesika Sutra*, se trouve une première description de la quantité de mouvement, ainsi que la mention que si les objets chutent, c'est qu'ils sont attirés par la Terre. Newton s'occupera de cela 22 siècles plus tard; mais auparavant; sous les cieux grecs (encore)...

Straton de Lampsaque (-338, -269) était un scientifique d'importance: surnommé « le physicien », il fut le second successeur d'Aristote à la tête du Lycée, a exercé en Égypte, à Alexandrie, comme précepteur du futur Ptolémée II, ce qui lui permit d'être un des maîtres du grand Aristarque de Samos, père de l'héliocentrisme. Il rencontra également les pères de la Médecine, Erasistrate et Hérophile, se mouvant dans un milieu d'une puissance intellectuelle considérable. Lui même était chétif et souvent malade.

Straton s'opposait à Platon, et sa philosophie était on ne peut plus matérialiste: il déniait toute possibilité d'immortalité de l'âme, avec quelques arguments dont un, préfigurant la notion d'entropie, mérite d'être cité:

« les êtres se transforment de façon linéaire; ainsi un homme, d'abord jeune, vieillit inexorablement jusqu'à sa fin. L'inverse ne se produisant jamais. Il existe donc un mouvement inexorable vers la dégradation des êtres. De même, un organe de chair peut devenir nourriture, mais jamais l'inverse. »

Pour Straton, le monde procède du hasard, de la nature et du mouvement, il n'y a pas de place pour la divinité ni dans son origine ni dans son cours. Bien que n'étant pas favorable à l'atomisme de Démocrite, il élabore le sien propre, admettant l'existence de corps microscopiques agissant entre eux dans le vide, mais un vide limité, constitutif des corps. Un de ses ouvrages s'intitule d'ailleurs « du vide »; ce qui prouve son indépendance intellectuelle vis-à-vis d'Aristote, pour qui ce dernier n'existait pas. Il écrit aussi un ouvrage intitulé « des forces ».

Diogène Laërce nous dit *« Straton, comme nous l'avons déjà dit, était un homme estimable, versé dans toutes sortes de sciences, et principalement dans la physique, qui est la plus ancienne, et la plus digne qu'on s'y applique. »*

Vers -300, Straton découvre que la chute libre est un mouvement accéléré. Il se base sur des observations simples, qu'il est facile de refaire en classe:

- l'eau qui coule d'un toit tout d'abord en un mince filet qui se scinde ensuite en paquets discontinus.
- une pierre qui s'enfonce plus si elle tombe de plus haut (une belle observation que nous retrouverons, quelques 20 siècles plus tard, sous forme d'une expérience véritable qui comportera mesure et mathématisation).

Pour Straton, le choc produit par la chute d'un corps est proportionnel à la distance qu'il a parcourue, et cet effet ne peut être imputable qu'à un accroissement de sa vitesse (la physique de Straton, G. Rodier, 1890 p. 64). Contrairement à Aristote, Straton mesure expérimentalement ces effets (d'après Simplicius). Nous verrons le même genre d'expérience se renouveler à la Renaissance (et comment les réitérer dans la salle de classe).

A priori, si l'on songe à un scientifique ayant établi les lois du mouvement, un nom vient en premier sur les lèvres, celui qui s'est hissé sur les épaules des « géants », Isaac Newton. Si l'on se base sur nombre de manuels, Newton découvre les lois du mouvement. Pour flatter la vanité française, on précise parfois que son œuvre est présentée et traduite en France par le grand Voltaire et sa bien aimée Marquise du Châtelet.

Toutefois, les choses ne se sont pas vraiment passées comme cela, et ce n'est pas manquer de respect à la mémoire du Titan de Cambridge que de mentionner que les fameux « Principia », malgré leur importance et leur prééminence intellectuelle, n'étaient pas exempt d'erreurs.

Mais auparavant, il nous faut retourner vers le fondateur de la physique moderne, Galilée en personne, qui s'interroge et expérimente sur les mouvements et la chute des corps. Le sujet est « à la mode » à cette époque, et, en France, un scientifique nommé René Descartes, lecteur du « *discours sur deux sciences nouvelles* » du maître, paru en 1638, va s'en emparer. Descartes a marqué l'histoire de la philosophie. Il s'est orienté vers cette dernière, renonçant à publier ses écrits astronomiques héliocentriques lorsque Galilée passa bien près du bûcher pour avoir osé s'opposer à la « sainte » vérité révélée chrétienne (qui semble avoir étonnamment changé depuis). Nous retrouverons cette symptomatique affaire, ou l'Église révèle son vrai visage, de temps à autre. Comme l'écrivit D'Alembert dans le discours

préliminaire de l'encyclopédie, « *C'est ainsi que l'abus de l'autorité spirituelle réunie à la temporelle forçait la raison au silence ; et peu s'en fallut qu'on ne défendit au genre humain de penser.* »

Nicolas d'Autrecourt (1299-1369),

un précédent fâcheux

Bien avant Galilée, un autre physicien, Nicolas D'Autrecourt, aura eu à connaître les joies d'une abjuration publique.

D'Autrecourt s'opposait fortement à la tradition Aristotélicienne, du moins sous sa vulgate catholique alors enseignée. Il considère que toutes les choses sont éternelles, et que les apparences proviennent du mouvement subi par leurs parties indivisibles.

Reprenant et transformant l'atomisme de Démocrite, d'Autrecourt considère que non seulement la matière est granulaire, constituée d'atomes, mais qu'il en est de même pour l'espace et le temps ! Ces derniers sont constitués de « points » et de « moments ». Sa démarche scientifique met en avant l'intérêt du doute méthodique, bien qu'il défende la véracité des perceptions sensorielles : pour lui, l'information apportée par les sens se double toujours d'un jugement, l'alliance des deux conférant des informations valables sur le monde. D'Autrecourt distingue 4 « degrés de vérité » des connaissances : le certain, l'évident, le clair et le probable. Il est un des premiers à développer le caractère probabiliste de la connaissance, considérant que ses idées atomistes sont simplement les plus probables et renvoyant au futur (*il ne savait pas à quel point il serait lointain*) le changement de statut de cette « vérité partielle ».

Le 19 mai 1346, le pape Clément VI le condamne pour hérésie, sous l'accusation d'athéisme (ce qui pourtant n'était guère le cas). En 1347, il devra abjurer publiquement ses thèses

devant l'Université de Paris, après l'avoir fait en Avignon. Ses livres seront, à cette occasion, rassemblés et brûlés publiquement.

L'église a « bien » accompli son habituelle besogne obscurantiste : les livres d'Autrecourt ne nous sont pas parvenus, et ce que nous connaissons de ses conceptions provient de quelques lettres, dont deux (sur neuf écrites) adressées au Théologien Bernardus Aretinus. Ironiquement, des fragments des lettres manquantes nous sont parvenus grâce au compte rendu de son procès...

Malheureusement, et malgré ses succès en mathématiques, il s'avère que presque tous les apports de Descartes à la physique ont été des erreurs notoires, retardant même parfois l'adoption en France des conceptions plus exactes de scientifiques étrangers (*une constante dans l'histoire de notre pays, que nous retrouverons encore avec l'évolution ou la chimie: un scientifique « bien de chez nous » est, pour cette seule raison, considéré comme éminemment supérieur à ses collègues étrangers, surtout s'ils appartiennent à une nation en conflit avec la notre à l'époque*).

Ainsi Descartes, dans ses « principes », parus en 1644, avait défini une quantité mv , qu'il avait dénommé *quantité de mouvement*, et affirmait que dans un système isolé, la somme des quantités de mouvement était invariable: « *Dieu est la première cause du mouvement, et il en conserve toujours une égale quantité en l'univers.* » (Voilà une formulation qui assure une médaille de la part de la très sainte inquisition !)

Malheureusement pour Descartes, un autre scientifique, de la trempe d'un Newton, et dont l'affrontement avec ce dernier sera homérique, va corriger cette conception (qui n'était pas tout à fait fausse, dans le cas particulier d'un choc élastique). Gottfried Wilhelm Leibniz (puisque'il faut l'appeler par son nom) propose

entre 1676 et 1689 une nouvelle grandeur caractéristique des corps en mouvements qu'il nomme « *force vive* » ou *vis viva*, qui se conserverait et qui vaudrait mv^2 . Remarquable polémiste, Leibnitz se fend en 1686 d'un article dans les *Acta Eruditorum* de Leipzig intitulé « *Démonstration courte d'une erreur considérable de M. Descartes et de quelques autres touchant une loi de la nature selon laquelle ils soutiennent que Dieu conserve dans la matière la même quantité de mouvement, de quoi ils abusent dans la mécanique* ». Les héritiers spirituels de Descartes (qui avait eu la prudence de mourir 36 ans auparavant) crurent utile d'entamer une controverse à ce sujet avec Leibnitz... car ils se sentaient soutenus par Newton lui-même ! En effet, le découvreur de la gravitation universelle était, lui, favorable à une « *force vive* » exprimée par le produit mv ...

Comment arbitrer ce désaccord entre deux titans de la physique? La parole reste à l'expérience, et ce sont des ingénieurs qui vont laisser leurs réalisations techniques trancher entre les deux possibilités. Le premier à soutenir Leibnitz est John Smeaton (1724-1792), le « *génie civil* » anglais, constructeur d'ouvrages d'art, mais aussi physicien s'intéressant aux pressions et vitesses ainsi, comme tous les autres ingénieurs de son siècle, qu'aux machines à vapeur. Par la suite, d'autres spécialistes de ces machines, comme M. Seguin (ponts métalliques) ou P. Ewart, qui défendra les idées de conservation de l'énergie de Smeaton dans son livre de 1813, *On the measure of moving force*. G.A. Hirn, spécialiste des moteurs thermiques qui écrira en 1868 une des œuvres majeures du 19^e siècle, *Conséquences philosophiques de la théorie de la thermodynamique*, sera également en faveur d'une grandeur conservée dans les systèmes mécaniques et de valeur mv^2 .

Toutefois, il ne s'agissait pas de la « *force vive* » au sens strict de Leibnitz, car la « *disparition* » d'une partie de cette énergie dans les systèmes avait été mise en évidence par J. Playfair (1748 —

1819), et il apparut rapidement que le rôle de la chaleur avait été « négligé » par plusieurs spécialistes des machines à vapeur. Pourtant, dès 1798, les observations du physicien B. Thomson (1753-1814), compte de Rumford, sur la production de chaleur liée à l'alésage des futs de canons, confirmeront la transformation de l'énergie (non encore appelée par ce nom, il faudra attendre Young en 1807) en chaleur.

La « force vive » mv^2 ne deviendra énergie cinétique $(1/2)mv^2$ qu'après 1840, lorsque G. Coriolis (qui la nomme quantité de travail) puis Jean-Victor Poncelet (qui la nomme travail mécanique) vont la mettre en évidence par des travaux « pratiques », expérimentaux, liés à leurs activités d'ingénieur.

Ce résumé nous montre combien est artificielle la distinction entre science et technique, si fréquemment rencontrée, la caractérisation de l'énergie cinétique et sa formulation étant le résultat d'une collaboration entre théoriciens de la physique et constructeurs de machines.

Afin de souligner l'indiscutable apport de la religion aux progrès des sciences, voici le texte intégral de l'abjuration de Galilée. Malgré des tentatives (post)modernes acrobatiques de réhabilitation de l'inquisition, il est à noter que la «sentence» était censée être LA vérité chrétienne jusqu'à la «repentance» abjecte de 1992... On y lira aussi que l'un des grand problème traités concerne bien le mouvement de la Terre.

Sentence

L'opinion que le Soleil est au centre du monde et immobile est absurde, fautive en philosophie, et formellement hérétique, parce qu'elle est contraire à la Sainte Ecriture.

Abjuration

Moi, Galileo Galilei, fils de feu Vincent Galilée, Florentin, âgé de 70 ans, constitué personnellement en jugement, et agenouillé devant vous, éminentissimes et révérendissimes cardinaux de la république universelle chrétienne, inquisiteurs généraux contre la malice hérétique, ayant devant les yeux les saints et sacrés Evangiles, que je touche de mes propres mains; je jure que j'ai toujours cru, que je crois maintenant, et que, Dieu aidant, je croirai à l'avenir tout ce que tient, prêche et enseigne la sainte Eglise catholique et apostolique romaine; mais parce que ce Saint Office m'avait juridiquement enjoint d'abandonner entièrement la fautive opinion qui tient que le Soleil est le centre du monde, et qu'il est immobile; que la Terre n'est pas le centre et qu'elle se meut; et parce que je ne pouvais la tenir, ni la défendre, ni l'enseigner d'une manière quelconque, de voix ou par écrit, et après qu'il m'avait été déclaré que la susdite doctrine était contraire à la Sainte Ecriture, j'ai écrit et fait imprimer un livre dans lequel je traite cette doctrine condamnée, et j'apporte les raisons d'une grande efficacité en faveur de cette doctrine, sans y joindre aucune solution; c'est pourquoi j'ai été jugé véhémentement suspect d'hérésie pour avoir tenu et cru que le Soleil était le centre du monde et immobile, et que la Terre n'était pas le centre et qu'elle se mouvait.

C'est pourquoi, voulant effacer des esprits de vos Eminences et de tout chrétien catholique cette suspicion véhémement conçue contre moi avec raison, d'un coeur sincère et d'une foi non feinte, j'abjure, maudit et déteste les susdites erreurs et hérésies, et généralement toute autre erreur quelconque et secte contraire à la susdite sainte

Eglise : et je jure qu'à l'avenir je ne dirai ou affirmerai de vive voix ou par écrit, rien qui puisse autoriser contre moi de semblables soupçons; et si je connais quelque hérétique ou suspect d'hérésie, je le dénoncerai à ce Saint Office, ou à l'inquisiteur, ou à l'ordinaire du lieu où je serai. Je jure en outre, et je promets, que je remplirai et observerai pleinement toutes les pénitences qui me sont imposées ou qui me seront imposées par ce Saint Office; que s'il m'arrive d'aller contre quelques-unes de mes paroles, de mes promesses, protestations et serments, ce que Dieu veuille bien détourner, je me sou mets à toutes peines et supplices, par les saints canons et autres constitutions générales et particulières, ont été statués et promulgués contre de tels délinquants. Ainsi, Dieu me soit en aide et ses saints Evangiles, que je touche de mes propres mains.

Moi, Galileo Galilei susdit, j'ai abjuré, juré, promis, et me suis obligé comme ci-dessus; en foi de quoi, de ma propre main j'ai souscrit le présent chirographe de mon abjuration et l'ai récité mot à mot à Rome, dans le couvent de Minerve, ce 22 juin 1633.

Moi, Galileo Galilei, j'ai abjuré comme dessus de ma propre main."



Galileo Galilei

Mme la Marquise

*Voltaire: «songez que les boulets ne vous épargnent guère;
que du plomb dans un tube entassé par des sots
Peut casser aisément la tête d'un héros,
Lorsque multipliant son poids par sa vitesse...»*

Emilie: «Non, mon ami, par le quarré (sic) de sa vitesse!»

Comment s'est comportée la traductrice française des œuvres de Newton ? En scientifique authentique, ce que n'était pas son mentor et amant le grand Voltaire, qui cependant motiva et soutint avec enthousiasme la vulgarisation de l'œuvre de Newton, qu'il admirait.

Émilie du châtelet n'hésite pas en effet à contredire son modèle: contre Newton, elle montre que « l'énergie cinétique » (ce terme ne viendra que bien plus tard, nous l'avons vu) d'un corps en mouvement n'est pas liée au produit mv , comme le soutenait le génie anglais, mais à la quantité mv^2 , comme l'affirme Leibnitz, le concurrent allemand de Newton.

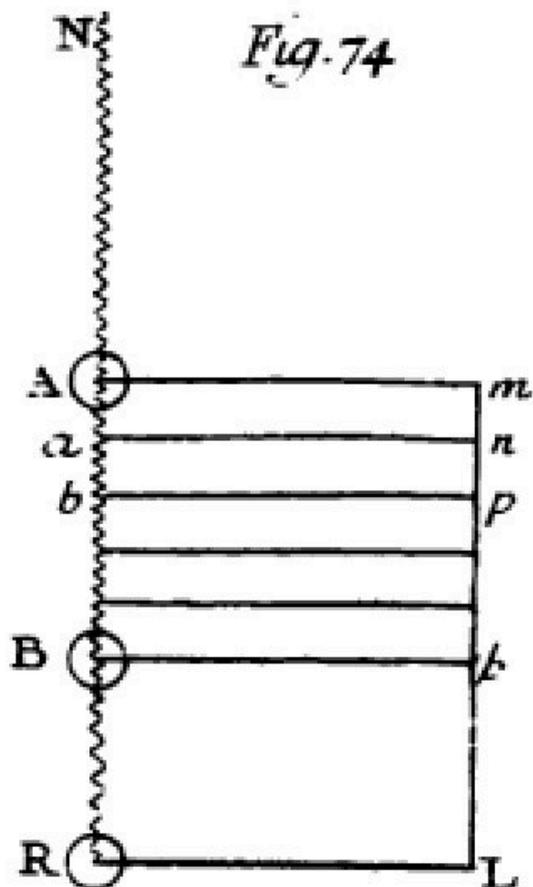
Émilie, dans ses *institutions de physique*, parues en 1740, décrit ainsi (p 421) une démonstration de la proportionnalité de l'énergie cinétique au carré de la vitesse, comme Liebniz l'avait inféré.

(J'ai transcrit la graphie du 17e siècle et adapté les tournures de phrases pour plus de clarté. Je reproduis aussi par la suite le schéma correspondant, qui dans son livre se situe en fin d'ouvrage, sur le même feuillet que de nombreux autres):

« Les forces vives des corps sont comme le carré des vitesses. Preuve de cette vérité par la chute des corps

La gravité presse uniformément les corps graves à chaque instant et dans tous les points où ils se trouvent pendant leur chute vers la Terre. Je puis donc considérer la gravité, quant à ses effets, comme un ressort infini NR, qui presse également un corps A dans tout l'espace AB et qui le suit en le pressant toujours également et en accélérant continuellement son mouvement vers B par les nouvelles pressions qu'il lui imprime dans tous les points qui sont entre A et B.

Or, si on exprime la pression que le corps éprouve en A par la ligne Am, celle qu'il reçoit dans le moment le plus proche par la



ligne an , la pression suivante par bp et ainsi de suite jusqu'en B, où le corps se trouve actuellement, on voit que toutes ces lignes Am , an , bp etc font le rectangle Ab , et que la force vive acquise en B doit être représentée par ce rectangle, puisqu'elle est composée de la somme de toutes les pressions reçues pendant le temps AB (pressions représentées par les lignes Am , an , bp , Bb).

Ainsi, la force vive du corps A arrivé au point B sera a celle d'un corps R qui serait descendu de A en R comme le rectangle Ab au rectangle AL , c'est à dire comme les espaces

AB AR (car les rectangles qui ont la même hauteur sont entre eux comme leurs bases - Euclide livre 6, proposition première).

Les forces que les corps ont reçues en A et en R doivent être nécessairement comme ces lignes AB AR car d'après le paragraphe précédent, les forces vives doivent être entre elles comme le nombre des ressorts égaux et semblables qui se sont détendus et qui ont communiqué leurs forces aux corps en mouvements. Or, le nombre de ces ressorts est évidemment ici comme les espaces AB AR puisque dans un espace double il y a deux fois plus de ressorts que dans un espace sous-double. Les forces vives des corps que la gravité fait descendre doivent donc être entre elles comme les espaces AB AR .

On a vu au chap. 13 qu'il est démontré par la théorie de Galilée que les espaces que la gravité fait parcourir aux corps qui tombent vers la Terre sont comme le carré des vitesses: les forces vives que les corps acquièrent en tombant sont donc aussi comme les carrés de leur vitesse, puisque ces forces sont comme les espaces. »

Dans le paragraphe suivant, Mme du Châtelet crédite « M. de Leibnits » de cette découverte, amplement, dit-elle, confirmée expérimentalement.

Elle-même réitère les expériences réalisées 10 ans auparavant par W.J. Gravesande. Ce dernier avait mesuré la profondeur des empreintes réalisées dans de l'argile molle par la chute de billes métalliques d'une hauteur donnée. D'après Newton, la profondeur de l'empreinte devait varier comme la hauteur de chute (si la hauteur est $\times 2$, l'empreinte est $\times 2$) alors que d'après Leibnitz, elle devrait varier comme le carré de cette variation de hauteur (si hauteur $\times 2$, empreinte $\times 4$).

L'expérience donne raison à Leibnitz. Cela n'éteindra pas la controverse pour autant, car, nous l'avons vu, ce sont des ingénieurs qui établiront, par l'application technique, donc l'expérience, la valeur correcte de l'énergie cinétique.

Des expériences formatrices dans le cadre scolaire.

Il est aisé pour le professeur de physique de faire réaliser par les élèves des expériences historiques sur ces problèmes.

Une expérience de Galilée

Description par E du Châtelet (institution de physique, p 165): « il prit un grand tuyau de bois haut de douze coudées et large d'environ un pouce au dedans duquel il colla un parchemin très léger, afin qu'il fût uni autant qu'il se pouvait être; et ayant élevé le bout supérieur de ce canal sur un plan horizontal d'une, deux, et successivement de plusieurs coudées, en sorte que ce canal devenait un plan incliné, il laissa tomber une petite boule de cuivre parfaitement ronde et parfaitement polie le long de ce canal. La faisant tomber successivement de la longueur entière, ou du quart, ou de la moitié de ce canal, il trouva toujours dans ses expériences, qu'il assure avoir répétées jusqu'à cent fois, que les temps de la chute étaient en raison tous double des espaces parcourus »

On peut, avant de faire refaire ces expériences par les élèves (*de la tuyauterie plastique remplacera avantageusement le bois et le parchemin ! - deux tubes de longueur allant du simple au double, une bille de verre, un chronomètre - le smartphone des élèves ! - et en avant*) les interroger sur ce texte:

- Pourquoi la bille doit-elle être polie ?
- À quoi sert le parchemin ?
- Pourquoi avoir répété cent fois les expériences ?

Par la suite, Mme du Châtelet décrit les expériences de deux jésuites, Riccioli et Grimaldo, qui ont mesuré, au moyen d'un pendule, le temps de chute d'objets depuis « *des tours différemment élevées* » et trouvèrent que « *les différences de hauteur étaient comme les carrés des temps de chute* ».

Expérience de Malebranche (Gravesande)

Il est aisé de reproduire les expériences de Gravesande: les élèves laissent tomber d'une hauteur de 1 m, puis 2 m, des sphères (des grosses billes d'acier ou de verre) sur de l'argile ou, plus faciles à se procurer (*cette idée est celle du Pr Mathieu, du temps qu'il enseignait au collège d'Auterive*) sur de la mousse déformable utilisée par les fleuristes, et dont on trouve des blocs, dans le commerce, facilement. Ils mesurent ensuite la profondeur de l'empreinte réalisée.

Bien entendu, ce sera aussi l'occasion de faire réaliser une moyenne des divers résultats obtenus, et de mentionner leur imprécision.

Différence entre math et physique

Il s'agit de proposer deux fois la même expression mathématique, mais de demander dans un cas un traitement mathématique, dans l'autre un traitement physique, et de souligner expérimentalement la différence.

Pour cela, montrer on résultat a priori contre-intuitif, à savoir que la masse d'un corps ne joue aucun rôle dans sa vitesse de chute est idéal.

Voici une présentation possible

a) Un exercice mathématique: calcul littéral

Soit $F = ma$ et $G = -GMm/d^2$

Sachant de $F=G$, donnez une expression de la valeur du paramètre a .

b) De la physique

Un objet de masse m chutant vers le sol est soumis à une force F dont l'intensité est donnée par $F = - GMm/d^2$, avec G constante, M masse de la Terre et d distance entre la terre et l'objet.

L'intensité de la force que subit cet objet peut aussi être calculée comme étant le produit de sa masse et de son accélération a , c'est-à-dire que $F = ma$

1 : trouver, en utilisant les deux expressions de F , une expression de la valeur de l'accélération subie par un corps en chute libre.

2 : que peut-on déduire, physiquement, de cette expression ?

3 : proposer une expérience permettant de vérifier votre précédente déduction. Réalisez là. Vos résultats confirment-ils vos déductions ?

c) Expérience de confirmation

Si la majorité des élèves sèche, ou ne fait pas le travail, Il s'agit de montrer que l'accélération lors de la chute est indépendante de la masse, donc que des corps de masse différente chutent à la même vitesse. Notre ennemi, c'est la résistance de l'air.

Nous ne disposons pas de pompe à vide permettant de montrer, dans un tube assez long et transparent, la chute des corps. Aussi il nous faut une résistance de l'air la plus constante possible avec des objets de masse variée. De simples tubes d'aspirine, lestés de différentes masses, nous fournissent des volumes et des formes identiques permettant de maintenir la résistance de l'air dans des valeurs voisines .

À titre d'illustration historique, on trouve aussi sur youtube [une vidéo d'un astronaute](#) laissant tomber simultanément, sur la lune, une plume et un marteau.

Une erreur fréquente

On trouve déjà chez Giordano Bruno ce qui s'appelle le principe de relativité galiléen, avec une description de la fameuse expérience consistante à jeter une pierre du haut du mât d'un bateau en mouvement, et de constater qu'elle tombe bien à la verticale du mât, et ne reste pas « en arrière » du mouvement du bateau.

Cette expérience est bien entendue citée par Galilée, bien évidemment, mais attention: contrairement à ce qui est parfois dit, il ne l'a jamais réalisée !

C'est Gassendi qui, dans le port de Marseille, sur une galère royale, réalisera en grande pompe cette expérience (nous l'avons vu: l'expérience est bien un théâtre). Cette démonstration devait elle aussi concourir à faire admettre l'idée que la Terre tourne sur elle-même et autour du Soleil.

Les « institutions de physique »

Ce livre d'Émilie du châtelet, paru en 1740, est non seulement destiné à présenter en France la physique « moderne », de Newton, mais aussi à servir de « manuel scolaire ». Il s'ouvre par une préface dans laquelle Émilie s'adresse à son fils Louis Marie Florent. Je crois utile de reproduire ce qu'elle a écrit, à la fois pour la beauté de la langue et pour la pertinence du propos qui, hélas, n'a guère perdu de son actualité.

J'ai toujours pensé que le devoir le plus sacré des hommes était de donner à leurs enfants une éducation qui les empêchât dans un âge plus avancé de regretter leur jeunesse, qui est le seul temps où l'on puisse véritablement s'instruire ; vous êtes, mon cher fils, dans cet âge heureux où l'esprit commence à penser, et dans lequel le cœur n'a pas encore des passions assez vives pour le troubler.

C'est peut-être à présent le seul temps de votre vie que vous pourrez donner à l'étude de la nature. Bientôt les passions et les plaisirs de votre âge emporteront tous vos moments ; et lorsque cette fougue de jeunesse sera passée, et que vous aurez payé à l'ivresse du monde le tribut de votre âge et de votre état, l'ambition s'emparera de votre âme ; et quand même dans cet âge plus avancé, et qui souvent n'en est pas plus mûr, vous voudriez vous appliquer à l'étude des véritables sciences, votre esprit n'ayant plus alors cette flexibilité qui est le partage des beaux ans, il vous faudrait acheter par une étude pénible ce que vous pouvez apprendre aujourd'hui avec une extrême facilité. Je veux donc vous faire mettre à profit l'aurore de votre raison, et tâcher de vous garantir de l'ignorance qui n'est encore que trop commune parmi les gens de votre rang, et qui est toujours un défaut de plus, et un mérite de moins. [...]

Il faut accoutumer de bonne heure votre esprit à penser, et à pouvoir se suffire à lui-même: vous sentirez dans tous les temps de votre vie quelles ressources et quelles consolations on trouve dans l'étude, et vous verrez qu'elle peut même fournir des agréments et des plaisirs.

La « belle » Émilie

De très bons livres ont été écrits sur Émilie du Châtelet, et elle a marqué les esprits à son époque.

C'était une femme au physique plutôt ingrat, assez peu féminin. De plus, son activité intellectuelle la plaçait, très clairement, dans un monde alors réservé aux hommes. C'est sans doute en partie pour faire oublier cela qu'elle a développé un goût extravagant (même à l'époque) pour les robes, les bijoux et les chaussures, étant d'une élégance extrêmement recherchée, qui motivera nombre de railleries mondaines. Toutefois, Marie Françoise de Bouffer, qui était, elle, extrêmement belle, réalisait des pastels, écrivait des poèmes et collectionnait les amants, était une grande amie d'Émilie. Elle n'était donc pas détestée de toutes les jolies dames de cour.

Loin des salons mondains, les lettres d'une de leurs invitées, qui résida six mois à Cirey, Mme de Graphigni, permettent de mieux connaître la vie quotidienne d'une des premières physiciennes travaillant de concert avec le légendaire Voltaire.

On y découvre (outre une demeure glaciale) une Émilie extrêmement volontaire. Elle travaille toutes les nuits, ne dormant que deux heures, avec un copiste qui met au propre ses notes. Elle a de fréquentes et violentes disputes avec Voltaire, qui lui aussi travaille sans arrêt et ne supporte pas les critiques, étant extrêmement susceptible et de santé délicate. Lors de ces disputes, ou quand ils ne veulent pas être compris, ils se parlent en anglais. Émilie règne néanmoins sur Voltaire, qui l'adore. Dans « *Le monde comme il va* », il la dépeint sous les traits de Teone (féminisation du philosophe Teon d'Alexandrie), et écrit : « *Elle ne commettrait pas une légère injustice pour le plus grand intérêt ; elle ne donne à son amant que des conseils généreux ; elle n'est occupée que de sa gloire : il rougirait devant elle s'il avait laissé échapper une occasion de faire du bien,*

car rien n'encourage plus aux actions vertueuses que d'avoir pour témoin et pour juge de sa conduite une maîtresse dont on veut mériter l'estime. »

À Cirey, on fait jouer des pièces, quelques actes seulement, avec les invites présents qui doivent les apprendre (ce qui est courant à l'époque).

Il faut à Émilie, pour travailler, six ou sept tables de taille différente, dont une immense pour étaler ses papiers, et quelques-unes plus petites pour ses bijoux et ses Pompons...

Dans une lettre du 15 mai 1741, écrite depuis Bruxelles à l'écrivain et historien Charles Jean François Hénault d'Armcorezan, dit « le président » Hénault, Voltaire note, en parlant d'Émilie: « Elle me trouva ces jours passés écrivant au roi de Prusse; il y avait dans ma lettre :

*songez que les boulets ne vous épargnent guère;
que du plomb dans un tube entassé par des sots
Peut casser aisément la tête d'un héros,
Lorsque multipliant son poids par sa vitesse
Il fend l'air qui résiste et pousse autant qu'il presse.*

Elle mit de sa main *par le carré de sa vitesse*. J'eus beau lui dire que le vers serait trop long; elle répondit qu'il fallait toujours être de l'avis de *Leibnitz* en vers et en prose; qu'il ne fallait point songer à la mesure des vers, mais à celle des forces vives...

Le premier juin 1744, Voltaire écrira au même Hénault, à la fin de sa lettre: «madame du Châtelet vous a aussi envoyé son livre, et vous ne lui en dites mot: elle est fort piquée de ce que vous ne lui dites pas votre avis sur la carré (sic) de la vitesse. C'est cela qui est intéressant ! »

Les devoirs de société dévoreront le temps qu'Émilie entendait consacrer à l'étude de la physique, ce temps, qui, selon

le mot de Balzac, est le seul capital des gens qui n'ont que leur intelligence pour fortune.



Frontispice des Éléments de la philosophie de Newton, mis à la portée de tout le monde (1738), de Voltaire.

Dans cette allégorie, Newton, le compas en main, mesure l'univers, participant ainsi de l'illumination reflétée par Émilie elle-même, sous l'apparence d'une muse tenant un miroir; qui éclaire Voltaire au travail, moderne Virgile au front ceint des lauriers de la gloire (on n'est jamais si bien servi que par soi-même).

5

Evolution & révolutions

Toutes les religions, presque toutes les philosophies, une partie même de la science témoignent de l'inlassable, héroïque effort de l'humanité niant désespérément sa propre contingence.

J. Monod - Le hasard et la nécessité

Des Antiques furieusement modernes

«Il existe une relation de parenté entre les vivants...»

Pythagore

L'histoire de la théorie de l'évolution, de Darwin à nos jours, a été amplement décrite, et il est inutile de réitérer, plus mal et plus fragmentairement, ce que d'excellents auteurs comme Mayr, Gould, Tort ou Lecointre en ont écrit. Il est toutefois un domaine moins clairement exploré, c'est celui des conceptions évolutives avant Darwin. Nous allons montrer comment l'idée d'évolution des espèces a, tout comme l'atomisme, suivi un parcours sinueux dans l'histoire des Hommes et de leurs idées pendant toute l'antiquité et le moyen-âge.

Nous verrons comment cette idée, tout comme le matérialisme lié à l'atomisme, impliquant l'animalité de l'homme et rejetant la nécessité de toute transcendance, a été combattu, et l'est toujours, par nombre de religions, dont les dernières prétentions cosmogoniques ont été mises a bas par la révolution Darwinienne.

Nous avons vu que, loin de la présentation classique qui en est faite, l'atomisme n'avait pas disparu entre l'antiquité et la renaissance, mais que, serpent de mer devant se cacher des persécutions anti-matérialistes religieuses, il s'était diversifié et restait un courant de pensée certes minoritaire, mais vivant et actif.

Il en a été de même pour la notion d'évolution des espèces : cette notion n'est pas apparue toute armée au 17^e siècle, mais plonge ses racines dans l'antiquité, émet des pousses qui traversent le moyen âge, malgré les buchers et les inévitables prétentions religieuses à dire, par le fer et le feu, la vérité ultime.

Commençons par celui qui, en son temps, avait été surnommé « un dieu parmi les hommes », le très célèbre Pythagore. Celui-ci ne craignit pas d'affirmer : « *Il existe une relation de parenté entre les vivants : étant donné qu'ils ont en commun la vie et les éléments, et qu'ils sont issus d'un mélange formé de ces éléments, ils se trouvent liés à nous comme s'ils étaient nos frères.* » (cité par Jamblique, fr. 108).

Mais Pythagore lui-même était l'élève d'Anaximandre de Milet, compagnon et successeur de Thalès, qui semble avoir été un des premiers à envisager une transformation des espèces, car, dès — 555, il imagine que les animaux terrestres descendent des poissons. Il est toutefois difficile de savoir avec exactitude ce qu'entendait réellement Anaximandre : son œuvre ne nous est

parvenue qu'à travers les fragments de ses commentateurs. Ils sont si rares que l'on peut les mentionner en totalité :

- « *(Anaximandre) ajoute encore qu'à l'origine l'homme sortit d'animaux ayant une autre forme ; car, si les autres animaux peuvent bien vite trouver eux-mêmes leur pâture, l'homme seul a besoin de longs soins nourriciers ; si donc il avait été à l'origine tel qu'il est actuellement, il n'aurait pu subsister* ». *(Pseudo-Plutarque. Stromat, 2 — Dox.579).*
- *Les animaux primitifs sont nés de l'humide évaporé par le soleil ; au commencement l'homme avait une forme tout autre et ressemblait à un poisson. (Hippolythe. Philosoph, I, 6. — Dox.660)*
- *Anaximandre enseigna que les premiers animaux furent engendrés dans l'eau, et recouverts d'une écorce épineuse ; ayant pris assez d'âge, ils émergèrent sur terre ; l'écorce se déchira et, au bout de peu de temps, ils changèrent de vie. (Aétius. Plac. V, 19,4. Dox. 430).*
- *Anaximandre déclare, non pas que les poissons et les hommes furent produits en même temps ; mais que ce fut tout d'abord sous la forme de poissons que les hommes naquirent; et que, croissant comme des requins, ils continuèrent à se développer jusqu'au moment où, capables de se nourrir eux-mêmes, ils s'avancèrent vers la terre sèche. (Plutarque. Symp. VIII, 8,4)*
- *Anaximandre de Milet croit que de l'eau et de la terre échauffées sortirent soit des poissons, soit des animaux très semblables aux poissons, dans lesquels grandirent en même*

temps des hommes qui y restèrent retenus comme des fœtus, mais jusqu'à leur puberté ; alors seulement, l'enveloppe se déchirant, sortirent des hommes et des femmes capables de se nourrir. (Censor. Dies Natal, IV, 7)

Voilà, certes, des conceptions étranges et fantaisistes pour nous, mais qui ont eu le mérite, il y a 2600 ans, de poser les problèmes et d'amorcer la réflexion. Un des plus célèbres défenseurs de Darwin, Huxley, ne s'y est d'ailleurs pas trompé, lorsqu'en étudiant les textes antiques, et en tenant compte de leur contexte, il écrivit : « *Il n'y a pas de piège plus capable d'embrouiller la marche de l'étudiant des doctrines antiques que la ressemblance de la langue ancienne avec les modes d'expression modernes.* » Mais « *les mots, dans la signification qui a été acceptée par les interprètes compétents, s'adaptent merveilleusement bien aux idées modernes* » (T.-H. Huxley, *Evolution and Ethics*, — Essais réunis, t. IX, p. 69 — Londres, 1894).

Ainsi, comme le notait déjà Charles-R. Eastman, en 1905, le mérite d'Anaximandre « *ne consiste pas dans ses connaissances effectives, mais dans la riche source de réflexions qu'il suggère et dans la direction générale de sa pensée. Par lui, l'uniformité et l'ordre s'étendirent partout.* » (Charles-R. Eastman, *la Revue Scientifique* — 25 juin 1905)

Il ne faut toutefois pas croire que les idées transformistes les plus anciennes découlaient d'une pure réflexion sans base pratique : outre la connaissance des animaux domestiques, des bases de leur anatomie et de leur comportement; la culture des plantes nécessitait une sélection des graines, ce qui déjà attesté À Pergame, dès -300, l'agriculture incluait une sélection des espèces. Hippocrate, le médecin (— 460, -370) insistait déjà sur l'unicité de la vie : plantes, animaux et hommes, malgré des différences évidentes, partageaient bien des fonctions communes et donc, ce qui semblait tout naturel, une **parenté** indéniable.

Cette idée de la grande proximité voire même de l'identité entre animaux et végétaux (les végétaux étant des animaux fixés, et pouvant même donner naissance à ces derniers...) se maintiendra 2000 ans, mais la notion de parenté se fera bien plus discrète.

D'autres données objectives, issues à la fois de l'observation, de la réflexion, mais aussi des différentes techniques (encore une fois, il n'y a pas de science sans technique) des éleveurs et des cultivateurs permettaient de relier les Hommes au reste des êtres vivants. L'orthodoxie chrétienne ne retiendra de tout cela que l'idée d'un « seigneur et maître, possesseur de la nature, et souverain roi de la création » dans un monde où les espèces sont fixes depuis leur origine (divine, bien entendu). C'était oublier volontairement l'origine du mot « espèce », *species* en latin, qui provenait du grec « *eidos* », qui signifie, en fait, apparence: l'espèce était, littéralement; dans le monde grec, une “apparence”, et non un statut inaltérable.

Cette variabilité assumée des espèces permettait à Empédocle (— 490 -430), disciple de Pythagore, d'envisager une évolution baroque, affirmant que les hommes et les animaux provenaient de formes antérieures « inachevées », sous forme d'organes isolés, ou d'êtres monstrueux (à deux têtes, deux torsos... faut-il y voir une description de siamois?) qui ont péri dans le passé. Il est extrêmement intéressant de voir comment un de ses fragments préfigure la phrase qui conclut la première édition de *l'origine des espèces* de Darwin. En effet, Empédocle écrit :

« *dans ces nouveaux sentiers, dans ces unions naquirent les innombrables races des êtres mortels **affectant les formes les plus diverses, les plus merveilleuses.** »*

Certaines des observations qui, s'accumulant, conduiront Darwin à douter de la permanence des espèces, comme, par exemple, les particularités des peuplements animaux et végétaux des îles, sont déjà relevées : le méticuleux Xenophon (-430, -355),

ayant voyagé au cours de ses expéditions militaires et s'intéressant également à la culture des plantes, souligne les effets de l'isolement dans les îles sur les populations animales (il était si observateur qu'il découvrit que les lièvres femelles pouvaient donner naissance à des petits de pères différents dans une même portée, ce qui sera oublié jusqu'en...1955!)

Même Platon (- 427, -347) va développer sa conception du transformisme, d'une évolution des espèces. Bien entendu, il raisonne à revers des autres : l'Homme serait la première des créatures et toutes les autres en dériveraient. Il considère que la Terre est « *complètement remplie dans toute sa plénitude* » par les êtres vivants. D'où une perfection dans le monde tel qu'il est, qui va bien vite conduire au fixisme. « *La Terre est complètement remplie dans sa plénitude* » : il n'y manque rien, ce qui implique l'existence d'une chaîne continue, sans sauts ni hiatus, ni manque, reliant les êtres vivants depuis le plus modeste jusqu'à l'homme : cette échelle des êtres va perdurer.

Le monde vivant sera alors vu comme étant cyclique dans sa reproduction : il n'y existe que peu de changement, les formes actuelles étant celles du passé. Ce monde « *empli dans sa plénitude* » est questionné par Aristote, qui ne doute pas de cette structuration du monde vivant, mais qui s'interroge tout de même sur sa permanence.

Speusippe (-410 -339) succède à Platon à l'Académie. Bien qu'il accorde plus de crédit aux observations réalisées par les sens, le goût de l'abstraction va encore prédominer, y compris lorsqu'il va chercher à classer les êtres vivants. Il soutiendra sans succès une chronologie inverse de celle de son oncle illustre, allant des premiers êtres vivants, dits inférieurs, jusqu'à l'homme.

Le transformisme, l'idée d'un changement dans les espèces, la possibilité que la vie ait une « histoire naturelle », est donc

répandu dans l'antiquité grecque, et même considérée comme allant de soi (la mythologie n'est d'ailleurs pas avare en changements de forme, les dieux empruntant volontiers l'apparence d'un bestiaire des plus variés). Les modalités de ces changements restent fantaisistes, mais certains vont, intuitivement et hardiment, s'approcher du pot au rose de la sélection naturelle. Écoutons parler Lucrèce (-99, -55), notre ami matérialiste, que nous retrouvons de nouveau:

*« Beaucoup d'espèces ont péri, qui n'ont pas pu
Sauver leur descendance en se reproduisant.
Car celles que tu vois profiter de la vie,
C'est leur propre ruse, ou leur force, ou leur vitesse,
Qui les ont protégées, préservant leur lignée.
Beaucoup d'autres aussi, que leur utilité
Nous pousse à élever, survivent grâce à nous...
Mais les bêtes qui n'ont reçu de la nature
Ni les moyens de vivre en liberté ni ceux
De nous rendre service et de gagner ainsi
Le droit de vivre en paix sous notre protection,
Celles-là constituaient une proie trop facile,
Entravées par les liens de leur propre destin,
Jusqu'à l'extinction de toute leur espèce. »*

Tout est dit... 19 siècles avant Darwin! Faut-il aussi trouver un précurseur à l'autre chantre du transformisme, Lamarck ? Voyons Asclépiade, vers — 50, qui affirme que les organes ont acquis leur forme par l'usage et non pour l'usage...

Malheureusement, ce sont pour l'essentiel les opinions de Platon qui vont s'imposer, car elles seront accordées a posteriori à

la mythologie chrétienne qui va étouffer les sciences pendant un millénaire.

Toutefois, parallèlement à la doctrine chrétienne fixiste, dérivant d'une création unique et parfaite, l'idée de changements possible des espèces va persister pendant le moyen-âge, et pas seulement chez des érudits musulmans qui vont développer ces idées, mais sans conséquence sur les progrès futurs. Par contre, les manuscrits grecs qu'ils ont conservés et annotés, parfois au péril de leur vie, vont constituer une manne inespérée pour la renaissance de la pensée scientifique en occident. Ainsi, ibn Rochd (1126 — 1198), plus connu sous le nom d'Averroes, fut-il suspecté d'Hérésie par les autorités musulmanes de son temps, condamné à l'exil et ses livres furent brûlés (une constante!). Les érudits juifs ont sauvé ses œuvres, les ont traduites et ont ainsi permis une (re)connaissance des travaux d'Aristote, par exemple.

Pendant le moyen âge, l'occident va être lentement perfusé de savoir antique grec à la fois par l'est, grâce à des traductions et des commentaires réalisés par des moines chrétiens de l'est, les syriaques (entre les 4^e et 7^e siècles); et par la suite par les œuvres d'érudits musulmans et juifs, eux aussi, le plus souvent, voués aux gémonies par les autorités religieuses de leur temps.

Grâce à eux, les lumières de la raison, presque étouffées, vont de nouveau se renforcer et la variabilité des espèces pourra de nouveau être envisagée. Voyons comment.

Origines

«son corps fut consumé par le feu, et l'on dispersa ses cendres au vent.»

Compte rendu de l'exécution de Lucilio Vanini.

Le développement de l'anatomie va mettre en lumière les étranges similitudes entre l'organisation interne de l'Homme et celle des autres vertébrés : en 1543, le professeur d'anatomie Vésale publie le premier livre décrivant en détail des dissections de corps humains. Vésale est intrigué par les différences, mais aussi les ressemblances, entre l'organisation du corps humain et celui des animaux, surtout utilisés jusqu'à son époque pour étudier l'anatomie. Il n'en tire cependant aucune conclusion, faisant preuve d'une grande prudence.

En effet, toutes les précautions devaient être prises pour ne jamais soutenir publiquement l'existence d'une variabilité des espèces, et surtout pas de l'espèce humaine : pour l'avoir oublié, le philosophe Lucilio Vanini périt par le feu de la très « sainte » inquisition à Toulouse, le 2 août 1619.

La triste fin de Lucilio Vanini

De nos jours, les scientifiques qui défendent l'idée d'évolution et démontrent sa réalité ne risquent pas leur vie (ce qui ne veut pas dire qu'ils ne prennent aucun risque). Dans l'histoire des sciences, tous n'eurent pas cette chance!

Ainsi, le philosophe italien Lucilio Vanini, en 1615, dans son livre *Admirantis naturae Reginae Deaeque Mortalium Arcanis* (« Merveilleux Secrets de la nature, reine et déesse des mortels »), qui était une sorte d'encyclopédie des connaissances de son époque, donne plusieurs arguments en faveur d'une origine animale des hommes. Entre autres idées, il présente celle selon laquelle des singes sont les ancêtres de certains hommes, pour ne pas dire tous. Pour éviter d'être condamné, il ne s'exprime pas directement, mais crée des personnages qui s'expriment sous forme de dialogue. Cette précaution de style ne le sauvera pas.

Au dialogue 37 (intitulé *De prima hominis generatione* - de l'origine de l'Homme), parmi d'autres hypothèses, il présente celle selon laquelle « *quelques athéistes de bon esprit (...) ont pensé que l'homme venait de la semence des guenons et des singes, laquelle, se cultivant petit à petit, en vient à se perfectionner et à prendre la forme d'Homme.* ».

À cause de ses idées et de l'enseignement qu'il en donne, il est arrêté le jeudi 2 août 1619, à l'âge de 34 ans, par les capitouls d'Olivier et Vizarel, dans une maison de l'actuel quartier de la Daurade, à Toulouse. Il est jugé par le parlement de la ville, accusé de ne pas croire en Dieu (et d'être homosexuel, tiens, en

plus). Il se défend avec acharnement et de façon brillante, mais le procureur général (le capitoul Guillaume de Catel), le hait et l'interroge avec hargne. Vanini manque d'être acquitté, lorsqu'au dernier moment le témoignage d'un noble joue contre lui et signe sa condamnation, pour laquelle De Catel reçoit seize écus (*Ce capitoul sera tellement fier de ce travail qu'il s'en vante encore sur la statue de son buste, dans la salle des illustres du capitole de Toulouse*).

Vanini est condamné à avoir la langue coupée avant d'être brûlé vif (d'autres sources, plus dignes de foi, disent « étranglé et puis brûlé une fois mort ») pour cause de « *lèse-majesté divine, athéisme, blasphèmes, impiétés et autres crimes* ».

Son exécution a marqué les esprits : l'écrivain Savinien Cyrano de Bergerac (qui inspirera, bien plus tard, le personnage de la pièce de théâtre d'E. Rostand), s'inspira de l'histoire de Vanini dans un de ses livres (*histoire des états et empires de la Lune et du Soleil*) où, emprisonné à Toulouse et en danger d'être exécuté pour hérésie, son héros parvient à s'évader.

L'exécution a été bien relatée : le samedi 9 février, Vanini a été trainé sur une claie (une sorte de chariot sans roues) jusqu'à l'église St Étienne. Là, il a été déshabillé, ne gardant que sa chemise et une torche allumée à la main, une corde au cou. Agenouillé devant la porte de l'église, il a dû demander pardon « *a Dieu, au Roy, a la justice* ». Puis il a été conduit place du Salin, où depuis le 8 février 2008 une plaque rappelle son exécution ainsi que celle de trois autres philosophes, ayant étudié à Toulouse, qui furent brûlés pour leurs idées jugées incompatibles avec la religion.

L'écrivain Gabriel - Barthelemy de Gramond (*Historiarum Gallioe ab excessu Henrici IV, Toulouse, 1643, livre XVIII : 9 février 1619*) le décrit à ce moment : « *Je l'ai vu dans la charrette, sur le chemin du supplice ; il se moquait d'un cordelier (moine Franciscain) qu'on*

lui avait donné pour sa consolation et pour le faire renoncer à son entêtement [...] Sur le point de mourir, il présentait une apparence horrible et complètement farouche. »

Sur la place, Vanini est assis sur un poteau, puis, avant que le feu ne soit mis au bûcher : *« on lui ordonna de livrer sa langue sacrilège au couteau : il refusa; il fallut employer des tenailles pour la lui tirer, et quand le fer du bourreau la saisit et la coupa, jamais on n'entendit un cri plus horrible; on aurait cru entendre le mugissement d'un boeuf qu'on tue. »*

Vanini est ensuite étranglé. Comme il a refusé de renoncer à ses idées devant un prêtre, un panneau portant les mots « Athée et blasphémateur du nom de Dieu » est posé sur ses épaules, puis il est brûlé et *« le reste de son corps fut consumé par le feu, et l'on dispersa ses cendres au vent. »*

Le destin de Vanini illustre le danger qu'il y avait à faire connaître l'idée d'une possible évolution des espèces et d'une origine animale de l'homme. Il éclaire les précautions extrêmes et les hésitations de Darwin, 250 ans plus tard, lorsqu'il publia son « origine des espèces » : même sans risquer le bûcher, les réactions furent vives, et 150 ans plus tard les passions ne sont pas encore apaisées sur ce sujet.

Ainsi, au début des années 1980, l'état du Queensland, en Australie, s'opposa, sous influence religieuse, à l'enseignement de l'évolution des organismes (en donnant à des idées religieuses un statut scientifique immérité). Le professeur de Géologie Ian Plimer, de l'Université de Melbourne, s'opposa à cette décision et du prouver les erreurs des religieux au cours de 6 procès successifs qui l'ont entièrement ruiné (il y a même laissé sa maison, son histoire est racontée dans le recueil « *Intrusions spiritualistes et impostures intellectuelles en sciences* », ed. Syllepse, 2001).

Il semble bien que les religions soient des monstres obscurantistes qui ne peuvent subsister, dans une société libre, que fermement enchaînées et confinées dans leurs rudiments.

Le Mercure François

Voici comment la revue "le Mercure Français" de 1619 rapporte l'évènement (Je transcris du vieux français le texte original):

Au mois de Novembre 1619, fût arrêté en la ville de Toulouse, un italien philosophe et très savant qui donnait des cours de sciences et de philosophie à domicile. Il soutenait et enseignait que l'âme n'existe pas, qu'il n'y a pas de vie après la mort, et d'autres choses si scandaleuses que l'on ne peut les répéter. Par son éloquence, il persuadait très bien ses auditeurs de la justesse de ses opinions, et beaucoup commencèrent à le croire.

Le parlement étant prévenu, il fit arrêter cet enseignant qui, pris et interrogé, maintient ses idées et opinions.

Il fut alors jugé et condamné. Il du d'abord défiler en chemise, la torche au point, en demandant pardon. Ensuite, il fut trainé sur un chariot, on lui coupa la langue et il fut brûlé vif, début février, sur la Place du salin. Il mourut avec un détachement rare, sortant de sa prison avec entrain en disant, en italien «allons, allons allègrement, mourir en philosophe» .

Lorsqu'on lui dit de demander le pardon de Dieu, il répliqua devant plus de mille personnes : "Il n'y a ni Dieu, ni Diable, car s'il y avait un Dieu, je le prierais de lancer la Foudre sur ce Parlement injuste et inique, et s'il y avait un Diable, je le prierais aussi de l'engloutir sous terre, mais parce qu'il n'y a ni l'un ni l'autre, je ne ferai rien".

La prise en compte des fossiles

D'autres éléments, minéraux cette fois, allaient constituer les grains de sable capables de gripper la mécanique obscurantiste : les fossiles, qui étaient bien connus, mais dont l'origine et la nature posaient problème, et depuis for longtemps.

Ainsi, Strabon (-64, 20) formula une interrogation que l'on retrouvera à l'identique chez Leonard de Vinci, presque vingt siècles plus tard (!). Il écrivit : « *Comment se peut-il qu'en des lieux qui se trouvent au milieu de terres et que deux ou trois mille stades séparent de la mer, on rencontre en maints endroits une foule de coquilles, d'huîtres et de chéramydes ?* » Cela signifie bien que pour ce géographe, les fossiles étaient bien des restes d'êtres vivants. Ce n'était malheureusement pas là un avis général : Theophraste, disciple d'Aristote, invoqua une force mystérieuse qui faisait prendre aux roches la forme d'êtres vivants. Cette « vis plastica » restera, hélas, des plus populaires.

Si une origine biologique des fossiles pouvait se concevoir lorsque ces derniers ressemblaient superficiellement aux espèces actuelles, comment expliquer l'existence de fossiles différents de tout ce qui était connu ? Il fallait alors admettre

- une disparition d'espèces. Les religieux utilisèrent alors le déluge biblique comme « explication » compatible avec leur dogme. Les anciens Chinois parlèrent « d'os de dragon », qui devinrent des remèdes réputés dans leur pharmacopée. Ce sera la voie suivie par un des fondateurs de la paléontologie, George Cuvier (1769 - 1832), qui invoquera une suite de brusques « catastrophes », les « révolutions du globe », ayant détruit les espèces fossiles.
- Une transformation des espèces. Cette idée a donc aussi été liée aux découvertes réalisées sur les fossiles et sur les roches; toutes découvertes suggérant l'idée de changements importants s'étant opérés dans le passé.

Entre 1070 et 1080, le scientifique chinois Shen Kuo utilisa ses observations de l'érosion, des roches et des fossiles pour affirmer que les continents se sont formés par de très lents dépôts de sédiments et que l'emplacement des mers et des océans a changé avec le temps. Ses brillantes observations et déductions n'eurent, hélas, aucune influence en occident, et finirent oubliées en Chine même.

Remarques pertinentes d'un génie "universel".

Léonard de Vinci s'oppose à l'opinion qui fait des coquillages fossiles des reliques du déluge :

« On ne peut qu'admirer la sottise ou la simplicité de ceux qui veulent que ces coquilles aient été transportées par le Déluge ... Si cela était elles seraient jetées au hasard, confondues avec d'autres objets, tous à une même hauteur. Or les coquillages sont déposés par étages successifs ; on les trouve au pied de la

montagne comme à son sommet ; quelques-uns sont encore attachés au rocher qui les portait. Ceux qui vivent en sociétés, huîtres, moules sont par groupes ; les solitaires se trouvent de distance en distance, tels que nous les voyons aujourd'hui sur le rivage de la mer ... Les montagnes où sont les coquillages étaient jadis des rivages battus par les flots, et depuis elles se sont élevées à la hauteur où nous les voyons aujourd'hui ... »

En occident, les idées révolutionnaires de Leonard de Vinci ne restent pas sans suite. Un ami de Léonard, le mathématicien milanais Facio Cardano, marié à la veuve Chiara Micheri, a en 1501, contre son gré, un fils, Girolamo. Ce dernier va se révéler être un prodige au caractère difficile, mais sera à la fois médecin, mathématicien, ingénieur et scientifique. La postérité en retiendra son joint de transmission (toutes nos autos ont des Cardans...), mais en 1550, ce génie excentrique fait paraître une encyclopédie baroque intitulée *De Subtilitate* (elle traite des sciences « subtiles », difficile à comprendre). Ce livre sera un « best-seller », réédité quinze fois entre 1550 et 1642 et traduit en plusieurs langues, dont le Français. Cette encyclopédie est un recueil où se mêlent les superstitions les plus anciennes, les connaissances scientifiques du temps et de géniales intuitions et recherches personnelles. Cardano y affirme que les espèces se transforment, et donne un exemple : selon lui, le chien proviendrait du loup et en redeviendrait un s'il était laissé de nouveau à la vie sauvage. À l'inverse, un loup domestiqué finirait par devenir un chien.

Comme vous pouvez vous y attendre, répandre ce genre de connaissances ne fait pas le bonheur de l'obscurantisme chrétien (pléonasme) : un des fils de Girolamo dénonce son père à

l'Inquisition. Il est arrêté à Bologne, accusé d'hérésie. Il sera condamné à abjurer (tiens tiens, une saine habitude), à deux mois de prison et à une amende de 1800 écus d'or. Accessoirement, il est aussi radié de l'Université de Bologne et interdit de conférences.

À la même époque, en France, Bernard Palissy, plus connu pour ses faiences, essaye de répandre l'idée que les fossiles sont bien les restes d'anciennes formes de vie transformées en pierre, et peuvent donner des indications sur le passé de la vie. Ses efforts seront vains, les luttes entre protestants et catholiques pèsent sur toute la société comme une chape de plomb : le temps des sciences n'est pas encore venu.

Plus d'un siècle plus tard, en 1666, des pêcheurs italiens capturent un requin géant près de la ville de Livourne. Un noble local envoie le corps de l'animal à un spécialiste de l'anatomie danois, Niels Stensen, qui travaillait à Florence. Stensen dissèque l'animal (*ci-contre, gravure tirée de son ouvrage, montrant la tête et les dents de l'animal*) et découvre que les dents du requin ressemblent beaucoup, étrangement, à des pierres, les glossopetrae, que l'on peut trouver dans certaines couches de roches. Alors qu'Aristote pensait que ces pierres étaient tombées du ciel, ou devaient leur forme au hasard, Stensen ose une hypothèse révolutionnaire : puisque les pierres ressemblent trop aux dents de requins, c'est que ce sont sans doute d'anciennes vraies dents de requins qui se sont transformés en pierre, minéralisés, au cours du temps. Il confirme ainsi une idée émise par le botaniste Fabio Colonna en 1616, mais il va plus loin en cherchant comment ces dents sont arrivées dans les roches et en supposant que tous les fossiles sont des restes d'anciens animaux ou végétaux.

En 1670, A. Scilla défendra cette idée dans un livre richement illustré ([*La vaine spéculation démentie par les sens*](#)).

En observant les falaises, Stensen propose que des roches se forment par dépôt de couches successives qui emprisonnent les restes d'êtres vivants qui seront convertis en pierre avec le temps. Il semble alors évident que les dépôts successifs forment des couches dont la plus ancienne est située vers le bas. L'étude des fossiles et des roches qui les contiennent va pouvoir réellement commencer.

Buffon s'élève contre les préjugés religieux

Vers 1750, George Louis Leclerc, comte de Buffon, tente de rédiger une encyclopédie décrivant toute la biologie et la géologie de son époque. Il est un des premiers à proposer que la Terre soit bien plus âgée que les 7000 ans que l'on lui donnait à l'époque (Buffon propose un âge de...70 000 ans, déjà inimaginable à son époque, alors qu'il pense que la Terre est âgée d'un demi-million d'années...) et propose que les éléphants d'Afrique et d'Asie soient les descendants des mammouths dont des fossiles viennent d'être découverts, à son époque, en Sibérie.

Buffon va défendre l'idée selon laquelle il n'y a pas eu plusieurs créations divines séparées de catastrophes immenses, mais que la vie peut se développer de nouveau, spontanément, à partir de germes qu'il dénomme « *molécule organique* » (un terme qu'il ne faut pas prendre dans le sens moderne que nous pourrions lui donner!).

Il précise ainsi, dans le tome IV de son *Histoire naturelle, générale et particulière : supplément*, qu'après une destruction de nombreuses formes de vie (vieux français inside); « *la puissance de ces molécules organiques, étant proportionnelle à leur nombre et à leur liberté, elles formeroient de nouveaux moules intérieurs, auxquels elles donneroient d'autant plus d'extension qu'elles se trouveroient concourir en plus grande quantité à la formation de ces moules, lesquels présenteroient dès-lors une nouvelle Nature vivante, peut-être assez semblable à celle que nous connoissons.*

Ce remplacement de la Nature vivante ne seroit d'abord que très-incomplet, mais avec le temps tous les grands êtres qui n'auroient pas la puissance de se reproduire disparaîtroient ; tous les corps imparfaitement organisés, toutes les espèces défectueuses s'évanouiroient, et il ne resteroit, comme il ne reste aujourd'hui, que les moules les plus puissans, les plus complets, soit dans les animaux, soit dans les végétaux, et ces nouveaux êtres seroient en quelque sorte semblables aux anciens, parce que la matière brute et la matière vivante étant toujours la même, il en résulteroit le même plan général d'organisation et les mêmes variétés dans les formes particulières. »

Ce genre d'affirmation va bien entendu lui attirer les foudres des destructeurs des sciences : la faculté de théologie de Paris lui demande quelques « explications » en 1751. Buffon ne se berce pas d'illusions sur ce qu'il lui convient de faire, et note dans une de ses lettres (adressée au président de Brosses, en 1760) « *il vaut encore mieux être plat que pendu* », ce qui ne l'empêche pas toutefois d'insister sur l'animalité de l'Homme dès le tome I de son histoire naturelle : « *Une vérité peut-être humiliante pour l'homme, c'est qu'il doit se ranger lui-même dans la classe des animaux auxquels il ressemble par tout ce qu'il a de matériel.* »

Parmi les penseurs qui s'intéressent aux origines des espèces, nous retrouvons Leibniz, qui a l'intuition de l'existence d'un ancêtre commun pour des animaux d'espèces voisines, qu'il illustre par un exemple bien choisi : « *Peut-être dans quelque temps ou dans quelque lieu de l'univers, les espèces d'animaux sont, ou étaient, ou seront plus sujettes à changer qu'elles ne sont présentement parmi nous, et plusieurs animaux qui ont quelque chose du chat, comme le Lion, le Tigre ou le Lynx pourraient avoir été d'une même race et pourraient être maintenant comme des sous-divisions naturelles de l'ancienne espèce du chat.* ». Malgré

cette idée remarquable, Leibniz n'en défend pas moins l'échelle des êtres chère à son temps.

Denis Diderot (1713-1784), lui, fera passer ses idées révolutionnaires en les enrobant dans les rêves d'un autre : le *songe de d'Alembert* représente, a qui sait le lire entre les lignes, un manifeste radical contre le conformisme, les modes du temps et en faveur d'une histoire évolutive des espèces, dont les variations et l'influence du milieu sont bien montrées :

« Pourquoi suis-je tel ? c'est qu'il a fallu que je fusse tel... Ici, oui, mais ailleurs ? au pôle ? Mais sous la ligne ? Mais dans Saturne ?... Si une distance de quelques mille lieues change mon espèce, que ne fera point d'intervalle de quelques milliers de diamètres terrestres ?... Et si tout est un flux général, comme le spectacle de l'univers me le montre partout, que ne produiront point ici et ailleurs la durée et les vicissitudes de quelques millions de siècles ? Qui sait ce qu'est l'être pensant et sentant en Saturne ?... Mais y a-t-il en Saturne du sentiment et de la pensée ? ... Pourquoi non ?... L'être sentant et pensant en Saturne aurait-il plus de sens que je n'en ai ?... Si cela est, ah ! qu'il est malheureux le Saturnien !... Plus de sens, plus de besoins. »

L'étude des dépôts sédimentaires, entreprise involontairement lors de l'exploitation des carrières, allait également réserver des surprises. En effet, les premiers fossiles étudiés ressemblaient beaucoup à des animaux connus, même si on ne les trouvait pas « au bon endroit » (des fossiles d'éléphants en Italie, par exemple). Toutefois, en 1766, les carrières de la ville de Maastricht livrèrent des morceaux d'un fossile géant provenant d'un animal inconnu.

Quelques années plus tard, un deuxième crâne fossile, plus complet, fut découvert puis, en 1795, alors que l'armée française

assiégeait Maastricht, le fossile fut envoyé à Paris. Pour la petite histoire, sachez que son propriétaire l'avait caché, mais qu'un général français promit à ses hommes une récompense de 600 bouteilles de vin contre le fossile, qui fut alors, de par cette puissante motivation scientifique, retrouvé.

À Paris, le naturaliste George Cuvier qui, en 1800, était un des plus grands spécialistes de l'anatomie des animaux, examina ce fossile d'un animal nommé Mosasaure, et ne put que constater que cet animal n'existait plus, nulle part dans le monde.

Pire encore : en étudiant précisément les fossiles des éléphants retrouvés en Europe, Cuvier parvint à la conclusion que ces éléphants étaient d'une espèce totalement différente des animaux modernes.

Les fossiles montraient donc sans aucun doute possible que **de nombreuses espèces animales, voire même des groupes entiers, pouvaient avoir complètement disparu** et avait été remplacés par de nouvelles espèces.

Pendant que Cuvier développait ses idées de destructions régulières d'espèces, suivies de « créations » *ad hoc* (une logique reprise actuellement par certains créationnistes) qui le conduiront à publier en 1840 son *Discours sur les révolutions de la surface du globe et sur les changements qu'elles ont produits dans le règne animal*, l'ingénieur anglais William Smith supervisait le tracé d'un canal au sud-ouest de l'Angleterre. Il en profite pour confirmer ses observations, faites dans des mines de charbon, sur l'ordre des couches de roches du sous-sol. Il constate qu'il retrouve dans les roches creusées à cette occasion des couches identiques, contenant les mêmes fossiles, à des endroits très différents de l'Angleterre. Il constate aussi que la succession de fossiles, d'une couche à l'autre, est toujours la même. Cela lui permet de repérer la succession des roches sédimentaires et d'en faire une carte, montrant dans quel ordre ces roches se sont

déposées (cette carte, ainsi que d'autres, issues de son travail, est [visible ici](#)).

Il devint alors possible de considérer les roches sédimentaires comme étant les pages successives d'un livre racontant l'histoire des diverses formes de vie à différentes époques : les roches sédimentaires sont alors considérées comme **des archives géologiques**, car elles contiennent des fossiles variés dont on peut espérer, par diverses méthodes, dater l'époque de formation. En effet, les dépôts successifs de sédiments, transformés par la suite en roches, permettent de suivre le déroulement du temps sur de très longues périodes.

Classer les espèces :

l'idée d'un ordre, le problème de son origine

Dès l'antiquité, et sans doute même avant, les ressemblances entre certains êtres vivants donnent l'idée qu'il existe une façon « naturelle », logique, de les regrouper. Il y eut ainsi maintes classifications, fondées sur les critères les plus divers, jusqu'à ce que, très récemment, n'émerge l'idée d'un ordre liée à l'histoire des espèces ; qui fournit à la fois un classement rigoureux et explicite son existence et son origine. Voyons quelques exemples des classifications au cours de l'histoire.

Théophraste, le disciple d'Aristote, proposa de diviser les végétaux en quatre groupes : arbres, arbustes, arbrisseau et herbes. Il note que, toutefois, ces ensembles ne sont pas nettement séparés ni définis. Il est étonnant de voir que cette classification ressort spontanément chez les élèves de sixième. (*Plus généralement, il semble bien que dans nos classes, si l'on veut d'un ton pédant emboîter le pas à Haeckel, l'ontogenèse des idées récapitule leur phylogenèse historique*).

La Classification d'Isidorus Hispalensis (l'évêque Isidore de Séville), vers l'an 600, va nous donner un exemple de classement médiéval des animaux, qui sont subdivisés en : domestiques, sauvages, vers, poissons, oiseaux, petits, très petits (!) et volants.

À la suite de J. Ray en 1682, le naturaliste Linnée va publier en 1735 *Systema naturae*, qui propose une classification des êtres vivants basée sur leurs ressemblances. Il souligne ainsi que de nombreux êtres vivants partagent beaucoup de caractères communs, et il place les humains, avec les singes, dans le groupe des primates. Il propose, pour chaque espèce, le nom en deux parties « genre + espèce ». Toutefois, sa classification reste basée sur une « échelle des êtres » aussi parfaite qu'immuable, et reste pour lui le reflet d'un plan divin qu'il lui revient d'élucider.

Cette conception de plan divin guidera aussi Owen, le plus grand spécialiste de l'anatomie comparée, qui interprétera la similarité de l'organisation des vertébrés comme étant la marque de l'incarnation des diverses variations issues d'un prototype divin qu'il va nommer archétype (*je puis d'ailleurs témoigner que l'archétype d'Owen était encore utilisé dans l'enseignement, à l'université de Toulouse, en 1990, ce qui en dit long sur la résistance à l'évolutionnisme en France !*)

Une des «origines» de Charles Darwin

Le grand-père de Charles Darwin, un génie méconnu en France, Erasmus Darwin (1731 - 1802), qui fut aussi bien médecin et poète qu'inventeur et philosophe, a eu toutes les idées nécessaires à l'édification d'une théorie de l'évolution, mais, contrairement à son petit fils, il n'a pas eu en sa possession, et n'a pas recherché, les éléments factuels permettant de démontrer la justesse de ses vues. Dans son livre *zoonomia (curieusement le seul livre d'un Darwin mis à l'index par le Vatican)*, il écrit ainsi ces lignes prophétiques (*section 39 - de la génération*) :

« En réfléchissant sur la grande similarité des animaux à sang chaud, et en même temps sur les grands changements qu'ils subissent à la fois avant et après leur naissance; et en considérant combien est minuscule la durée relative pendant laquelle la plupart des nombreux changements de ces animaux, décrits précédemment, ont été produits; serait il trop audacieux d'imaginer, pendant une grande longueur de temps, depuis que la Terre à commence son existence, peut être des millions d'années, que tous les animaux à sang chaud ont surgi d'un filament vivant, que la grande cause première à doué d'animalité... Et possédant ainsi la faculté de continuer à s'améliorer par son activité propre, et de léguer ces améliorations par la génération de sa postérité, et cela indéfiniment ?

Disons-nous alors que le filament vivant végétal était originellement différent de celui de chaque ensemble d'animaux décrits précédemment ? Et que le filament vivant à l'origine de chacun de ces ensembles était différent des autres à l'origine ? Or, comme la terre et l'océan ont été probablement peuplés de productions végétales bien avant l'existence des animaux... Ne pouvons-nous supposer qu'un seul et même genre de filament vivant est et a été la cause de toute vie organique ? »

En 1802, dans son long poème « Temple de la nature », publié après sa mort (*meilleur moyen de ne pas être ennuyé, ce que j'appellerai la « stratégie Copernic »*) il spéculera sur les origines de la vie, écrivant ces lignes; toujours aussi prophétiques que je traduis ici de façon à en ajuster les rimes, comme le désirait le grand (et gros!) homme :

*« La vie organique est née sous des vagues sans rivages
Dans les grottes nacrées de l'océan, protégée des ravages
Premières formes minuscules, sous le microscope invisibles
Se mouvant dans la boue, ou fendant l'onde divisible
Ainsi, alors que fleurissent les générations successives
S'acquièrent des nouveaux pouvoirs, des formes plus massives
D'où découlent les groupes innombrables, qui la végétation
renouvellent
Et les royaumes palpitants de la nageoire, des pattes et des ailes.*

En 1809, Lamarck publiera, dans sa *philosophie zoologique*, la première théorie matérialiste impliquant les changements, la transformation des espèces, et donc l'existence d'une histoire du vivant. Il y fait intervenir une complexification croissante des êtres vivants, qui sera à l'origine de l'évolution vue comme un « progrès » successif vers l'homme; et une diversification des organismes rendue nécessaire par leur adaptation a un milieu changeant.

Il va être en butte à l'opposition acharnée de Cuvier qui bien qu'étant partisan de grands changements géologiques (ses « révolutions du globe » qui détruisent des espèces et nécessitent par la suite des « interventions divines » successives) défend la fixité des espèces (bien que ses connaissances et recherches en anatomie comparée l'aient conduit à remettre en cause la fameuse échelle des êtres).

Il existe un amusant parallèle entre l'opposition que rencontrera Lamarck, partisan du changement des espèces, en la personne de Cuvier, spécialiste de l'anatomie comparée; et celle qui va opposer Darwin et Owen, lui aussi spécialiste de l'anatomie comparée.

La science en marche

À la fin du 18^e siècle et au début du suivant, les naturalistes sont essentiellement des voyageurs, prenant part à de nombreuses, longues et périlleuses expéditions.

Au cours de ces voyages, des spécimens doivent être prélevés, décrits, conservés, ramenés en Europe, classés pour y être étudiés et comparés... Tout voyageur est donc aussi un directeur de collection du vivant.

Ainsi, lorsque Charles Darwin s'embarque sur le Beagle, le 27 décembre 1831, c'est un jeune homme féru d'histoire naturelle, ne doutant guère du dogme religieux. Il va accomplir, pendant les 5 années du voyage, sa conversion matérialiste, observant, collectant fossiles et animaux, lisant le traité de géologie de Lyel, réfléchissant sur ce que signifient les éléments qu'il recueille : fossiles d'Amérique du Sud ressemblant aux populations d'animaux actuelles, espèces étrangement semblables qui se répartissent dans des territoires voisins, peuplement des îles... Lorsqu'il revient, ses envois de spécimens ont déjà fait de lui un naturaliste célèbre, qui n'aura aucun mal à recruter les meilleurs spécialistes pour publier toute la « Zoologie » de son voyage (disponible a présent en français grâce au travail de votre serviteur). Au cours de ce voyage, dira t'il « *les instincts primitifs du barbare cédèrent lentement la place aux goûts acquis de l'homme civilisé* ». Peut être ne voulait il pas simplement parler de son goût pour la chasse. Son propre père, le revoyant après 5 années, aura ces mots,

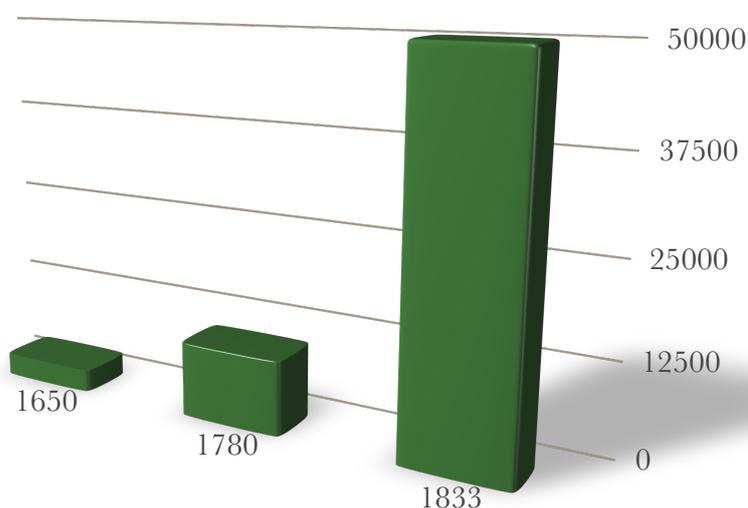
devant ses soeurs : « *tiens, la forme de sa tête a complètement changé* » (C. Darwin, l'autobiographie, ed. seuil, p. 75-76).

Darwin revint différent, convaincu de la variabilité des espèces, de l'existence de leur histoire, et il passera ensuite des années à réunir une masse de preuves pour étayer ses vues. La suite est connue.

Il est tentant de faire ici un parallèle avec la science littorale de la Grèce antique : voici maintenant une science océanique, intercontinentale. Les voyageurs affrontent, classent et tentent d'expliquer la biodiversité. Ils utilisent pour cela la classification de Linné, qui permet de ranger le foisonnement de nouveautés rapporte des voyages.

Ils découvrent l'importance de la répartition des flores et des faunes. Dans des milieux semblables, les espèces sont différentes. Pourquoi ? Le botaniste A.P. de Candolle voit bien que l'explication de cette répartition est fondamentale, car il note que cela « *touche à l'origine même des êtres organisés, c'est à dire à la partie la plus obscure de la philosophie naturelle* » (dictionnaire des sciences naturelles, 1820).

Nombre d'espèces végétales connues de 1650 à 1833, devant donc être classées.



Charles Darwin, dans la préface de son ouvrage de l'origine des espèces, rendra hommage à ses nombreux prédécesseurs. J'ai compilé dans les tableaux des pages suivantes les différents auteurs qu'il a cités.

On peut signaler, comme dernier avatar de l'opposition systémique des scientifiques Français de l'establishment à la théorie de l'évolution, l'article « évolution » de la très « renommée » Encyclopedia universalis paru en 1981 : il est hallucinant de bêtise et de mauvaise foi, confit dans un Lamarckisme doctrinaire et indigne d'un scientifique. Il est signé du mandarin qui bloqua l'enseignement de l'évolution en France, Pierre Paul Grassé.

L'aveuglement d'un mandarin

Le zoologiste Pierre Paul Grassé (1895 - 1985) a été un des « grands patrons » de la biologie en France. Il y a bloqué l'enseignement de la théorie moderne de l'évolution jusqu'à sa mort (ironiquement, il était titulaire de la chaire de biologie de l'évolution de la faculté de Paris). Partisan de Lamarck (*oui, c'est possible, jusqu'en 1985*), il voulait défendre l'idée d'une évolution « orientée » (par qui? Devinez...) vers un « mieux », toujours plus complexe, et donc couronnée par l'Homme.

En fait, il tenait à défendre ses conceptions religieuses, comme le montre son copinage avec Teilhard de Chardin, autre mystique national. Il a appliqué une stratégie des religions actuelles: lorsqu'il leur devient impossible, par le fer et le feu, de nier l'évidence, alors elles récupèrent les connaissances qu'elles voulaient étouffer en tentant de les englober dans une nouvelle « interprétation » *ad hoc* de leurs dogmes chéris.

Grassé a été l'instrument, malgré sa grande intelligence, de cette stratégie obscurantiste. Voir comment un homme aussi

brillant a été perverti illustre une fois de plus l'étrange inhibition de l'esprit critique entraînée par l'attitude du vouloir croire.

À titre d'illustration de l'aveuglement de ce mandarin, je reproduis les dernières lignes (p. 174) de son « abrégé de zoologie » consacré aux vertébrés, paru chez Masson en... 1985 (précision utile au vu du monceau de sottises qui vont suivre). On y retrouve tout l'attirail créationniste de « l'intelligent design » qui n'ose pas dire son nom, ainsi que l'attitude qui a failli détruire la biologie en France (qui s'en relève encore difficilement): le mépris envers la biologie moléculaire, le déni de ses découvertes, et une tentative de tourner en ridicule la place de l'homme dans l'évolution « Darwinienne »:

« Les chromosomes sont bien tels que les cytologistes les décrivent, mais leur rôle évolutif est fortement exagéré » (...) « Nul ne sait en quoi consiste le contenu génique des bandes transversales, nul ne connaît les rapports qui existent à leur niveau entre les protéines du chromosome et l'ADN. » (C'était faux, même en 1985!)

« Admettre que le stock génique des Pongidés est le même que celui de l'Homme, c'est faire fi de nos particularités anatomiques (surtout celles de l'encéphale) et psychiques, c'est nier la nature de l'Homme dans ce qu'elle a d'essentiel. » (...)

« Les chimpanzés et gorilles (...) végètent depuis 9 millions d'années dans la grande forêt d'Afrique sans rien changer à leur mode de vie! Leurs moeurs figées et lourdes d'automatisme n'ont rien de commun avec le génie perpétuellement inventif et créateur de l'Homo. Constaté que sur notre planète et dans le système solaire, l'Homme occupe une place à part, ce n'est pas émettre une hypothèse adopter telle ou telle idéologie, c'est tout simplement s'en tenir aux faits, prendre conscience de ce qui est. Quand nous aurons vu un chimpanzé de lui-même, chapeau en tête, serviette sous le bras, canne à la main, allant à la banque pour y

toucher un chèque, alors et seulement alors, nous reconsidérerons le problème et ses données. Nous n'en sommes point là. »

6

Van Helmont

L'expérience «Père Noël».

«En toute occasion, démêle le vrai, caché sous l'apparence» (*La Fontaine, un animal dans la Lune*).

Une célébrité de manuel scolaire

Van Helmont (1577 — 1644) est connu surtout dans les manuels scolaires pour une expérience abondamment citée dès la sixième : présenté comme un biologiste, ou du moins un scientifique, il a planté un saule dans un pot, en ayant auparavant pesé le saule et la terre, puis l'a arrosé pendant des années, pesant aussi l'eau utilisée, et aurait ainsi montré, en comparant les masses de saule formé et de terre consommés, que les végétaux ne se nourrissaient pas en « mangeant » le sol, comme on le croyait auparavant, mais à partir de l'eau. Fermez le ban : démonstration irréfutable, applaudissements dans la salle, exercices en vue.

Seulement voilà : C'est typiquement une présentation de ce que j'appelle une expérience « père Noël » : dans le but louable de démontrer qu'une expérience bien conduite a apporté une information nouvelle, on tord la réalité historique au point de la rendre fautive sur plusieurs points on ment aux enfants, mais pour leur bien (*d'où le père Noël — CQFD*).

En effet, nous allons voir que Van Helmont :

- n'a pas été le premier à faire cette expérience.
- n'avait rien d'un « biologiste », ni même d'un scientifique au sens moderne de ce mot.
- ne s'intéressait absolument pas à la nutrition des végétaux.
- a tiré de son expérience des conclusions qui n'ont rien à voir avec celles qui sont présentées dans les manuels scolaires.

Examinons pourquoi.

« Le vrai caché derrière l'apparence »

Depuis l'antiquité, l'atomisme reste minoritaire, et l'opinion dominante sur la structure de la matière est celle de la théorie des quatre éléments (air, terre, feu, air) dont les mélanges, les combinaisons aboutissent à former tout ce qui existe.

Vers 1530, Paracelse, parmi nombre d'élucubrations, n'en est pas moins un des premiers à oser affirmer que cette théorie est fautive (*autant que celle qu'il propose, la sienne, qui en compte trois, à savoir soufre, mercure et sel*), ainsi que celle des humeurs hippocratiques (*les maladies sont provoquées par un déséquilibre entre les quatre humeurs qui composent le corps, à savoir sang, lymphe, et deux sortes de bile — une conception à l'origine de bien des expressions conservées dans le langage courant moderne !*)

Paracelse affirme aussi le premier que ce n'est pas le cœur qui produit la chaleur du corps, mais que celle-ci provient de l'ensemble du corps grâce au métabolisme . Dans la matière vivante existerait un *ignés digestionis*, un feu digestif. Paracelse défend aussi l'usage exclusif de l'esprit, et l'action des planètes sur la physiologie... Paracelse est autant alchimiste que médecin, et Van Helmont est un de ses disciples, ce qui va lui valoir (une constante) quelques démêlés avec l'église, comme nous l'allons voir.

Van Helmont est membre d'une famille belge non seulement noble, mais influente, possédant de nombreux fiefs. Ses parents sont fortunés, et bien que son père soit mort en 1579, il est élevé par sa mère, Marie de Stassart, et un frère de son père, qui lui tient lieu de tuteur. Malgré leur opposition, il étudie et commente les écrits des médecins disponibles de son temps, qu'ils soient latins, grecs ou arabes. Érudit et imaginatif, il devient médecin sans difficulté et est immédiatement nommé professeur de chirurgie. Sa connaissance encyclopédique des écrits médicaux

antiques le pousse à douter de leur pertinence au regard de la pratique quotidienne de la médecine. Il projette de mettre en ordre ses critiques, même sur le très renommé Galien, mais abandonne cette idée, et la médecine avec, à la suite d'une « conversion » à la chimie : souffrant de la gale, il échoue à se soigner avec les remèdes classiques, mais réussit en employant du soufre.

Il rejette alors la médecine de son temps comme étant une « science incertaine », ce qui explique qu'il n'a que peu exercé son art. Regrettant finalement d'avoir déchu de son rang en devenant médecin, il quitte son pays et voyage en Suisse, Italie, France, Angleterre...

S'étant pris de passion pour l'alchimie, qui l'a guéri alors que la médecine en était incapable, il se lance, sur les traces de Paracelse, dans des expérimentations aussi variées que délirantes à nos yeux. En effet, si Van Helmont sait fort pertinemment critiquer les conceptions anciennes, héritées de l'antiquité, et montrer clairement leurs insuffisances et leurs erreurs; c'est pour proposer, à la place, ses propres conceptions encore plus délirantes et plus éloignées de la réalité sensible, qu'il se garde bien de soumettre à une critique aussi serrée, bien qu'il n'hésite pas à les mettre parfois à l'épreuve.

On peut en juger en citant, par exemple, son argumentation visant à faire de l'estomac le centre vital du corps (un délice pour les gourmets), déniait toute importance au cerveau (« *un viscère qui ne contient point de sang* ») : si on coupe la tête d'un homme, son cœur bat encore, alors qu'un violent coup à l'estomac stoppe le cœur et fait perdre conscience; ce qui prouve que l'estomac, et non la tête, est le centre vital. L'esprit habite l'estomac, car si on reçoit une mauvaise nouvelle, l'on perd l'appétit; et si on est affamé, on ne rêve que festins, parce que l'estomac manifeste le besoin qu'il ressent...

L'inventeur des « gaz »

Au cours de ses expériences de « chimie », Van Helmont va inventer un terme qui va passer à la postérité : le mot « gaz » (« gas » a l'origine), dérivant du mot flamand signifiant « chaos ».

Vers 1605, il s'installe près d'Anvers. Bien que déjà riche, il se marie en 1609 avec une femme noble, mais aussi richement dotée, Margarita van Ranst. S'occupant entièrement à ses expériences chimiques, il met au point un certain nombre de préparations (les premiers médicaments, en quelque sorte) qui font sa renommée, tout comme ses ouvrages. Il appelle les différentes transformations chimiques des fermentations, et il en fait la source principale de la vie. Ne prêtant aucune attention aux découvertes de Harvey, il connaît Descartes, se veut matérialiste et est passionné par les mécanismes chimiques de la vie. Comme nombre d'alchimistes, il recherche activement le remède ultime, la « panacée » et se nomme lui même « *medicus per ignem* » pour bien signaler que ses remèdes proviennent du feu de ses fourneaux de chimiste.

Ayant maille à partir avec l'inquisition (voir encadré), notre alchimiste est assigné à résidence à Vilvorde. Une fois installé, Van Helmont, pendant 30 ans, ne quittera donc plus son laboratoire, assurant dans ses ouvrages qu'il y a guéri des milliers de malades (*ce qui ne fut pas le cas de sa femme ni de quatre de ses enfants, emportés par des maladies diverses malgré — ou à cause — des remèdes de Van Helmont*).

En critique souvent pertinent des erreurs de l'antiquité, Van Helmont veut non seulement remplacer tous les remèdes antiques par ses préparations; mais souhaite aussi attaquer les conceptions théoriques issues de cette époque : il met au point

une conception dualiste, que nous allons retrouver dans l'expérience qui nous a préoccupés, qui s'applique à la fois au corps et au monde :

- **dans le corps** coexistent deux « principes », le *duumvirat* et l'*archée*. Le *duumvirat* résulte d'une lutte d'influence entre l'estomac et la rate (oui), et c'est lui qui constitue « l'âme » (qui se divise en deux, une partie à l'entrée de l'estomac et l'autre à la sortie) et la source de l'intelligence. L'*archée*, lui, contrôle « physiquement » le corps, il est lié aux sens, à la cicatrisation, à l'alimentation; bref aux rapports entre le corps et le monde. Comme un seul *archée* ne suffirait pas au contrôle du corps, Van Helmont lui donne une organisation hiérarchique : il existe, en plus de l'*archée* « en chef », des sous-fifres, *archée* de rang inférieur qui sont dévolus à un seul organe ou à un groupe d'organes particulier. La maladie survient lorsqu'un de ces subordonnés se révolte.
- **Dans le monde**, il n'existe pas quatre éléments, mais deux : l'air et l'eau. Pour prouver cette conception, il lui faut montrer que le feu et la terre ne sont pas des éléments, en d'autres termes, que l'on peut les obtenir à partir de l'air et de l'eau. Pour le feu, la cause est entendue : Il semble clair (pour Van Helmont) que le feu n'est qu'un type particulier d'air (ses expériences avec les gaz ont peut être pu le conduire vers cette conclusion). **Il reste à montrer que l'eau peut être transformée en « terre »** (élément solide). C'est pour démontrer cette transformation, qui soutient son dualisme élémentaire, que Van Helmont met au point l'expérience qui lui vaut d'être présent dans les manuels de sixième comme spécialiste de la nutrition des végétaux...

En 1600, il place 300 livres de terre sèche dans un tonneau, puis y plante une branche de saule de 5 livres. À l'abri de la poussière, il l'arrose avec de l'eau pure pendant 5 ans. Des pesées

lui montrent ensuite qu'il a obtenu un saule de 164 livres alors que la masse de terre n'a été diminuée que de 2 onces (60 g). **C'est donc bien « l'élément » eau qui a été transformé en « élément terre » solide par les plantes.** La « terre » n'est donc pas un élément. CQFD.

Accessoirement seulement, Van Helmont montre aussi une erreur d'Aristote, qui se rapporte, elle, à la nutrition des végétaux. Les plantes ne trouvent pas leur nourriture dans le sol, mais peuvent la préparer avec de l'eau, ou bien l'eau seulement suffit à la croissance des plantes.

Toutefois, Van Helmont n'est pas le premier à avoir effectué cette expérience : 150 ans auparavant, Cusanus (Nicolas de Cuse, 1401-1464), dans son ouvrage *idiotia de staticis experientialis*, paru en 1488, décrit l'expérience suivante : les plantes poussant dans 100 livres de terre maintenue humide ont été pesées. Une seconde pesée montrera que, bien que la masse des plantes ait augmenté, celle de la terre « *ne manifeste pas un changement digne d'être mentionné* ». Cusanus en déduit que l'eau a extrait de la terre des éléments que la plante a « *épaissis* » avant de les intégrer dans sa matière propre. L'eau et la plante sont donc ici reconnues comme jouant un rôle de premier ordre, le sol étant subalterne. Ces résultats seront malheureusement oubliés.

Le procès de Van Helmont : contre le matérialisme

De quoi est accusé Van Helmont? En fait, de matérialisme. En 1617, il a écrit un texte des plus confidentiels intitulé *De magnetica vulnerum curatione*, qui a été publié, en très peu d'exemplaires, à Paris (*Disputation sur la guérison magnétique des blessures*). Il s'agit, dans ce texte, d'expliquer les « guérisons à distance », tenues comme certaines et avérées, que Van Helmont lui-même pratique et commente sous la forme des « propositions de Paracelse », que voici :

« 1 - *Titius est blessé en Pologne. Si vous avez en Hollande l'épée qui a causé la blessure, et si vous enduisez cette épée d'un certain onguent que l'on appelle armaire; même si rien n'est appliqué sur la blessure, elle guérira cependant, par la force et l'action magnétique, et ceci sans douleur et, naturellement, sans superstition.* »

2 - *Sempronius est atteint d'une maladie incurable. On lui ouvre une veine et on enferme le sang dans une coquille d'oeuf, on le place sous une poule qui couve. Peu après, quant il est coagulé et salement putréfié, on le donne à manger à un chien ou à un porc. Quand celui-ci s'infecte, l'homme guérit.* »

3 - *Bien d'autres actions se font à distance : Voici un seul exemple : si on alimente une fois une lampe avec l'huile distillée du sang humain sans ajouter aucun autre aliment, elle brûle autant que vit l'homme du sang de qui provient l'huile; mais si l'homme meurt où que ce soit, la lampe, si éloignée soit-elle, s'éteint.* »

On peut juger ici de l'efficacité redoutable de la médecine à l'époque de Van Helmont... Mais l'important est que ce dernier, d'une crédulité totale en cette matière, va tenter d'expliquer ces

effets « indiscutables » par un moyen matériel, par une « physique » qui, toute fantaisiste qu'elle soit, présente aux yeux des religieux le danger de **vouloir expliquer des phénomènes tenus pour miraculeux, d'essence divine, par des causes naturelles**. Ce reproche de vouloir expliquer ce qui doit rester dans l'ombre de la religion est précisément ce qui a conduit Vanini au bucher et a valu à Jérôme Cardan de rompre quelques lances avec l'inquisition.

Assigné à Résidence

En 1624, Van Helmont est dénoncé à « la très sainte » inquisition. En dehors de la chimie, toujours suspecte, il pratique aussi Astrologie et « magie ». Il y a donc quelques risques de voir le « *medicus par ignem* » finir en « *ardeam medicus* »...

L'instruction commence début 1626, et Van Helmont est interrogé le 3 septembre 1627, puis trois ans plus tard, le 23 octobre 1630. Quatre ans plus tard (la « justice » était déjà aussi rapide que de nos jours), le 4 mars 1634, il est arrêté, accusé d'hérésie, blasphème, impiété et magie. Interrogé les 17, 21 et 24 mars, il ne sera pas condamné, mais sera assigné à résidence (comme Galilée) à Vilvorde, qu'il ne quittera plus.

Si Van Helmont n'a pas été inquiété outre mesure (si l'on excepte son assignation qui, dans son cas, contrairement à Galilée, fut une peine légère) ce n'est pas du à la mansuétude de l'inquisition, mais davantage à cause de ses appuis politiques et de sa très haute noblesse. Le médecin et littérateur Guy Patin, son contemporain, le précise bien : « *Pour les œuvres de M. Helmontius, qui était un enragé. M. Riolan* (un médecin français absolument opposé à toute intervention de la chimie en

médecine, il critiqua vertement les découvertes d'Harvey sur la circulation sanguine) *l'a connu a Bruxelles. Les jésuites le voulaient faire bruler pour magie. La feue reine mère le sauva parce qu'il prédisait l'avenir, étant induite en cela par un certain Fabroni, qu'elle avait auprès d'elle (...) Fabroni était gagné par le Cardinal de Richelieu pour perdre cette pauvre princesse. »*

Van Helmont évita le grill autant par sa naissance que par sa participation involontaire à un jeu géopolitique qui le dépassait amplement.

Ajoutons toutefois que « l'infâme » n'en avait pas terminé avec les Van Helmont : après sa mort, son fils François Mercure (alchimie inside !) publia l'intégralité des œuvres de son père sous le titre *Ortus medicinæ*, et bien entendu il fut lui aussi inquiet par cette « sainte institution ».

Dans ce fameux livre, en 1648, Van Helmont, en digne partisan de la génération spontanée des formes de vie, nous livre une recette peu ragoutante pour « créer » des souris : une bouteille remplie d'excréments et de vieux chiffons doit reposer 21 jours dans un placard obscur. On ignore si notre crédule alchimiste a tenté de vérifier sa prescription, mais résoudre le problème de la formation des êtres vivants imposait d'en connaître la structure, une recherche qui allait déboucher sur la « révolution cellulaire » dont nous allons à présent examiner la genèse.

7

Omni cellula e
cellulae

De l'invisible

« Même si l'on admire les épaules de l'éléphant, qui supportent des tours, les cous des taureaux, la rapacité des léopards et la crinière des lions; en vérité la nature des choses n'est jamais plus parfaitement réalisée que dans les plus petits.»

Pline l'ancien

Comme souvent, l'étude scientifique se dégage, à son origine, des superstitions de la religion : les débuts de l'étude de l'anatomie sont ainsi liés aux pratiques divinatoires ; des maquettes babyloniennes de foie ou d'intestin ont ainsi été retrouvées, et servaient à enseigner la divination d'après l'aspect de ces organes...

La conception de l'existence d'un monde invisible de par sa petitesse est ancienne. Platon, dans le *Timée*, fait référence à la constitution des êtres vivants, en se basant sur la théorie des quatre éléments. Ces êtres « *de feu, de terre, d'eau et d'air, ils empruntèrent au monde des portions, a charge qu'elles fussent un jour restituées, les ayant prises, ils les unirent ensemble (...) au moyen de liens serrés **que leur petitesse rendait invisible*** ». Un peu plus loin, dans le même ouvrage, à propos de la reproduction, il envisage l'existence d'êtres vivants non seulement invisibles à cause de leur taille, mais aussi « *indifférenciés* » : « *ils (l'homme et la femme) vont semer dans la matrice **des vivants invisibles à cause de leur petitesse** et fait de parties indifférenciées...* » (*Timée*, 44).

Ces « vivants invisibles », nous n'en entendrons plus parler avant bien longtemps, si ce n'est indirectement, sous une forme qui nous permet de jeter un pont entre l'atomisme et la théorie cellulaire : la recherche des éléments constitutifs ultimes de la matière et du vivant.

Toutefois, si le matérialisme, largement discrédité au cours de l'histoire, n'avait pas de difficulté à unifier le vivant et l'inerte dans le grand mouvement des atomes, il n'en était pas de même pour ceux qui rejetaient l'atomisme, ou l'ignoraient simplement.

Ainsi, Galien a été un des premiers, si ce n'est le premier, à séparer nettement le monde du vivant de celui des choses inanimées. Jusque là, vivant ou inerte n'étaient que des apparences, manifestations différentes d'une même matière, ou des mêmes quatre éléments (ce qui n'est pas faux, dans le cadre atomiste). Galien souligne la spécificité des êtres vivant, capable de croître par eux même, ce que ne font pas les objets inertes ou les productions humaines, qui sont construites par étapes. Cette spécificité, de nombreux auteurs, à travers l'histoire, vont insister dessus, sanctifiant le vivant, le sacralisant a un point tel que les

recherches seront longtemps bloquées par les conceptions liées au vitalisme, cette doctrine séparant abruptement la matière vivante de celle du monde. Malgré cela, même des conceptions erronées vont contribuer à préparer les esprits des observateurs à découvrir les unités élémentaires du vivant ; comme les atomes constituant les unités élémentaires de la matière et du monde.

Un concept va s'imposer comme décrivant l'unité minimale des êtres vivants, mais aussi du monde, un concept voulant réunir les observations scientifiques et les conceptions religieuses : la monade. Le terme dérive de l'antiquité, il y désigne à la fois les « idées » de Platon, une, parfaites et indivisibles ; et l'unité mathématique et mystique originelle des pythagoriciens.

Au moyen-âge, les « penseurs » chrétiens vont récupérer le concept pour en faire le miroir minimal de l'unicité divine, autrement dit la plus petite partie où se manifeste la volonté divine. Cette partie est à la fois spirituelle et matérielle, parfois même conceptuelle (chez G. Bruno, qui ne craint pas d'affirmer, en digne rejeton de Pythagore : « *La nature est nombre nombrable, grandeur mesurable et réalité déterminable. La raison est nombre nombrant, grandeur mesurante, critère d'évaluation. À travers la nature Dieu influe sur la raison. La raison, à travers la nature, s'élève vers Dieu.* » (*De triplici minimo et mensura* - 1591] ; mais dans tous les cas on insiste sur **sa très petite dimension.**

Le fils de notre ami Van Helmont, le bien nommé François Mercure, et sa grande amie Anne Conway vont différencier la monade spirituelle, d'essence divine, et l'existence de monades « mécaniques », physiques, pouvant être éventuellement investies d'un « souffle vital » divin. Leibniz [oui, nous retrouvons ici de nombreux personnages que nous avons déjà rencontrés, tant universel était leur génie] va développer le concept de monade au

point de rédiger une monumentale « monadologie » en 1714. On y trouve quelques idées des plus intéressantes, en particulier celle selon laquelle tout être est soit une monade soit un ensemble de plusieurs monades. Leibnitz n'hésite pas à doter ses monades de facultés de perception, même si leur structure, selon lui, mêle à la fois une composante matérielle et un « esprit », une « âme » d'origine divine... Il distingue même des monades végétales, animales, humaines, et y rajoute même celles des anges et de toute la volaille céleste...

J'insiste sur ces idées ô combien discutables à cause de leur importance historique, mais aussi, et surtout, parce qu'elles me semblent avoir préparé les esprits à accepter l'existence de la cellule : si l'on remplace, chez Leibnitz, « monade » par « cellule », on obtient, à peu près, une préfiguration remarquable de ce que sera le vitalisme avant que la biochimie ne discrédite à jamais ce déisme délétère pour montrer la primauté de la matière sur les élucubrations religieuses. Atomisme et monadologie ont, chacun de leur côté, insisté sur la petitesse des éléments constituant du monde.

Bien avant Hooke, à la fin de sa préface de *Micrographia* ; Pline avait souligné l'intérêt des formes de vie les plus petites : « *le bruit prouve que la nature a placé des dents dans les larves qui mangent le bois des chênes [...]. Même si l'on admire les épaules de l'éléphant, qui supportent des tours, les cous des taureaux, la rapacité des léopards et la crinière des lions ; en vérité la nature des choses n'est jamais plus parfaitement réalisée que dans les plus petits.* »

C'est Hooke qui, le premier, en 1665, en observant une coupe de liège afin de comprendre les propriétés physiques de ce matériau, va baptiser « cellule » les « petites boîtes » dont il découvre l'existence, et qui composent l'écorce de cet arbre.

Hooke identifie aussi ces cellules dans du charbon, du bois pétrifié [*voir mon autre livre sur Hooke dans l'iTunes store - son tarif est le même que celui-ci ;-)*], mais ne se doute pas un instant qu'il tient là l'unité « indivisible » de la matière vivante. Il ne soupçonne pas le lien entre vie et cellule, et les cellules qu'il dessine ne sont que les parois de cellules mortes. Faire de la cellule un être vivant, puis découvrir que tous les êtres vivants sont composés de cellules, et donc qu'ils sont tous composites, qu'ils sont tous des « colonies » cellulaires, a nécessité deux siècles de recherches hésitantes, bien loin de constituer une avancée triomphale vers la vérité, comme souvent raconté aux enfants,

La découverte de la théorie cellulaire est une nébuleuse d'avancées temporaires constellée de découvertes oubliées, puis refaites, puis créditées à l'un ou à l'autre en fonction des modes, des nationalités ou des luttes d'intérêt. En ce sens, elle est exemplaire du cheminement réel des découvertes scientifiques, et oppose un démenti à l'existence d'une logique inexorable du processus de découverte. De plus, les progrès de la technique microscopique se sont superposés à ceux des idées, montrant une fois de plus que, contrairement à ce qui est trop souvent affirmé, il est impossible de dissocier sciences et techniques, les deux étant indissolublement liés pour permettre l'étude du monde.

En effet, les premières décennies d'observations microscopiques ont été compliquées par les nombreux effets d'optique liés à des lentilles grossières possédant de nombreux défauts et générant des illusions d'optique, comme, par exemple, des halos circulaires qui seront souvent pris pour des structures cellulaires. Mais revenons au début de l'aventure microscopique.

Voir l'invisible

Les lentilles grossissantes sont connues depuis l'antiquité [avant que les Romains n'aient inventé le verre, elles étaient en cristal de roche] : on en trouve dans les ruines de Ninive, il y a plus de 4000 ans, ainsi qu'en Crête, il y a plus de 3000 ans. Elles servaient à tailler des sceaux dans des rouleaux minuscules, mais apparemment personne ne les a utilisés pour l'observation de la nature [où, du moins, cet usage éventuel n'a pas laissé de traces clairement identifiables.

À titre personnel, je me demande si quelques textes énigmatiques d'Aristote décrivant, bien avant les microscopistes, certains embryons végétaux comme « *de l'écume* » ou « *des bulles* » ne pourraient pas être les traces d'une utilisation antique de lentilles grossissantes de piètre qualité. Il est connu, en effet, qu'au premier siècle les Romains ont obtenu des lentilles de verre, leur donnant leur nom à cause de leur forme ; et Sénèque, au début de notre ère, note qu'une bouteille sphérique remplie d'eau permet d'observer « *agrandies et plus nettes* » des lettres « *pourtant petites et indistinctes* » Aristophane (vers - 400) et Pline (au début de notre ère) attestent de l'existence de « verres a feu », lentilles servant à concentrer les rayons solaires pour faire du feu]. Il nous est parvenu si peu de choses de l'antiquité [moins de 10 % des œuvres grecques... [voir annexe](#)] qu'il est fort possible, selon moi, qu'un usage scientifique des loupes se soit développé à cette époque sans qu'il n'en reste de traces nettes.

L'usage des lentilles optiques pour corriger la vue est attesté depuis l'an 1300 environ. Plusieurs auteurs italiens en ont été crédités, mais sans preuve définitive. Ce qui est certain, c'est que plusieurs scientifiques arabes [Ibn al-Haytham, plus connu sous le nom d'Alhazen, vers l'an 1000 ; son maître Ibn Sahl] avaient auparavant étudié les propriétés optiques du verre et des lentilles.

Il est possible que le moine et scientifique Roger Bacon [*par ailleurs persécuté par son église, emprisonné, tenu au secret, interdit d'enseignement... comme c'est étonnant*], qui a réalisé des travaux personnels sur l'optique et connaissait par ailleurs les auteurs arabes, ait mis au point les premiers verres correcteurs. Par ailleurs, il semble être le premier à s'être intéressé aux montages optiques comportant la combinaison de deux lentilles. Certains passages de ses œuvres laissent entendre qu'il aurait pu mettre au point télescope et microscope. Il a en effet écrit :

« for it is easily seen that the greatest may appear the least and the contrary, and far distant things may appear very near and conversely . So we may even make the sun, moon and stars descend lower in appearance, and to be visible over the heads of our enemies, and many things of the like sort which persons unacquainted with such things would refuse to believe. »

[« Pour qu'il soit facilement visible que le plus grand puisse paraître le plus petit **et au contraire**, et que bien des choses distantes peuvent apparaître très proches et inversement. Ainsi, nous pouvons même faire que le soleil, la lune et les étoiles descendent en apparence plus bas, et en étant visibles même pour les esprits de nos ennemis ; et beaucoup de choses de la sorte que des personnes qui ne seraient pas familières avec ces choses refuseraient de croire. »] Et, d'une façon qui rappelle Sénèque, *« si un homme regarde des lettres, ou d'autres petits objets, à travers un cristal ou du verre [...] il verra mieux les lettres [...] ceci est pratique pour les vieux et ceux qui ont une mauvaise vue. [...] Les petits objets peuvent paraître bien plus grands. »*

Les premiers microscopes ne vont toutefois faire leur apparition que 300 ans plus tard. Il est possible [mais pas certain] que les persécutions religieuses et la volonté de ne pas altérer « *par l'homme ce que Dieu avait créé* », donc de ne pas améliorer les sens, aient à voir avec cette cécité semi-volontaire.

Microscopiques

« J'ai observé, en utilisant du sang sortant de ma propre main, qu'il consiste en petits globules transportés dans un liquide transparent ressemblant à de l'eau. »

A. Van Leeuwenhoek

1600 — 1700 : des débuts chaotiques

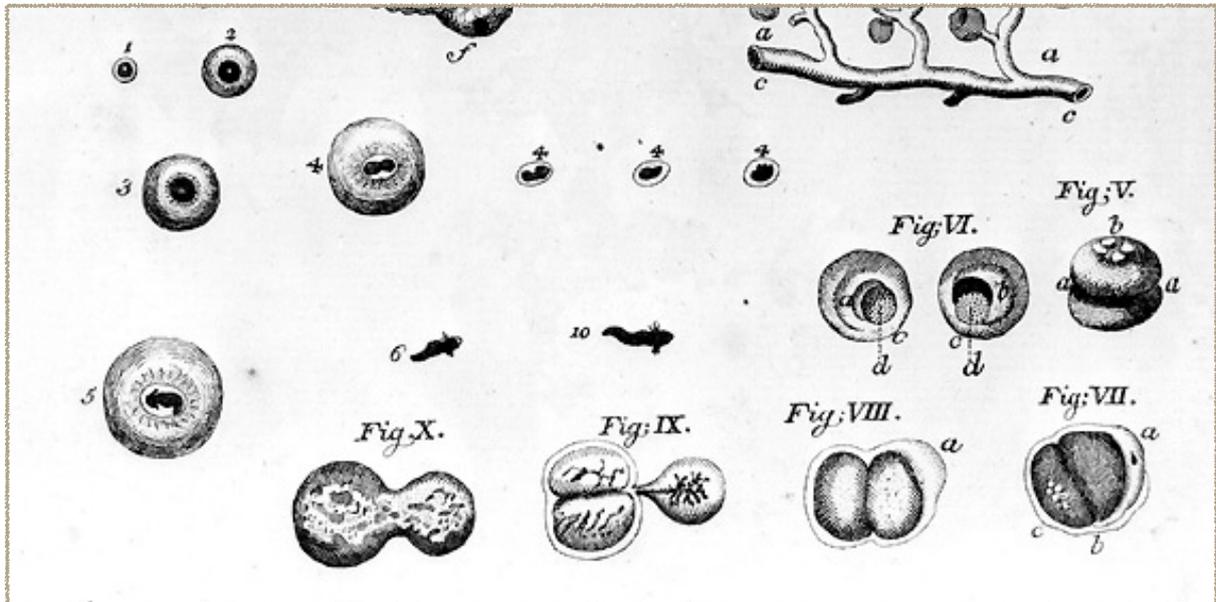
En tout état de cause, les microscopes font leur apparition au début du 17^e siècle. Il est souvent noté que ce sont deux Hollandais, Hans Martens et son fils Zacharias Janssen, qui l'aurait inventé dans les dernières années du 16^e siècle. Cette paternité reste douteuse, car elle n'est attestée que par le fils de Janssen, bien après les faits, et il semble pour le moins étonnant que son père, à un âge variant entre 7 et 15 ans (son année de

naissance est incertaine) lors de l'invention du microscope, l'ait réalisé seul. Si l'on se réfère à la concurrence entre Janssen et Lippershey (inventeur du télescope), qui étaient voisins et tous les deux « entrepreneurs de spectacles », et à l'honnêteté, disons modeste, de Janssen (il fabriqua de la fausse monnaie), il est plus probable que le microscope ait été inventé par son père, Hans Martens. Il est aussi tout à fait possible que l'invention de ce dispositif ait été réalisée en même temps, ou presque, par plusieurs inventeurs.

Ce qui est certain, c'est qu'en 1609, Galilée (le revoilà), fabricant réputé d'instruments scientifiques, réalise un microscope qu'il nomme *occhiolino* (*petit œil*), avec lequel il observe en 1614 la cuticule d'une mouche. C'est pour nommer cet instrument qu'en 1625, le mot *Microscopium* sera proposé par l'*accademia dei Lincei* (la bien nommée, en cette occurrence), à Rome, dont Galilée faisait partie.

En Hollande, Jan Swammerdam (1637-1680) est un des premiers observateurs à utiliser le microscope. Toutefois, d'un naturel secret et solitaire, d'un fanatisme religieux proche de la folie, il ne recherche dans les entrailles des insectes que les preuves de la « providence divine »... Comme Hooke quelques années plus tard, il est fasciné par la complexité, révélée par le microscope, des insectes les plus petits, comme les poux. C'est d'ailleurs dans l'intestin d'un pou qu'il réalise la première observation d'une cellule animale : il est le premier à décrire ce que nous avons à présent être des globules rouges dans l'intestin d'un de ces insectes. Swammerdam, tombé sous l'influence d'une fanatique religieuse, mourra rapidement en ayant publié en 1669 son recueil sur les insectes et en laissant un imposant manuscrit, matière première de la « bible de la nature » qui ne sera publiée par Boerhaave qu'en 1737 et 1738... On y trouve ses recherches sur le développement

des animaux, et des dessins montrant ce qui est sans doute la première division cellulaire dessinée, se produisant lors du développement d'un œuf de grenouille.



Dessins réalisés par Swammerdam, et décrivant le développement de l'œuf de grenouille. La Fig. X est peut-être la première représentation d'une division cellulaire.

En 1665, Hooke décrit les « cellules » qu'il a observées dans du liège. Il va par la suite retrouver ces structures dans d'autres plantes, comme le Fenouil, les chardons ou des fougères. Il faudra toutefois 200 ans pour passer de la cellule morte et vide de Hooke à la cellule vivante.

À cause de la dimension importante de leurs cellules et de leur résistance, qui permet de réaliser facilement des coupes fines, les végétaux ont constitué un matériel de prédilection pour les premiers microscopistes. À la suite de la publication de « Micrographia », plusieurs scientifiques mettent donc l'œil à l'oculaire tandis qu'en Hollande, un nommé Van Leeuwenhoek

décide d'apprendre à construire des microscopes pour voir de ces yeux ce nouvel univers qui se révèle.

Grew & Malpighi

En décembre 1671, six ans seulement après les premières observations de Hooke, deux médecins, Nehemia Grew et Marcello Malpighi, envoient chacun une communication sur la structure des végétaux à la Royal Society. Qu'ont-ils vu au travers des lentilles perfectibles de leurs microscopes, avec des aberrations chromatiques, des images sombres et déformées ?

Tout d'abord, ils recherchent des fibres. Pourquoi ? Depuis l'Antiquité règne l'idée, basée sur des évidences sensibles (*dilacérer une plante ou un muscle donne naissance à des « fils » de plus en plus fins*) que les animaux sont composés de fibres, ce qui a été avancé par Erasistrate. Praxagore, puis Theophraste qui a étendu cette idée aux plantes. Ces fibres étaient censées se former à partir d'un liquide, comme le sang ou la sève. Descartes (1596 — 1650) défend toujours cette idée, 20 siècles plus tard.

Grew recherche donc des fibres, et, bien entendu, son œil lui montre ce qu'il veut voir : la plante lui apparaît constituée de fibres, de « tuyaux » (ce qui n'est, tout de même, pas tout à fait faux), et la cellule n'est qu'une structure subalterne, une partie de ces tuyaux, qui sont l'unité fondamentale du vivant. Grew recherche davantage un système de circulation que ce qui compose les végétaux (nous sommes à l'époque où Harvey vient de mourir, en 1657, son ouvrage sur la circulation sanguine, *Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus*, datant de 1628). Même par la suite, Grew ne tiendra aucun compte des résultats troublants, allant à l'encontre de son hypothèse, obtenue par son « concurrent » Malpighi.

Il nous reste quelque chose de cette croyance que les êtres sont faits de « fils » : le mot « tissu », qui désigne encore la structure microscopique des organes qui les constituent.

Grew ne donne donc pas d'importance particulière aux cellules végétales, qui pour lui restent subalternes, car il recherche avant tout chez les plantes le système circulatoire qui doit être le pendant de celui des animaux, puisque l'identité entre végétaux et animaux est un « dogme » non encore discuté depuis Aristote...

Il réalise pourtant des dessins remarquables où les cellules végétales sont clairement visibles. Mais il pense qu'il y a unité, voire identité entre animaux et végétaux, car les rares bonnes observations des tissus animaux ont été réalisées, à son époque et auparavant, sur les muscles, ou sur la rétine, où l'on a observé des fibres nerveuses. La fibre semble donc bien décrire l'animal, donc le végétal aussi, donc elle monopolise l'attention, et rejette la cellule dans l'ombre ! Pourtant, Grew n'utilise pas le vocabulaire de Malpighi, qui décrit des bourses, des saccules ou des utricules ; il utilise clairement le mot cellule, et le fera même davantage dans l'avenir : l'épiderme des racines, note t'il en 1682, « *est souvent constitué de cellules ou de vésicules excessivement petites* » (The anatomy of plant, 1682, p.62). L'esprit ne voit, même au microscope, que ce que la croyance veut bien accorder au témoignage des sens.

Marcello Malpighi va être bien plus ambitieux que Grew : il va faire passer sous son microscope tous les « tissus » animaux et végétaux dont il pourra disposer, et ce faisant il va poser les bases de l'histologie et faire une moisson de découvertes qui assurent à son nom d'être présent dans tous les manuels d'histologie !

Une difficulté toujours d'actualité.

La « vision sélective » qui a handicapé les premiers microscopistes reste un petit problème dans l'enseignement : lors de leurs premières observations, nos élèves ne voient que des taches colorées sur les préparations, et fort peu de cellules. Si l'on observe un tissu un tant soit peu diversifié, ils sont perdus, confondant l'organe et la cellule, n'arrivant pas à se repérer, cherchant quelque chose qui leur rappelle, par exemple, la structure d'un épiderme d'oignon. Ils ont pourtant été prévenus, accompagnés, et utilisent un matériel d'une qualité bien supérieure à celui des premiers microscopistes, dont on peut alors mesurer et comprendre les difficultés. Le dessin, pendant longtemps, a été l'unique moyen de forcer l'attention, de montrer ce qu'il faut observer. A présent, l'observation sur écran des préparations devrait être généralisée, ainsi que l'analyse des images de microscopie. Est-il besoin de dire que nous en sommes encore (très) loin ? Apprendre à regarder une petite image nette fait partie de la mission du professeur de biologie.

Malpighi publie les premiers résultats de son étude microscopique des végétaux fin 1671 (*anatomes plantarum idéa* — texte d'une quinzaine de pages que l'on peut consulter [ici](#)), tout comme Grew. Cette simultanéité contribue à désigner l'un ou l'autre comme pionnier, ainsi que le nationalisme ou les goûts de ceux qui ont réécrit l'histoire a posteriori. Grew et Malpighi ayant maintenu, malgré leur rivalité, les relations des plus courtoises,

empreintes de respect mutuel, on doit pouvoir les créditer de façon conjointe de la découverte de la structure cellulaire des végétaux, même s'ils ne l'ont pas « comprise »..

Toutefois, on doit reconnaître que seul Malpighi a fait un usage systématique du microscope. De plus, il dispose d'une vue d'ensemble, car, contrairement à ses confrères, il travaille aussi sur des tissus animaux. En 1672 il observe et dessine la première cellule vivante (dans une tige de bardane).

Malpighi, observant à la fois animaux et végétaux, nomme « vaisseaux » les tubes qu'il observe chez les végétaux. Il n'utilise pas le mot cellule, mais parle d'utricules (petite bouteille), ou de saccules (sac contenant des liquides). On a donc bien, dès le départ de l'étude de la cellule (même pour Hooke), l'idée que les cellules doivent contenir un liquide. C'est ainsi que les cellules, simples « sacs, » sont vues comme étant emplies de sève. Malpighi voit les cellules comme étant séparées les unes des autres, et non pas comme constituant un système de circulation, comme Grew. Il va même réaliser une expérience fondamentale, mais dont l'importance va passer inaperçue : il laisse macérer, c'est-à-dire pourrir, des morceaux de végétaux, et les observe au fur et à mesure de leur macération. Il constate que les différentes cellules se séparent alors les unes des autres. C'est la première fois que la « décomposition » d'un organisme montre que son unité constitutive est la cellule, mais Malpighi n'exploitera pas davantage ce résultat, car il est lui aussi à la recherche des « fibres » qui doivent constituer le vivant. D'ailleurs, lorsqu'il décrira les tissus végétaux, il parlera d'une structure semblable « à une étoffe »...

Malpighi décrit les embryons végétaux comme des « masses de bulles », et pense qu'ils sont faits de fibres entrelacées (*ce qui illustre bien le fait que l'œil ne suffit pas pour voir la vérité, un esprit préparé*

est indispensable). Étrangement, sa description correspond à celle donnée par Aristote, qui parlait d'« écume »... Malpighi pressent que chaque cellule est un être vivant.

Nombreux sont les observateurs de l'époque à « voir » ainsi des structures globulaires, mais ces globules existent-ils ? Qu'ont ils réellement observé, au moyen d'instruments que nous ne confirions plus a des enfants ? Nombre de ces observations ne décrivaient que des défauts d'optique, des aberrations diverses, des reflets, des déformations.... Étrangement, lorsque, vers 1840, la qualité des optiques microscopiques a fait un bon, ces globules ont subitement disparu...

Un des élèves de Malpighi, Gorgio Baglivi (1668-1707), développe l'idée que l'organisme est un ensemble de petites machines innombrables, et ces machines, ce sont les fibres microscopiques... Elles correspondent à ce que Newton avait appelé les *corpuscula*, les particules élémentaires de la vie, qui devaient être équivalentes à celles qu'il avait mises en évidence dans la lumière ; ce qui montre bien que la recherche microscopique visait bien à rechercher alors « l'atome biologique » sous forme d'une vie minimale. Pourtant, certaines observations montrent que la structure de ces fameuses fibres n'est pas homogène : vers 1660 environ, Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679), médecin et scientifique étudiant le mouvement des animaux, et Thomas Willis (1621-1675), anatomiste spécialiste du cerveau, signalent tous deux qu'il peut exister une cavité dans certaines fibres, mais cette première vision d'un noyau (ou d'une illusion d'optique ?) reste sans écho.

La qualité des premiers microscopes, en effet, rendait difficile l'observation des cellules animales, générant nombre d'artefacts, et jetant le doute sur la réalité de certaines découvertes.

Ainsi, en août 1673, Leeuwenhoek identifie les cellules sanguines. Il note dans une lettre à la Royal Society : « *j'ai observé, en utilisant du sang sortant de ma propre main, qu'il consiste en petits **globules** transportés dans un liquide transparent ressemblant à de l'eau* ». Toutefois, les aberrations de ses lentilles le poussent à voir des globules un peu partout, ce qui fait douter un opticien comme C. Huygens (a tort, car les reconstitutions modernes des instruments de Leeuwenhoek montrent clairement les hématies). Les difficultés liées aux optiques imparfaites touchent tous les observateurs : en 1672, N. Grew, qui a réalisé la première coupe de cellule végétale vivante dans une tige de bardane, décrit les embryons végétaux comme étant des « *mass of bubbles* ». A t'il observé des cellules ou des figures de diffraction et autre artefact optiques ? Lui-même reste dubitatif, se demandant comment ces « bulles », cette « écume », peut donner naissance à un corps solide. Les tissus animaux ne sont pas en reste : en 1691, le médecin Clopton Havers, dans son « *osteologia nova* », décrit la moelle osseuse comme une structure vésiculaire, un « *monceau de perles* ».

C'est à cette époque qu'intervient régulièrement un observateur « amateur », aussi naïf que méticuleux, fabricant « compulsif » de microscopes, le très justement célèbre Anton von Leeuwenhoek.

Leeuwenhoek

Beaucoup de découvertes ont été réalisées par le « père » de la microbiologie, fabricant de microscope à lentille unique (des « super loupes ») et polisseur de lentilles de Delft, en Hollande, le grand Anton Leeuwenhoek. Ce dernier, portier de l'hôtel de ville de son état, avait été passionné par le livre de Hooke, *Micrographia*, et avait décidé, un peu avant 1668, de construire alors et d'utiliser son propre microscope. Il apprit les techniques d'optique alors connues, puis se mit au travail. Ses résultats vont

dépasser ses espérances : abandonnant les microscopes composés à deux lentilles, donnant des images sombres et entachées de nombreuses aberrations ; Leeuwenhoek entreprend la taille et l'utilisation de minuscules lentilles simples à très fort pouvoir grossissant : alors que les meilleurs microscopes composés de son temps grossissent péniblement 20 fois, il parviendra à obtenir des lentilles grossissant 200 fois les objets qu'il va examiner. Conservant souvent ses échantillons pour les examiner tout à loisir, il va construire de nouveaux microscopes, presque un par objet à observer (il en construira près de 500).

En 1673, V. Leeuwenhoek commence à écrire à la Royal Society des lettres décrivant ses observations. L'année suivante (le 7 septembre), il réalise la première observation d'une cellule vivante, celle d'une algue spirogyre, dans l'eau d'un lac (**Berkelse Mere, près de Delf**) : « *examinant cette eau le lendemain, j'ai trouvé flottant dans celle-ci diverses particules terreuses et quelques filaments verts, enroulés en spirale comme un serpent et disposés de façon régulière, à la manière des tuyaux de cuivre ou d'étain que les distillateurs utilisent pour refroidir leurs liqueurs pendant la distillation. Toute la circonférence de chacun de ces filaments avait l'épaisseur d'un cheveu (...) tous se composaient de très petits globules verts reliés entre eux, et il y avait ainsi de très nombreux petits globules verts.* »

En 1675, il observe d'autres cellules, animales celles-là, mais ne les identifie pas comme telles : il s'agit des érythrocytes qu'il découvre et mesure dans du sang humain, de porc, de poisson et d'oiseaux. Deux ans plus tard, il découvre les spermatozoïdes (*contre*), les prenant tout d'abord pour des parasites, avant d'envisager, plus tardivement, leur rôle dans la reproduction.

Toutefois, Leuwenhoek n'identifie pas les différents animalcules qu'il a découverts (protozoaires, érythrocytes, spermatozoïdes) en tant que cellules.

Les microscopes qu'il a utilisés ont été reconstruits, avec les mêmes techniques, et [des photos ont été prises montrant leurs possibilités.](#)

Le 10 décembre 1681, Leeuwenhoek envoie à la royal society une lettre décrivant sa découverte des unicellulaires, qu'il a découverts dans des flaques d'eau et dans l'eau des canaux de sa ville.

Dans une lettre datée du 25 décembre 1702, il décrit de nombreux unicellulaires, dont des vorticelles : « *Structurellement, ces petits animaux sont façonnés comme une cloche, et au niveau de leur ouverture ronde ils ont fait tant de remous que les particules présentes tout autour, dans l'eau, ont été ainsi mises en mouvement* ». V Leeuwenhoek avait déjà, semble t'il, observé des unicellulaires dès 1675 (des vorticelles), mais sans les dessiner. Outre des protozoaires « libres », comme Volvox et Polystomella, Leuwenhoek va sans le savoir observer le premier des unicellulaires parasites : il décrit *Gardia intestinalis* en 1682, qu'il observe dans ses propres excréments, et il découvre aussi d'autres protozoaires parasites comme *nyctotherus* dans l'intestin d'une grenouille, et une *coccidie* dans le tube digestif d'un lapin.

Leeuwenhoek, suivant les publications de R. Hooke, va développer toutes les techniques de base de la microscopie : recherche de plusieurs types d'éclairage, réalisation de coupes (au rasoir, les tranches les plus fines possible....), colorations (en utilisant du safran pour mieux observer les fibres musculaires). Il correspondra avec la Royal Society jusque sur son lit de mort,

survenue à l'âge considérable de 91 ans, le 30 août 1723. Sa découverte des micro-organismes lui vaudra une célébrité immense, les têtes couronnées se pressant dans sa modeste demeure (*) et les plus grandes sommités de son temps (Leibniz, par exemple...) correspondant avec le portier de l'hôtel de ville de Delf. Ce dernier, toutefois, ne va pas s'attarder sur la structure cellulaire, tout occupé à engranger les découvertes.

Il faut toutefois signaler que des protozoaires, parmi les plus gros, avaient été observés bien avant : vers 1550, Clausius avait observé le squelette calcaire de Nummulites, et en 1565 C. Gesner avait fait de même avec un foraminifère qu'il avait pris pour un mollusque, et nommé Strombus. Hooke lui-même avait décrit un foraminifère dans sa *Micrographia* (du genre *Rotalia*), mais sans en soupçonner la nature.

** Et cet engouement deviendra de plus en plus populaire avec le temps : en janvier 1884, le mensuel science & nature (vol 1, N ° 6, p 88-91) décrira le succès remporté à Paris, au théâtre des menus-plaisirs, par un « spectacle » consistant en une projection sur écran de préparations microscopiques comprenant, entre puces et acariens, de nombreux unicellulaires... Hooke aurait été comblé !).*

Die zelle

« *Tout philosophe observateur de la nature ne doit rechercher que la vérité, et qu'il ne peut manquer de la voir avec plaisir, même lorsqu'elle heurte ses idées les plus favorites.* »

Dutrochet

1700 — 1800. Le déclin de la fibre, mais qu'est-ce que la cellule ?

Pendant 50 ans, rien de notable ne va être ajouté aux descriptions de Malpighi et Grew, et l'idée que les végétaux sont constitués de cellules sera à peu près généralement acceptée vers 1720, où paraissent les œuvres de Leeuwenhoek (*Epistolae physiologicae super compluribus naturae arcanis*).

Christian Von Wolff, en 1720, en se basant plus sur les monades de Leibniz (qui lui avait fait obtenir un poste universitaire) que sur ses observations, est le premier à soutenir que les êtres sont entièrement faits de cellules, et non de fibres. En effet, sa philosophie, basée sur le pouvoir prééminent de la seule déduction, le conduit à penser que l'expérience est subalterne et ne peut jamais que confirmer les résultats de la déduction. Cela lui vaudra d'ailleurs de devoir s'exiler quelque temps pour échapper à la corde en 1723, car sa rationalité militante menaçait les « lumières » de la foi.

Alexander Monro (1732, *Anatomy of the humane bones*) parlera de « *cellules vésiculaires qui constituent la moelle* » ; mais il est difficile de faire la part entre de vraies cellules et de simples illusions liées à la mauvaise qualité des optiques ou à la rusticité des préparations. Il faudra en effet attendre un siècle, avec Purkinje, pour que les techniques de base de la préparation des échantillons microscopiques soient bien établies.

En 1758, Henri Louis Duhamel du Monceau sera l'un des premiers à reprendre le terme de cellule dans son « *Traité de la physique des arbres* », qui résume les connaissances disponibles à son époque, et à parler de « *tissu cellulaire* » au sujet d'un parenchyme qu'il compare à de l'écume ou à de la mousse.

L'année suivante, Caspar Friedrich Wolff décrit dans sa thèse de doctorat, *Theoria Generationis*, les apex de végétaux en croissance : il y voit des vésicules. Quinze ans plus tard, il représente des cellules entourées d'une fine membrane. Il dessine également le noyau cellulaire, mais n'y prête pas une attention particulière. Il va toutefois avancer, sans preuve, l'hypothèse selon

laquelle les cellules constituent les végétaux, mais aussi les animaux.

Le chirurgien Le Cat, en 1763, en voulant décrire les fibres musculaires, utilise le mot cellule, mais il reste obnubilé par les fibres, et se limite à l'aspect des muscles sans chercher à analyser leur structure intime.

En fait, à cette époque, le mot cellule est employé dans de nombreux sens différents, pour décrire tous les objets vaguement sphériques, ou ayant une forme géométrique régulière, visible dans les préparations microscopiques. La cellule n'est pas encore un être vivant microscopique, un fragment doué d'une vie propre.

Les indices, les observations ne manquent pas, mais c'est leur interprétation qui est difficile. Ainsi, en 1774. L'abbé Corti (*Opusculi scelti di Milano*) découvre que le contenu d'une cellule d'algue d'eau douce, *Chara vulgaris*, est fluide et que des

passé au dedans. On voit, dans chaque entre-nœud, ces corpuscules s'élever de bas en haut le long d'un des côtés de la tige; parvenus au nœud supérieur, retourner, puis redescendre par le côté opposé, en suivant une route parallèle à celle par laquelle ils sont montés. On aperçoit près du nœud une sorte de tournoiement sur un plan horizontal par lequel les corpuscules sont portés d'un côté vers l'autre. Chaque petit tube, ou entre-nœud a sa circulation propre; mais elle est conforme dans tous. Si on agite la plante, les corpuscules se mêlent et paroissent en désordre; reposés, ils reprennent leur place et leur mouvement régulier. Ce mouvement cesse dans le vuide. — Fontana, rendant compte de ce singulier phénomène, observe que la *CHARA* ne donne aucun signe extérieur d'irritabilité (1).

mouvements, une circulation s'y produisent. Il décrit les cellules comme des « *petits tubes* » à l'intérieur desquels « *nagent un grand nombre de corpuscules* »

Introduction à l'étude de la Botanique, Volume 2, par J.C. Philibert, 1802)

Un autre naturaliste, Felice Fontana, qui enseigne à Pise et dirige le musée d'histoire naturelle de Florence, qu'il a créé ; observe lui aussi ces mouvements, mais pense qu'ils doivent être relié à une « sensibilité » de la plante, qu'il ne trouve pas : le mouvement est encore vu comme la marque d'un comportement « animal », pas comme la manifestation d'une vie microscopique indépendante. En 1781, dans un chapitre portant sur « *la structure primitive du corps animal* » dans son « *traité sur le venin de la Vipère* » (Florence, 1781 Ph. VIII. fig. 19, 20), il représente des cellules isolées dans le tissu adipeux, entourées de fibres. Mais l'étude des tissus animaux reste bien plus difficile, à l'époque, que celle des végétaux. Cette difficulté explique peut être le très faible intérêt manifesté par les scientifiques français pour les études cellulaires avant 1800 (en 1812, Bichat, dans son traité d'anatomie générale, ignore ce qu'est une cellule !). Au 19^e siècle, les choses vont changer avec le perfectionnement des optiques microscopiques et le développement des techniques de préparation.

1800 — 1900 : de l'éponge au tissu cellulaire

En 1802, le botaniste Charles François Brisseau de Mirbel attaque la théorie des fibres et compare la structure microscopique des végétaux à celle d'une éponge. Il observe la formation de parois cellulaires, sous forme de lignes indistinctes, mais ne peut les détailler davantage. Il va toutefois persévérer dans l'étude des limites des cellules et, cinq ans plus tard, il décrit les végétaux comme étant composé d'un tissu constitué de cellules contiguës possédant des parois communes. (*Traité d'Anatomie et de Physiologie végétales, t. I., Paris, au x. ; exposition de la Théorie de l'organisation végétale, Paris, 1809*).

Les parois des cellules végétales vont poser un problème aux scientifiques, qui vont les rechercher chez les animaux, et ne vont pas les trouver... sauf au niveau de l'aspect de cellules incluses dans une matrice extra cellulaire, comme le cartilage. En 1831, Mirbel généralisera ses observations en montrant que tous les organes d'un végétal sont faits de cellules.

En 1802 également, Bauer et Brown représentent ce qu'ils nomment des « specks » (que l'on pourrait traduire par « disque ») dans des cellules de stigmates. Leurs dessins ne seront toutefois imprimés qu'en 1830, Brown ayant alors retrouvé des « specks » dans plusieurs plantes différentes et les ayant nommés noyau, un terme qui va passer à la postérité.

En 1818, Le chirurgien anglais Sir Everard Home, anatomiste et auteur prolifique qui réalisera la première étude de l'ornithorynque et la description du premier fossile connu d'ichtyosaure, note dans les *Philosophical transactions* que certains tissus animaux sont faits de « *corpuscules globuleux* » qui « *paraissent être des cellules d'une excessive petitesse* ».

Le naturaliste et philosophe Lorenz Oken (1779 — 1851) considère que les êtres vivants sont des juxtapositions infinies de « bläschen » (vésicules) ou de « zellen » (cellules). Il écrit, en identifiant les cellules aux infusoires : « *Toute chair se décompose en infusoires.* » Oken va même plus loin en résumant de quelle façon les tissus sont constitués de cellules, qu'il nomme « animaux primitifs » collaborant ensemble : « *L'association d'animaux primitifs sous forme de chair ne doit pas être conçue comme un accollement mécanique d'un animal à un autre, comme un tas de sable dans lequel il n'y a pas d'autre association que la promiscuité de nombreux grains. Ils sont tous mis au service de l'organisme plus élevé, ils travaillent en vue de cette fonction commune et unique, ou bien ils effectuent cette fonction en se réalisant eux-mêmes.* »

Un précurseur : Dutrochet

Henri Dutrochet (1776 — 1847), médecin converti à la recherche scientifique par la lecture des œuvres de Spallanzani (« *la méthode expérimentale peut seule faire faire de véritables progrès aux sciences* ») réalise seul instruments et expériences afin d'étudier l'aspect microscopique des tissus végétaux, mais aussi animaux (« *il n'y a qu'une physiologie, végétale et animale, les différences n'étant que des avatars* »). Il va d'ailleurs, comme Leeuwenhoek, utiliser un microscope simple, une « super loupe ».

Il rassemble ses notes en 1824 dans un ouvrage (*Recherches anatomiques et physiologiques sur la structure intime des animaux et des végétaux, et sur leur motilité*) dans lequel il affirme le lien entre cellules animales et végétales. Il étudie plus précisément l'anatomie d'une plante, la sensitive, en soumettant les tissus à l'action de l'acide nitrique chaud. Il précise que la moelle de la plante est « *comme celle de tous les végétaux, entièrement constituée de cellules* » (p 10). L'action de l'acide nitrique lui permet d'identifier le rôle de la paroi des cellules végétales, et de la différencier de la membrane des cellules : « *partout où deux cellules se touchent, la paroi que les sépare offre une double membrane.* ». En fait, il obtient par une autre voie ce que Malpighi avait réalisé par des expériences de macération : la résolution d'un organisme en ses composés vivants élémentaires, les cellules.

Dutrochet rappelle (p. 200-201) que « *les recherches microscopiques de plusieurs observateurs (...) ont appris que tous les organes des animaux sont composés de corpuscules globuleux agglomérés* » dont il souligne l'analogie avec ceux qu'il obtient chez les végétaux traités à l'acide. « *Tous les tissus sont essentiellement composés de corpuscules ou de cellules vésiculaires agglomérées* (le terme de cellule n'était pas alors d'un usage exclusif, et était employé pour les végétaux, et avec

hésitation pour les animaux) : *telle est, en effet, la composition intime de tous les organes des animaux, sans aucune exception* ». Il identifie aussi des organites différents dans les cellules végétales (en fait, il met en évidence les chloroplastes), sans pouvoir aller plus loin que d'identifier des différences entre cellules animales et végétales, et entre plusieurs types de cellules animales.

Il signale les observations de Milne Edwards (« *Mémoire sur la structure élémentaire des principaux tissus organiques* »), qui « *a examiné avec beaucoup de soin la structure microscopique des principaux tissus organiques des animaux, il n'a vu partout que des globules agglomérés.* », et se félicite d'avoir vérifié l'exactitude de ces affirmations. Il précise bien « *partout, en effet, on ne trouve, dans les organes des animaux, que des corpuscules globuleux, tantôt réunis en séries longitudinales et linéaires, tantôt agglomérés d'une manière confuse.* »

Reconnu comme un scientifique à l'honnêteté intellectuelle scrupuleuse, Dutrochet mentionne (p 164) ceux qui ont montré que « *le système nerveux des animaux est fait de « corpuscules globuleux agglomérés* » : Leeuwenhoek, forcément, puis Prochaska, Fontana, sir Everard Home, Bauer, les frères Joseph et Charles Wensel et Milne Edwards. Il précise bien, en particulier, que E. Home et les frères Wensel (dans leur *De penitions structura cerebri hominis et brutorum*) sont parvenus aux mêmes conclusions.

Dutrochet va, sans s'en apercevoir, se placer dans une perspective évolutionniste, bien qu'il songea plus probablement au développement des animaux et végétaux, lorsqu'il écrit « *La nature possède un plan uniforme pour la structure des êtres organisés animaux ou végétaux... et... tous les êtres vivants dérivent de la cellule dont ils sont la modification.* »

Dès 1824, Dutrochet a été troublé par les ressemblances morphologiques entre certains tissus animaux et végétaux : ainsi, la moelle de *Mimosa pudica* ressemble fortement (sous son microscope...) à certains tissus d'un escargot.

Malgré ces travaux, qui auraient pu lui valoir le titre de père de la théorie cellulaire, Dutrochet ne rencontre que peu d'écho : le milieu scientifique français reste hostile à la théorie cellulaire, et il le restera encore près d'un siècle. Nous voyons encore ici qu'une découverte n'est acceptée que si le milieu scientifique est « prêt » à l'accueillir, sinon, elle reste lettre morte jusqu'à ce que les esprits se soient assez ouverts, assez préparés pour cela. Dutrochet ne se fait d'ailleurs que peu d'illusions à ce sujet, car il précise à la fin de son livre : « *Dans le cours de cet ouvrage, j'ai opposé avec franchise mes opinions à celles de plusieurs savants célèbres ; et je l'ai fait sans craindre de les blesser, persuadé que tout philosophe observateur de la nature ne doit rechercher que la vérité, et qu'il ne peut manquer de la voir avec plaisir, même lorsqu'elle heurte ses idées les plus favorites.* »

En 1827, Sir E. Home persiste dans ses recherches sur les tissus animaux et fait le lien, le 8 février 1827, dans une communication à la Royal Society, entre la structure cellulaire du poumon et sa fonction (*an Examination Into the Structure of the Cells of the Human Lungs; with a View to Ascertain the Office They Perform in Respiration*)

La technologie des microscopes progresse, les esprits aussi : les observations s'accumulent en faveur de la présence de cellules dans tous les êtres vivants, et elles convergent pour montrer que la cellule est l'unité de base du vivant.

En 1831, Robert Brown identifie le noyau dans des cellules d'orchidées, puis chez d'autres plantes ; et 7 ans plus tard le

botaniste Mathias Jacob Schleiden (1804 -1881) pourra affirmer que le noyau est un « organe » universel chez les végétaux, et qu'il est en relation avec le développement de la cellule. Il identifie dans le noyau un corps que Schwann nommera « nucléole »

Purkinje met au point la microscopie moderne

En 1832, l'anatomiste Tchèque Jan Evangelista Purkinje achète un des meilleurs microscopes de son époque, conçu par l'opticien autrichien Simon Plössl, et équipé de lentilles achromatiques. À l'époque, l'objectif est démontable en six lentilles achromatiques. Les microscopes Plössl permettent ainsi de les empiler, mais des grossissements intermédiaires sont obtenus par des combinaisons précises et répertoriées de ces différents objectifs. L'éclairage est fourni par un jeu de miroirs et de lentilles articulés.

Entre 1832 et 1845, Purkinje va, avec cet instrument, mener des recherches systématiques sur la constitution des êtres vivants. Il décrira ainsi son travail à R. Wagner en 1841 : « *J'ai étudié dans les meilleurs délais et avec une ardeur sans limites tous les domaines de l'histologie des plantes et des animaux, et j'en ai conclu que ce nouveau domaine était inépuisable. Presque chaque jour apporte de nouvelles découvertes, et j'ai rapidement ressenti la nécessité de faire partager aux autres ma vision améliorée, et le plaisir provenant de ces découvertes.* »

Purkinje va se différencier des autres microscopistes par l'attention qu'il prête à la préparation des tissus avant leur examen au microscope :

- **la fixation**, pour laquelle il développe des méthodes permettant l'étude des tissus durs comme les os et les dents, qui doivent être décalcifiés pour donner des coupes transparentes.

- **la coupe**, pour laquelle A. Oschatz, son assistant, construit en 1843 un des premiers microtomes permettant de réaliser des coupes minces (plus tard, Purkinje lui-même mettra au point la technique de coupe en congélation)
- **les colorations**, et autres moyens de rendre visibles des structures qui ne le sont pas dans des échantillons bruts.
- **la conservation des préparations**, pour laquelle il utilise l'ambre, un vernis ou le baume du Canada.

Le résultat de toutes ces techniques et de tous ces soins, c'est que Purkinje voit au microscope de nombreuses structures qui avaient échappé à l'attention des autres observateurs, mais qui, une fois décrites, semblent tellement évidentes que les jeunes spécialistes pouvaient à peine croire qu'elles étaient restées inaperçues pendant si longtemps.

Purkinje étudie la structure de la peau et de ses glandes, les os, les dents et leur développement, les artères et les veines, les muscles comme le cœur ou l'utérus, le système digestif et le système nerveux, pour lequel il est le premier à souligner l'importance des cellules qu'il identifie dans l'encéphale et dans les ganglions des vertébrés : il y voit les « *centres élémentaires de collecte, de production et de distribution de la force parcourant le système nerveux* ». Il va bien entendu observer et décrire des cellules dans tous les tissus qu'il observe. Pour les décrire, il utilise le terme de « *granules nucléés* », et va, pour nommer l'intérieur de la cellule, utiliser le mot « *protoplasme* », qui sera réemployé avec des fortunes et des définitions diverses, allant du simple matériau intérieur de la cellule à une matière primordiale et intrinsèquement vivante.

Alors même que Purkinje déballe son microscope, en 1832, Charles Joseph Dumortier observe dans une algue la première division cellulaire, ainsi décrite à l'époque : « *dès que les cellules*

terminales de Conferva aurea ont grandi, étant significativement plus allongées que leurs voisines, une paroi séparatrice s'est formée à l'intérieur, et ainsi d'une seule cellule, deux sont toujours formées ».

Ce type de division a été également observé par C. Morren (dans une Closteria) et Hugo Von Mohl chez une autre algue Conferva.

Toutefois, de nombreux biologistes pensaient que ce mode de reproduction se limitait aux plantes et aux infusoires, car il n'avait pas été observé chez les cellules animales (et pour cause : l'absence d'une paroi, la taille des cellules et le manque de colorants adaptés ne sont pas des éléments facilitant ces observations).

Il faut bien voir qu'à l'époque règnent une intense concurrence et un nationalisme exacerbé entre France et Allemagne. Tout comme la chimie, l'histologie, qui utilise des colorants et des systèmes mécaniques précis, est vue comme une « science allemande », facile à dénigrer, et c'est a posteriori que des scientifiques français superbement ignorés en leur temps se verront honorés du terme de pionnier : chaque nation écrit « son » histoire de la découverte de la cellule. Ainsi, c'est le botaniste Von Mohl (1805-1872) qui se retrouve souvent crédité de la première observation de division cellulaire. En fait, il est très probable que celle-ci ait été observée par tous les microscopistes de l'époque qui disposaient à la fois du bon matériel, du bon sujet d'étude et... d'un esprit ouvert !

Mathias Schleiden

Dans la seconde moitié des années 1830, un botaniste Allemand, Mathias Schleiden, travaillant à Iena, est un des rares à étudier la morphologie des végétaux au microscope. Schlieden

avait tout d'abord étudié le droit, devenant avocat. Sa situation le déprima au point qu'il se tira une balle dans la tête puis, ayant survécu, décida de repartir de zéro en étudiant la botanique. En 1835, il rencontre R. Brown qui l'engage à travailler sur l'embryologie des plantes et le devenir des cellules, tout comme son oncle, J. Horkel, qui enseignait déjà cette matière. La même année, Johannes Müller, qui enseigne l'anatomie comparée et sera le mentor de toute une génération de scientifiques allemands (Helmholtz, Virchow, Henle, Haeckel, Schwann...) relève l'analogie entre les cellules végétales et les cellules observées dans la moelle épinière de la lamproie.

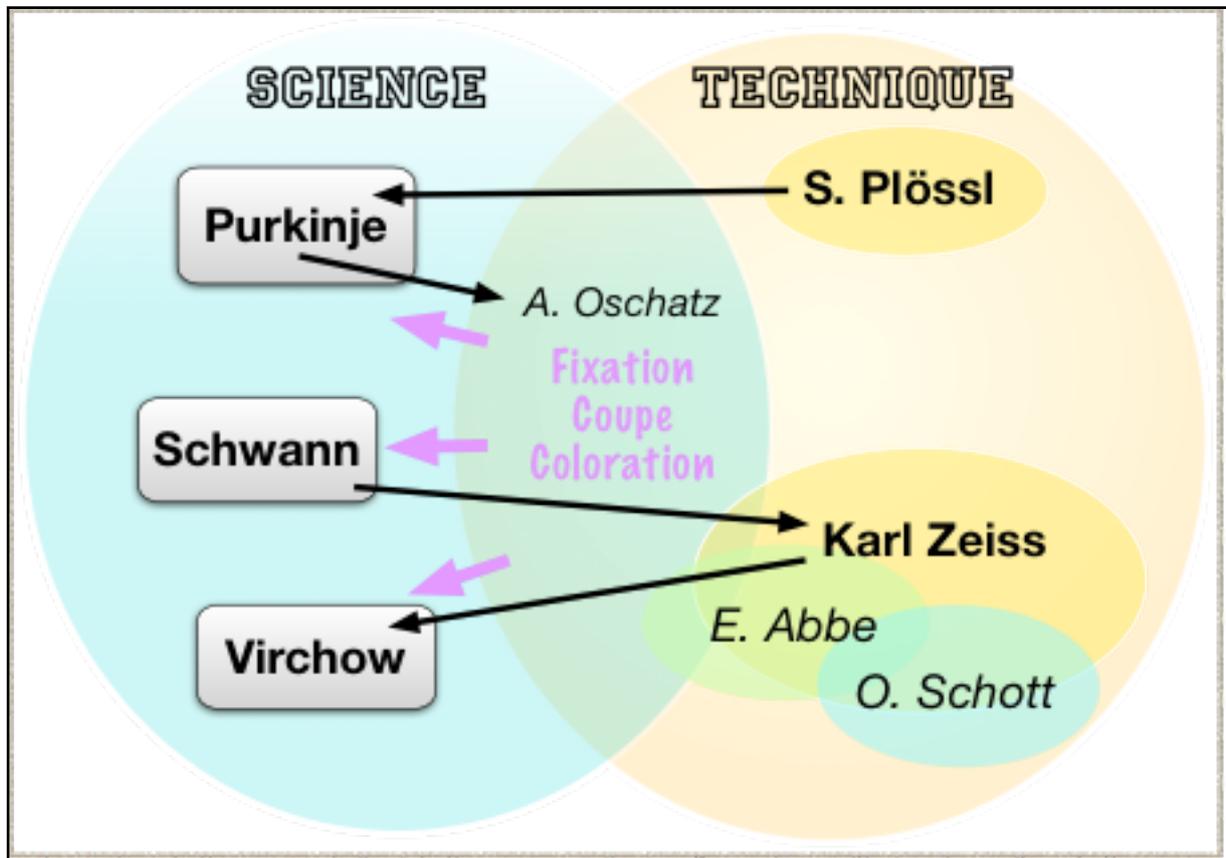
Au cours de ses recherches, Schleiden va prendre pleinement conscience de deux éléments importants :

- les végétaux sont entièrement constitués de cellules, et leur noyau joue un rôle dans leur reproduction. Il présente ces observations dans son livre *Beiträge zur Phytogenesis (Contributions à la phytogenèse)* en 1838.
- Les microscopes disponibles sont d'une qualité insuffisante pour permettre une étude détaillée des cellules et des tissus. Schleiden va donc encourager un petit industriel local, Carl Zeiss, à construire de meilleurs microscopes. Ce dernier, avec l'aide d'Ernst Abbe et d'Otto Schott, parviendra à mettre au point et à construire les premiers objectifs apochromatiques.

Schleiden incite ses collaborateurs, parmi lesquels Karl Wilhelm Von Nageli, à étudier les végétaux au microscope. Ce dernier, en 1842, identifiera les différentes étapes de la division cellulaire.

Schleiden est un partisan des idées d'avant garde : il sera l'un des premiers Allemands à se rallier à la théorie de l'évolution promue par Darwin à cette époque. Il existe toutefois un domaine

où Schlieden commet des erreurs : celui de la division cellulaire. Schleiden est en effet favorable à une formation spontanée des cellules qui s'individualiserait dans un « liquide » primordial.



***Influence réciproque des sciences et des techniques** : les progrès techniques de l'optique microscopique et des techniques d'observation soutiennent les progrès scientifiques dans l'étude de la cellule, mais sont aussi motivés par les acteurs de ces derniers. Schéma RR.*

Au cours de ses études, à Berlin, Schleiden avait fait la connaissance d'un étudiant, Theodor Schwann, avec qui il resta très lié. Au cours d'un repas commun, Schleiden décrit le tissu où se forment les cellules dans l'embryon végétal, le « cytotlaste ». Schwann pense y reconnaître une structure qu'il a observé dans le cartilage d'un têtard. Tous deux filent au labo de Schwann, qui montre ses préparations microscopiques à Schleiden : cellules animales et végétales paraissent identiques (!). Cette ressemblance

sera vérifiée sur les tissus d'autres animaux que Schwann va désormais examiner avec attention.

Du côté de chez Schwann

En 1838, Theodore Schwann (1810-1882), dans son ouvrage *Froriep's Notizen*, puis dans *Mikroskopische Untersuchungen*, qui paraît l'année suivante, affirme :

« *That there is one universal principle of development for the elementary part of organisms, however different, and that this principle is the formation of cells.* » (Il y a un seul principe universel de développement de la partie élémentaire des organismes, bien qu'ils soient différents, et ce principe est la formation de cellules). Ainsi, tout organisme est formé de cellules, et au début de chaque organisme, on trouve une cellule.

Il subsiste toutefois un problème, celui-là même qui a retardé l'identification des cellules animales et végétales : les limites de la cellule. Alors que la paroi des cellules végétales les délimite très visiblement, la limite des cellules animales n'est pas facile à voir ! Schwann va toutefois affirmer son existence à partir de déductions sur les échanges chimiques de la cellule avec son environnement.

Pour ce qui est du cytoplasme, Schwann pense qu'il doit être le lieu de transformations chimiques. C'est lui qui nomme « métabolisme » ces changements. Schwann publie ses découvertes dans *Les Recherches microscopiques sur la conformité de structure et de croissance des animaux et des plantes* (*Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Tiere und Pflanzen*). Schwann précise bien que « *L'objet de ce traité est de prouver la connexion*

la plus intime entre les deux grands règnes du monde vivant, à partir de la similitude des lois du développement des parties élémentaires des animaux et des plantes ». Il n'identifie pas l'origine des cellules, car il pense qu'elles se « cristallisent » dans un liquide préexistant, le blastème. Pour Schwann, le nucléole se forme en premier dans un liquide, puis le noyau s'organise autour, puis enfin le cytoplasme, qui se clôture par une membrane.

La même année (1848) où C. Cagniard de la Tour publie la même découverte, Schwann décrit lui aussi les levures comme étant des « champignons à sucre » (*Zuckerpilz*), et les identifie donc en tant qu'êtres vivants microscopiques.

En 1843, Albert von Kölliker, médecin étudiant les mécanismes du développement, publie ses découvertes sur les ovules fécondés de vers parasites (*Müller's Archiv, 1843*). Il y observe les divisions cellulaires, et remarque le premier que lorsqu'une cellule se divise, le noyau en fait de même. Ces observations sont reprises sur plusieurs embryons, mettant à mal la théorie de la reproduction cellulaire par simple scissiparité, dérivé des observations réalisées hâtivement sur des infusoires. Kölliker établit aussi que les spermatozoïdes sont des cellules, et propose, pour désigner le matériel cellulaire qui entoure le noyau, un nom qui aura du succès : cytoplasme.

Si plusieurs auteurs commencent à découvrir les structures cellulaires animales, ce sont E. H. Schultz, en observant le noyau de certains globules rouges, Valentin et Henle, en l'identifiant dans les cellules de l'épiderme, qui vont permettre l'unification du concept de cellule chez les animaux et les végétaux.

Importance de la chimie des colorants dans l'avance allemande en histologie.

Pendant les vacances de Pâques de 1856, le jeune W. H. Perkin (1838-1907), assistant de A. W. Hoffmann à l'Université de Londres, essaye de synthétiser la quinine. S'il échoue, il obtient par la suite un précipité noir qui, introduit dans le l'alcool, donne une couleur mauve magnifique. Perkin abandonne la chimie pour commercialiser son colorant, la mauvéine, premier colorant de synthèse, qui fait sa fortune. C'est ensuite en Allemagne que de nombreux chimistes développent une vraie industrie des colorants. La France, toujours en avance, fustige cette « science allemande » et préfère soutenir ses agriculteurs dans la production de colorants « naturels » (*José mauvais n'est donc qu'un remake des erreurs passées*).

Ainsi, en 1869, Carl Graebe et Carl Liebermann réussissent (un jour avant Perkins, qui y travaille !) à synthétiser l'Alizarine, le colorant rouge de la Garance, à partir de l'anthracène. En 1878, la production de garance atteint annuellement 500 tonnes alors que le produit de synthèse équivaut à 30 000 tonnes. Le midi de la France, l'Alsace et la Hollande, où on cultivait la garance, se retrouvent brutalement proches de la ruine.

En 1882, Adolf von Baeyer et Viggo Drewsen synthétisent le colorant bleu de l'indigo. La France comprend, mais un peu tard, l'intérêt de la chimie. La disponibilité d'une gamme grandissante de colorants va permettre aux histologistes allemands de mieux observer les cellules. De plus, Paul Ehrlich (1854-1915) ayant réalisé que certains colorants sont spécifiques de certaines bactéries, pense à les utiliser comme médicaments à action antibactérienne sélective : il invente ainsi la « chimiothérapie » qui

lui vaudra le prix Nobel en 1908 (et, en 1940, un film de W Dieterle, avec E.G. Robinson, « *Dr Herlich magic bullet* », introuvable sauf grâce à [you tube](#)).

Par la suite d'une politique passéiste, cocardière et grâce à l'influence délétère de mandarins comme Berthelot, la France a bel et bien « raté » son entrée dans la révolution de l'industrie chimique.

L'importance du noyau

Certains pathologistes (dont Henle, qui a été le professeur de Kolliker, Bennet...), en 1850, font dériver la formation de cellules de processus inflammatoires, du pus par exemple... Tous leurs travaux mettent cependant en lumière l'importance du noyau pour la reproduction cellulaire.

Hugo Von Mohl (1805-1872), Médecin, mais surtout professeur de botanique à Tübingen, décrit la division cellulaire végétale, en particulier au niveau de la structure qui entoure le noyau et pour laquelle il propose le mot « protoplasme ». Il réunira ses découvertes dans son livre « la cellule végétale » (*Die vegetabilische Zelle*), paru en 1851. En 1845, il met en évidence la membrane sous le nom « d'utricule primordial ».

Le botaniste Wilhelm Hofmeister (1824-1877 — *il remplacera Von Mhol à Tübingen*), quant à lui, décrit la formation de la plaque équatoriale des cellules végétales ; ce qui démontre l'existence d'un cloisonnement du cytoplasme lors d'une division cellulaire. Il ne s'arrête pas là, et en 1849, en étudiant toujours la reproduction des végétaux. Il voit le noyau des cellules se désagréger en petits corps

ressemblant à des bacilles. Dix ans plus tard (1858), Robert Remak (1815-1865), un physiologiste dont nous allons reparler, identifie lui aussi des « *filaments ou des bâtonnets* » dans le noyau de cellules animales en cours de division.

Au milieu du 19^e siècle, il apparaît donc clairement dans tout le monde scientifique (sauf en France...) que la cellule est bien « **l'unité de base du règne végétal et du règne animal** » selon les mots de Schwann. Mais comment se forme t'elle ?

Si tout est cellules, d'où viennent-elles ?

C'est le médecin Rudolph Virchow, en 1847 (*représenté ci-dessous par L. Ward, à l'époque*), qui commence à publier ses observations sur la formation « endogène » de cellules, observée en particulier dans des structures pathologiques. Alors qu'il pensait au départ que les divisions cellulaires ne concernaient que quelques types particuliers de cellule, il découvre, après Remak, leur généralité chez toutes les cellules animales.

Suivant les idées de Goodsir, il montre que tout l'organisme peut être « cartographié » en territoires cellulaires. Même en cas de pathologie, il s'oppose à la formation de cellules *de novo*, contrairement à l'opinion alors répandue, et sa « loi du développement continuel » se résume à l'adage fameux « **omnis cellula e cellula** » (toute cellule provient d'une cellule). Cela ne sera pas sans objections, dont celles d'Huxley (*British and Foreign Medico-Chirurgical Review, Oct. 1853*) qui, avec le terme de périplaste, tend à souligner l'existence de composés extracellulaires comme la paroi végétale ou la matrice calcifiée des os, desquelles il fait dériver la formation et la différenciation des cellules (sur ce dernier plan, il était en partie en avance sur son temps !).

Robert Remak étant parvenu aux mêmes conclusions que Virchow avant lui, ce dernier mélange les découvertes de Remak et les siennes, publiant le tout sous son seul nom, provoquant une dispute entre ces deux scientifiques. Le fait que Remak soit juif ne joue certes pas en sa faveur, car à l'époque, malgré ses mérites indéniables, il ne deviendra que difficilement professeur d'université et, même ensuite, ne sera jamais autorisé à en retirer tous les avantages qui étaient normalement liés à ce statut (*il sera toutefois à l'origine d'une dynastie de scientifique, son fils, Ernst, étant neurologue et son petit fils mathématicien*).

Toutefois, il faut rappeler que la cellule de n'époque n'est pas la notre : l'idée de membrane, si bien pressentie par Schwann, n'est pas encore acceptée : au contraire, la cellule est décrite, en particulier par Max Schultze, comme étant composée d'un noyau et de protoplasme, substance identique chez les animaux, végétaux, champignons et unicellulaires, mais qui ne comporte pas de limite autre que la sienne. La cellule est alors une « masse nucléée de protoplasme », ce dernier changeant de forme pour constituer des matériaux comme le cartilage. Cette conception tire son origine, en partie, de l'observation d'embryons dans lesquels un syncytium se compartimente en cellules individuelles : l'observation privilégiée d'un cas particulier en a fait, ici, le modèle du cas général.

Virchow, toutefois, insiste sur les différences entre cellules végétales et animales. Il note : « *on peut donc comparer les cellules animales aux cellules végétales, mais nous voyons que cette comparaison ne nous conduit pas à l'identité générale des deux produits* ». Alors que Schwann parlait de théorie cellulaire, Virchow précise que pour lui il s'agit d'une théorie de la libre formation cellulaire, car alors que pour Schwann la cellule provient d'un milieu acellulaire, pour Virchow

seule une cellule peut former une autre cellule : « *il n'y a pas de création nouvelle, elle n'existe pas plus pour les organismes complets que pour les éléments particuliers* ». La cellule présuppose donc l'existence d'une autre cellule, dont elle provient (*omnis cellula e cellula*).

Virchow souligne l'importance du noyau cellulaire pour la multiplication et le maintien de la cellule. En tant que pathologiste, il note qu'une altération du noyau conduit à une altération de la cellule et a des modifications liées à sa multiplication.

Virchow réfute la théorie des fibres, mentionnée par Haller ; mais pourtant d'autres « fibres » vont faire parler d'elle, mais à l'intérieur des cellules : Strassburger et Fleming montrent vers 1880 que le noyau contient, en plus du nucléole, des « fibres » formant un réseau ou des points, qu'ils appellent nucléine, et un fluide, le nucléoplasme ; et que le noyau est limité par une membrane que les tenants du protoplasme unique (un gel homogène) pensent n'être qu'un diverticule secondaire (tel est le cas de Sir W. Turner, en 1889).

Le « fuseau » est vu comme un ensemble de fibres qui, fixant les colorants, deviennent les « fibres chromatines ». Très rapidement, leur organisation est reliée au déroulement de la division cellulaire (par Schneider, qui l'observe lors de la formation du vers plat mesostomum), redonnant de l'importance au noyau par rapport au « protoplasme ». Rapidement, cette karyokinese est attentivement observée : Strasburger, Flemming, E. Van Beneden, Johow, Heuser, Pfitzner, J. M. Macfarlane, Hertwig, Balbiani, Carnoy et Rabl, démontrent que ce mécanisme est général en l'observant dans un grand nombre de végétaux et d'animaux.

Walther Flemming, médecin et professeur d'anatomie à Kiel, étudie la division cellulaire en utilisant des colorants comme l'aniline, ce qui lui permet de découvrir une substance nucléaire qui se lie avec les colorants basophiles, et qu'il nomme **chromatine**. Il découvre, tout comme le fait, de manière indépendante, le Belge Van Beneden ; que c'est cette substance qui se présente aussi sous forme de filaments au cours de la division cellulaire. Flemming va baptiser mitose le processus de la division cellulaire (d'après le grec *μίτος*, *mitosis*, qui signifie « filament »).

Flemming propose que tout noyau provienne d'un autre noyau, ce qui lui permet de singer Virchow en proposant l'expression « *omnis nucleus e nucleo* », qui a rencontré, hélas pour lui, bien moins de succès. Il présente ses découvertes en 1882 dans son livre *Zellsubstanz, Kern und Zelltheilung* (constitution de la cellule, noyau et division cellulaire — *extrait page suivante*).

L'anatomiste Heinrich Wilhelm Waldeyer (par ailleurs inventeur du terme neurone,) va nommer en 1888 **chromosomes** certaines de ces « fibres » de chromatine dont Walther Flemming a mis en évidence le comportement particulier, à savoir « *une séparation longitudinale de chaque boucle ou fibre de chromatine primaire en deux fibres — filles* » selon les termes de l'époque (ceux de Turner le premier novembre 1889, dans son excellent article « *the cell theory, past and present* »).

Par la suite, l'embryologiste russe Alexandre Kowalevsky, mettra en évidence « *Une figure fusiforme qui apparaît ensuite dans le noyau et qui se compose de fils qui se colorent beaucoup plus faiblement que les fibres de chromatine* ». Il devient dès lors évident pour les cytologistes de la fin du 19^e siècle que « *quelles que soient les propriétés du chromosome de la cellule mère, elles sont réparties à peu près également entre les noyaux des deux cellules filles.* »

Fig 39.

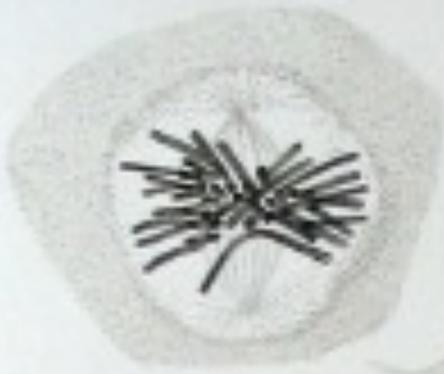


Fig 40.

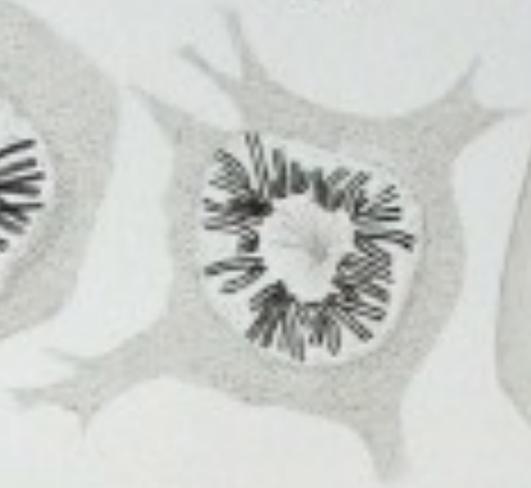


Fig 42.



Fig 43.



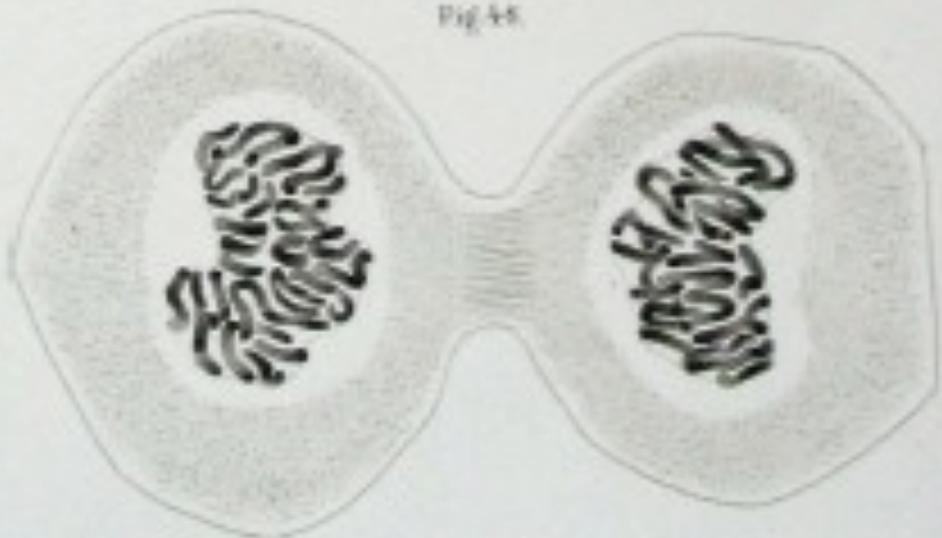
Fig 44.



Fig 45.



Fig 46.



La voie est alors ouverte pour l'exploration des bases physiques et chimiques de l'hérédité, ce qui va nous conduire à examiner ce qui est devenu une légende dorée ; à savoir l'histoire de la découverte de la structure de l'ADN (pour l'histoire complète de la biologie moléculaire, il existe d'excellents ouvrages, comme ceux de Michel Morange).

L'édifiante histoire de l'étude des protozoaires

On pourrait se demander pourquoi l'étude des protozoaires, cellules uniques, facilement observables, connues depuis Leeuwenhoek (et même avant), n'a que peu contribué à l'établissement de la théorie cellulaire. Nous allons voir que ce rôle modeste est dû, entre autres, à un manque de communication entre deux communautés de chercheurs qui s'ignoraient largement.

Après Leeuwenhoek, les protozoaires sont toujours étudiés, mais leur nature unicellulaire n'est pas identifiée, malgré des indices probants, tels que leur division (étudiée par Trembley en 1744) ou les mouvements du cytoplasme et la formation de pseudopodes des amibes (Roesel, 1755). Toutefois, bien qu'Abraham Trembley, à Genève, ait bien décrit leur reproduction par division en novembre 1744, il l'a observé, initialement sur des polypes microscopiques, puis seulement l'année suivante chez de nombreux unicellulaires aquatiques. Spallanzani, en 1786 va permettre de généraliser ce comportement, mais il va être considéré comme une reproduction, un accouplement de deux cellules, et pas une division. C'est Charles Bonnet, en 1770, qui a l'intuition de la vraie division cellulaire.

Lorenz Oken (1779-1851) va utiliser les « infusoires » comme support pour promouvoir une théorie cellulaire qui ne dit pas son nom : il identifie en effet, dès 1808, les cellules de l'organisme à des « infusoires associés » : « *Toute chair se décompose en infusoires. (Leur) association sous forme de chair..* »

Ces travaux variés, remarquables en raison de la mauvaise qualité optique des microscopes disponibles, ne rencontrèrent presque aucun écho : la petitesse des « infusoires » les faisait passer pour quantité négligeable dans le monde vivant. De plus, l'identification de plusieurs éléments dans leur cytoplasme va conduire de nombreux scientifique a les considérer comme de minuscules organismes composés : A. D'orbigny, en 1826 verra ainsi dans les foraminifères de minuscules céphalopodes, et deux ans plus tard C.G. Ehrenberg, publiant une vaste monographie sur les infusoires (*Die infusionthierschen als vollkommene organismen; ein blick in das tiefere organische lieben der natur — à savoir les infusoires en tant qu'organismes complets, une étude approfondie de leur remarquable nature organique*), décrira comme des organes les différents éléments mobiles visibles dans leur cytoplasme.

C'est F Dujardin, en 1835, qui s'opposera a cette vue en réalisant de minuscules dissections de protozoaires, et en proposant un terme nouveau, sarcode, pour décrire leur « substance fondamentale », un terme qui sera rapproché du « protoplasme », matière intrinsèquement vivante, qui deviendra le cytoplasme une fois que le vitalisme aura montré son échec.

En 1843, Martin Barry, qui a travaillé auparavant avec Schwann, et identifié les noyaux cellulaires dans des tissus embryonnaires, va toutefois affirmer que certains protozoaires flagellés sont des cellules uniques. Le botaniste J. Meyen va, en 1854 seulement, signaler, sans s'y attarder, les nombreux points

communs entre les « infusoires » et les cellules végétales : « les infusoires (...) représentent des êtres monocellulaires par rapport aux autres animaux, lesquels ne sont que des agrégats de cellules se disposant d'elles-mêmes et d'un commun accord pour constituer un tout ».

Von Kölliker, dans ses « éléments d'histologie humaine », en 1852, va s'attribuer cette idée, qu'il avoue partager avec l'anatomiste et zoologiste Carl Theodor Ernst von Siebold : « Siebold et moi avons émis la pensée que les protozoaires, de même que les plantes les plus simples, sont des organismes composés d'une cellule ».

En réalité, c'est Von Siebold qui, en 1845, en identifiant clairement le noyau des protozoaires, va affirmer leur nature unicellulaire. Il les définit en effet comme « des animaux chez lesquels les divers systèmes d'organes ne peuvent être distingués et dont la forme irrégulière et l'organisation simple sont représentées par **une seule cellule** ». Von Kölliker se ralliera avec enthousiasme à cette idée, quitte à s'en attribuer une paternité conjointe... Ce n'est d'ailleurs pas la seule chose qu'il partagera avec Von Siebold, car tous deux fonderont en 1848 un journal scientifique qui deviendra des plus influents, le « Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie » (« journal de zoologie scientifique »).

Certains biologistes, et non des moindres, contesteront longtemps cette vision en se basant sur la définition de la cellule, vue comme une « unité anatomique et physiologique capable d'effectuer une seule fonction ». Ce sera le cas de T. Huxley en 1853, mais aussi de Clifford Dobell (*principles of protistology, arch. f. Protist, 23, 1911, 269-310*) en 1911.

En effet, le monde des pionniers de la théorie cellulaire et celui des spécialistes des infusoires ont connu des développements parallèles, sans communication et avec une interaction limitée :

lorsque Schwann établit les bases de la théorie cellulaire, il ignore les découvertes de Dujardin.

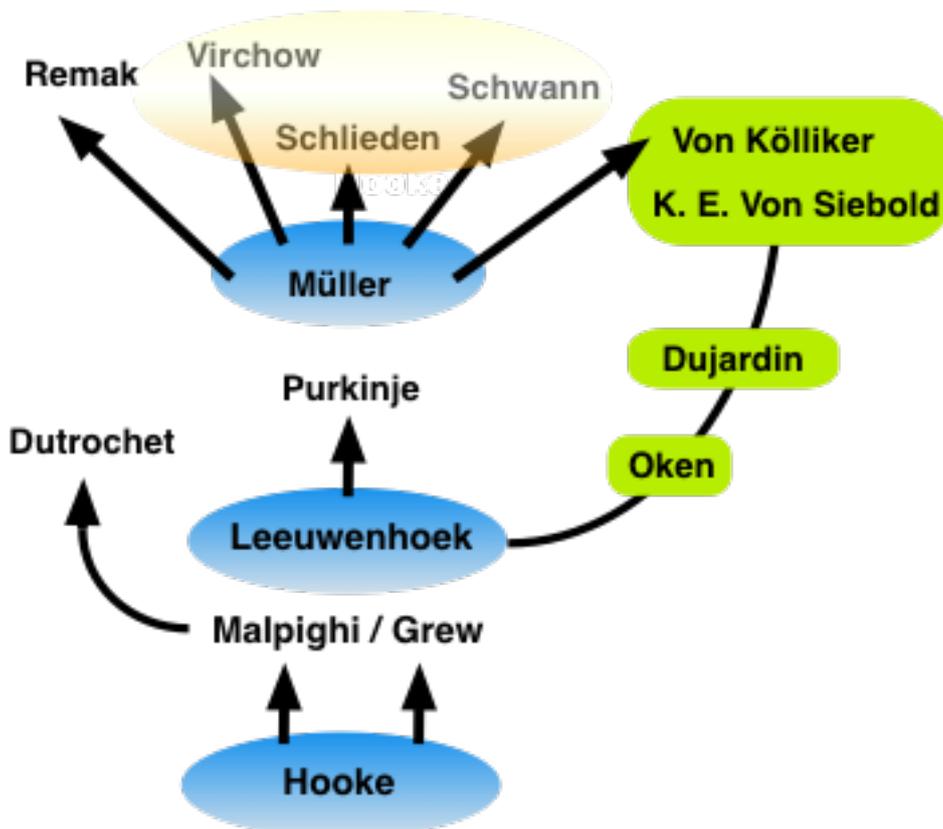
Nous constatons ici aussi qu'il n'existe pas de progrès linéaire des connaissances : les nouvelles idées apparaissent « en nuage », chez plusieurs auteurs, dont certains se connaissent, d'autre non, et elles ne sont révélées à la majorité que lorsque la communauté scientifique est prête, dans sa vaste majorité, à les accepter.



Certains ouvrages scolaires proposent une description « pyramidale » de l'histoire des sciences (voir ci-contre), certes pratique, mais très éloignée de la réalité.

Les différents chercheurs se disposent bien plus volontiers selon une structure arborescente (ci-dessous), ce qui fait apparaître des personnages pivots, des « nœuds intellectuels » qui parfois n'effectuent pas par eux même d'importantes découvertes, mais influencent et orientent des pans entiers de la recherche.

Schémas RR.



À partir du « tronc principal » des pères de la théorie cellulaire se détache la « voie des protozoaires » (en vert) et un précurseur isolé comme Dutrochet.

8

S.A.S I'A.D.N.

Une histoire très belle et
très joyeuse...

«Que l'esprit humain ne puisse jamais atteindre la connaissance totale et absolue, la maîtrise complète de la vie n'est pas essentiel. Il est certain, cependant, que la révolte des biochimistes contre l'idée d'une restriction de la curiosité humaine continuera. La biochimie continuera à fonctionner comme si toutes les connaissances, même celle de la vie, étaient accessibles à la compréhension humaine.»

P. A. Levene, 1931

L'époque où les scientifiques obtiennent les premières confirmations que la vie peut s'expliquer uniquement au moyen de la chimie coïncide avec la découverte des lois de l'hérédité et avec sa localisation dans la cellule, au niveau du noyau. Dès lors, il semble naturel de se demander quelle était la substance qui constituait les gènes, et comment cette substance permettait elle la transmission des informations génétiques d'une génération à une autre.

La découverte de l'ADN

En 1868, le biologiste et chimiste Friedrich Miescher tente d'étudier les protéines qui constituent les cellules. Pour obtenir des cellules humaines isolées, il « récupère » des leucocytes à partir du pus abondant fourni par les pansements usagés d'un hôpital proche. Le laboratoire de Miescher est installé dans un château médiéval qui domine la ville de Tubingen et pour conserver les propriétés des substances extraites de morceaux de pansements purulents, il doit travailler dans un froid glacial... Frankenstein n'est pas loin !

À l'époque, la majorité du monde scientifique est fasciné par les protéines (et cela va durer...). Toutefois, F. Miescher remarque que, lors de certains traitements, il obtient une substance qui ne se comporte pas comme les protéines. Il découvre que cette substance, qui ne semble donc pas faite de protéines, provient des noyaux cellulaires. Miescher va continuer à purifier des noyaux pour en extraire cette substance qu'il nomme nucléine. En l'analysant, il découvre que, contrairement aux protéines, elle ne contient pas de soufre, mais du phosphore, un élément qui n'existe pas dans les protéines.

F. Miescher veut publier ses découvertes fin 1869, mais il lui faudra attendre un an avoir de voir son article accepté dans le journal *Medicinischem-chemische Untersuchungen*, dont son « patron », Felix Hoppe-Seyler, un des premiers biochimistes, est l'éditeur. En effet, ce dernier trouve les découvertes de Miescher tellement surprenantes qu'il tient à refaire les mêmes expériences que lui avant de valider leur publication (ce qui illustre tout autant la méticulosité de Hoppe-Seyler que, déjà, la difficulté de publier des travaux originaux où pas très « à la mode »...). Miescher va ensuite étudier la physiologie à Leipzig dans le laboratoire de Carl Ludwig pendant un an avant d'être nommé professeur de physiologie. Par la suite, en 1874, il montrera que la nucléine est présente dans le noyau des spermatozoïdes et affirmera « *si l'on admet qu'une substance unique est la cause de la fécondation, alors on devrait sans le moindre doute, penser à la nucléine* ».

Richard Altmann, histologiste et pathologiste (il a découvert des mitochondries), montre en 1889 que la nucléine est un mélange de deux éléments : des protéines (il y en avait donc) et une partie acide qu'il nomme « acide nucléique ».

Sept ans plus tard, un autre élève de Felix Hoppe-Seyler (un autre de nos « nœuds » intellectuel), le chimiste Albrecht Kossel, montre que l'acide nucléique contient 4 éléments différents : les bases azotées (L'ADN se comporte comme un acide en présence d'eau, mais il contient des éléments qui, eux, séparés de ce dernier, se comportent comme des bases) adénine, guanine, thymine et cytosine. En 1906, l'infatigable Kossel (qui obtiendra le prix Nobel en 1910) montre aussi qu'un sucre fait partie de ces fameux acides nucléiques. Deux ans plus tard, une équipe de l'institut Rockefeller, aux USA, comprenant un médecin et biochimiste remarquable, Phébus Aaron Levene (1869 - 1940), caractérise ce sucre et le

nomme, d'après le nom de leur institut, ribose (*Rockefeller Institute for Biochemistry* - ose = *R.I.B. ose...*).

Levene était un scientifique d'exception : collectionneur d'art, fin lettré, polyglotte, il était aussi un remarquable professeur. Médecin de formation, d'origine russe, il a surtout réalisé de nombreux travaux de recherches, publiant plus de 700 articles depuis son entrée au Rockefeller institute en 1905. Il va poursuivre son travail d'analyse de l'ADN. En 1910, il formule une hypothèse dite « du tétranucléotide », selon laquelle l'ADN contiendrait en quantité égale les quatre bases azotées. Dès lors, cet étrange polymère apparaît très peu varié, d'une structure monotone, et inapte à transporter la moindre information héréditaire.

En 1928, Levene (déjà persévérant) et J. Lunn montrent que le ribose nucléaire est en fait du désoxyribose. L'acide nucléique présent à ce niveau prend alors un nom qui va entrer dans l'histoire, c'est l'acte de naissance de l'Acide Désoxy-ribo-Nucléique. Levene va identifier l'ordre dans lequel les composants sont liés dans l'ADN : il met en évidence la suite [phosphate-sucrose-base], et propose pour cette dernière le nom de nucléotide. Pour lui, l'ADN est donc une chaîne linéaire de nucléotides unis par leur groupement phosphate.

La persévérance de Levene est remarquable, car, à l'époque, l'ADN n'intéresse pas grand monde. En effet, comme il ne comporte que 4 bases différentes, on ne voit pas comment il pourrait transporter une information correspondante aux caractères héréditaires. Les protéines (présentes dans la nucléine, puis ensuite identifiées dans les chromosomes), avec une composition chimique bien plus variée, semblent bien plus intéressantes.

Pourtant, l'année même où Lunn et Levene précisent la composition de l'ADN, un médecin anglais, Frederick Griffith, va sans le savoir lancer la course qui va aboutir à montrer que les gènes sont formés d'ADN.

Griffith ou la transformation

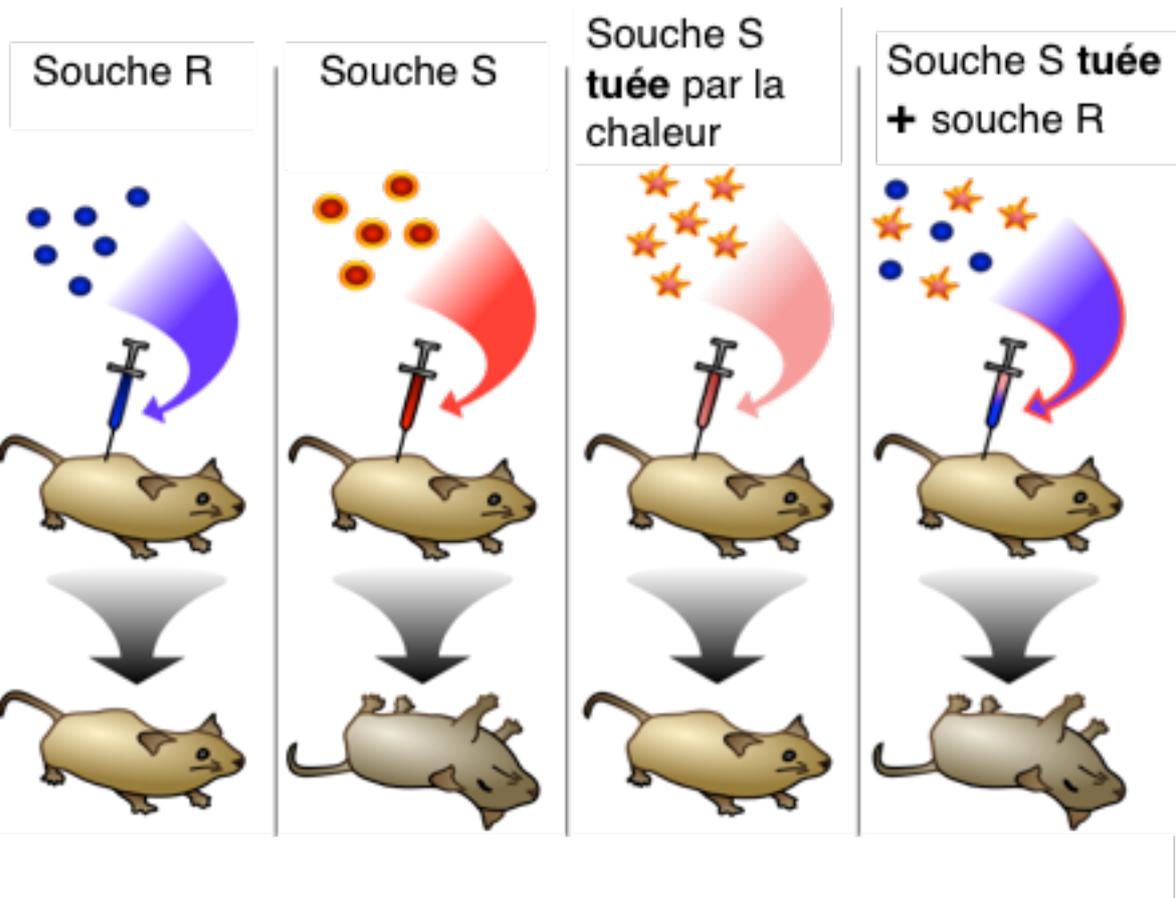


En 1928, le Dr Frederick Griffith, à Londres (*Photo ci-contre, Griffith est celui qui porte un chapeau*), essaye de mettre au point un vaccin contre la tuberculose, maladie causée par une bactérie, le pneumocoque (*Streptococcus pneumoniae*), dont il existe plusieurs souches. Les

pneumocoques de type R ne sont pas virulents, c'est-à-dire qu'ils ne provoquent pas la maladie, alors que ceux du type S sont mortel. Il est facile de les distinguer : alors que les R forment, sur un milieu de culture, de petites colonies rondes, les S donnent de grandes colonies d'apparence huileuse.

Après avoir vérifié l'effet des souches R et S, Griffith chauffe un bouillon contenant la souche S de façon à tuer les bactéries. Il vérifie sur des souris que la souche S chauffée est bien incapable de déclencher la maladie.

Pour une raison qui reste discutée (peut-être *pour obtenir une réponse immunitaire plus intense due à la présence des bactéries R, non dangereuses*), Griffith a alors l'idée d'injecter à des souris un mélange de bactéries S tuées et de bactéries R inoffensives (*Schéma suivant d'après M.P. Ball, Wikimedia*). Il s'attend sans doute à obtenir des souris survivantes fortement immunisées contre le pneumocoque.



Contre toute attente, les souris infectées présentent tous les signes d'une infection par les bactéries S et meurent. Griffith est plus que surpris : il refait l'expérience, la contrôle, cultive les bactéries récupérées sur les cadavres : ce sont bien des bactéries S vivantes. D'où viennent-elles ? Griffith est forcé de se rendre à l'évidence : *tout se passe comme si* « quelque chose », que Griffith appellera « principe transformant », **était passé des bactéries mortes S aux bactéries vivantes R et les avaient transformées en bactéries S** dangereuses. Le caractère S étant héréditaire, cela signifie, en termes modernes, qu'il y a eu **un transfert de gènes** entre les bactéries mortes et celles de la souche R. Mais les bactéries de la souche S ont été chauffées, et la chaleur coagule et dénature les protéines... La matière qui compose les gènes semble donc résister à la chaleur, contrairement aux protéines...

Ce résultat intrigant, vérifié, va rester inexpliqué quelque temps. Griffith ne dispose pas des moyens, et ne manifeste apparemment pas une grande volonté de continuer à travailler sur ce problème de recherche « fondamentale ». Il va mourir lors d'un bombardement en 1941. Toutefois, ses résultats vont intriguer plusieurs scientifiques, qui vont eux aussi tenter d'observer ce genre de « transformation » en injectant à des animaux un mélange de germes inactivés et virulents.

Ainsi, en 1936, Berry et Dedrick mettent en évidence une transformation similaire chez des lapins : en les infectant avec un mélange de virus de la myxomatose inactivés par chauffage (à 60 °C, 75 °C donnant de moins bons résultats) et de virus actifs de fibrome, ils constatent que les lapins meurent de myxomatose, déclenchée par le virus inactivé. Il y a donc eu une « transformation » du fibrovirus par le myxovirus.

Un an plus tard, Hurst confirme les résultats de Berry et Dedrick, mais ce n'est pas le cas d'autres expérimentateurs comme Hyde (1936), qui avait immédiatement essayé de reproduire leurs résultats, ni par Meck et Acree en 1939.

Toutefois, Berry, plus tard, envisagera aussi la possibilité d'une « réactivation » du mixovirus plutôt que d'une transformation impliquant du matériel génétique.

En fait, des recherches plus poussées ont montré qu'il s'agit d'une complémentarité : le chauffage inactive la RNA polymérase du myxovirus, celui-ci peut donc infecter les cellules, mais ne peut s'y reproduire et déclencher la maladie. Toutefois, si des cellules infectées par le fibrovirus sont surinfectées par le mixovirus, ce dernier peut utiliser la RNAPol du fibrovirus pour fabriquer ses ARNm, et redevenir ainsi actif).

Ce « phénomène de Berry-Dedrick » peut donner lieu à des très intéressants exercices. La preuve :

Constitution d'un exercice.

Le phénomène de Berry Dedrick nous permet de parler : des virus, de l'interprétation des expériences, de l'intérêt d'une interprétation erronée en recherche. Tous ces éléments peuvent être adaptés selon le niveau auquel on s'adresse. On peut commencer au niveau troisième, et aller, selon les questions, jusqu'en seconde année d'université.

Voyons quelques exemples :

Quel est notre but dans un exercice ? Les pédants pédagogues ont répondu par bien des digressions jésuitiques à cette question, à coup de compétences farfelues et d'émiettement sémantique, mais je serais bien plus simple : nous voulons, dans un exercice, faire travailler l'esprit des élèves ou des étudiants.

Accessoirement, nous voulons aussi nous assurer de leur acquisition des connaissances que nous devons leur transmettre, et vérifier leur degré de maîtrise de la démarche scientifique, ou du moins de certains de ses points. Nous voulons vérifier qu'ils sont capables d'utiliser en situation leurs connaissances pour construire des raisonnements et des argumentations valides. Nous voulons savoir s'ils sont capables d'utiliser les connaissances acquises comme marchepied conduisant à de nouvelles interrogations, et comme moyens de construire des explications, partielles ou apparemment totales, des phénomènes décrits.

Enfin, nous souhaitons aussi pouvoir quantifier leur efficacité, leur degré de maîtrise par une note.

Dans le but de bien planter le sujet, de savoir « de quoi on parle », il est bon de commencer un exercice par des questions de type « définitions », de vérifier que les notions de base sont connues.

Par la suite, on va demander d'utiliser ces connaissances dans des raisonnements de plus en plus élaborés selon le niveau des élèves que l'on souhaite interroger. Voici comment cela pourrait se présenter :

Le phénomène de Berry Dedrick

(il est important de donner un titre à un exercice, de le « personnaliser » : il devient ainsi « signifiant », bien plus que l'« exercice 5 page 12 ! » J'avais même pensé intituler cette question « l'inspecteur Dedrick contre Mr Hyde », mais je n'ai pas osé... quoique... La science, c'est le fun !)

On décrit ensuite le phénomène que l'on veut utiliser comme base de travail. Ici, je reproduis le paragraphe précédent en le retravaillant pour pouvoir le présenter indépendamment du texte.

En 1936, deux chercheurs, Berry et Dedrick, mettent en évidence un phénomène particulier. Ils disposent de deux virus qui infectent les lapins : le mixovirus, qui provoque une maladie, la myxomatose ; et un fibrovirus, qui provoque une autre maladie, une fibrose. Ils observent les résultats suivants :

a - l'injection du mixovirus provoque, en quelques jours, la myxomatose

b - l'injection du fibrovirus cause le développement de tumeurs, les fibromes, mais plus lentement que le mixovirus.

c - l'injection du virus de la myxomatose chauffé à 60 °C ne provoque pas de maladie

d - l'injection du mélange mixovirus chauffé/fibrovirus provoque la myxomatose.

(décomposer l'expérience en 4 étapes logiques permet de sérier plus facilement les questions)

1 - Qu'est-ce qu'un virus ? Comment assure t'il sa reproduction ?
(Voici une question simple, sur 3 pts, 1 + 2, visant à vérifier que l'étudiant sait un minimum de quoi on parle. Il est évident que la réponse à laquelle on s'attend dépend du niveau des élèves ou des étudiants visés.)

2 - Schématiser les expériences réalisées et leurs résultats *(il s'agit ici de faire réfléchir sur la logique de l'expérience réalisée. Ce type de question permet aussi, ne le cachons pas, aux étudiants les moins brillants d'obtenir quelques résultats valorisables. Il faut entretenir un minimum d'estime de soi ! on peut affecter 3 pts à cette question)*

3 - Quel est l'intérêt des expériences a et b ? Comment les appelle t'on ? *(là aussi, une question facile sur la démarche scientifique, 1 pt suffira)*

4 - Comment expliquer le résultat de l'expérience C ? Proposez une hypothèse plausible en utilisant vos connaissances *(rédigée ainsi, cette question peut être posée à tous les niveaux, on appréciera les réponses selon ces derniers. 4 pts me semblent correspondre à la difficulté de l'exercice, comparativement aux questions précédentes)*

51 - En quoi le résultat de l'expérience d est il surprenant ? Proposez une hypothèse plausible permettant de l'expliquer *(5 pts - même remarque que précédemment)*

52 - Si, pour réaliser l'expérience d, on utilise une préparation de myxovirus chauffée à 75 °C, certains animaux ne manifestent aucun signe de myxomatose. Cette observation confirme t'elle votre hypothèse précédente ? *(Expliquez votre raisonnement). Dans le cas contraire, quelle nouvelle hypothèse pouvez-vous*

présenter ? (*là, on franchi un palier dans la difficulté, 5 pts ne seront pas de trop pour récompenser l'étudiant*)

6 - D'autres chercheurs que Berry et Dedrick refont les mêmes expériences. Ils obtiennent des résultats variés : alors que Hurst confirme les résultats obtenus, ce n'est pas le cas d'autres expérimentateurs comme Hyde en 1936, ou Meck et Acree en 1939.

Comment pourriez-vous expliquer cette variabilité des résultats ? Est-elle compatible avec vos hypothèses précédentes ? Expliquer votre raisonnement (*6 pts seront utiles*).

Trois malheureux mousquetaires

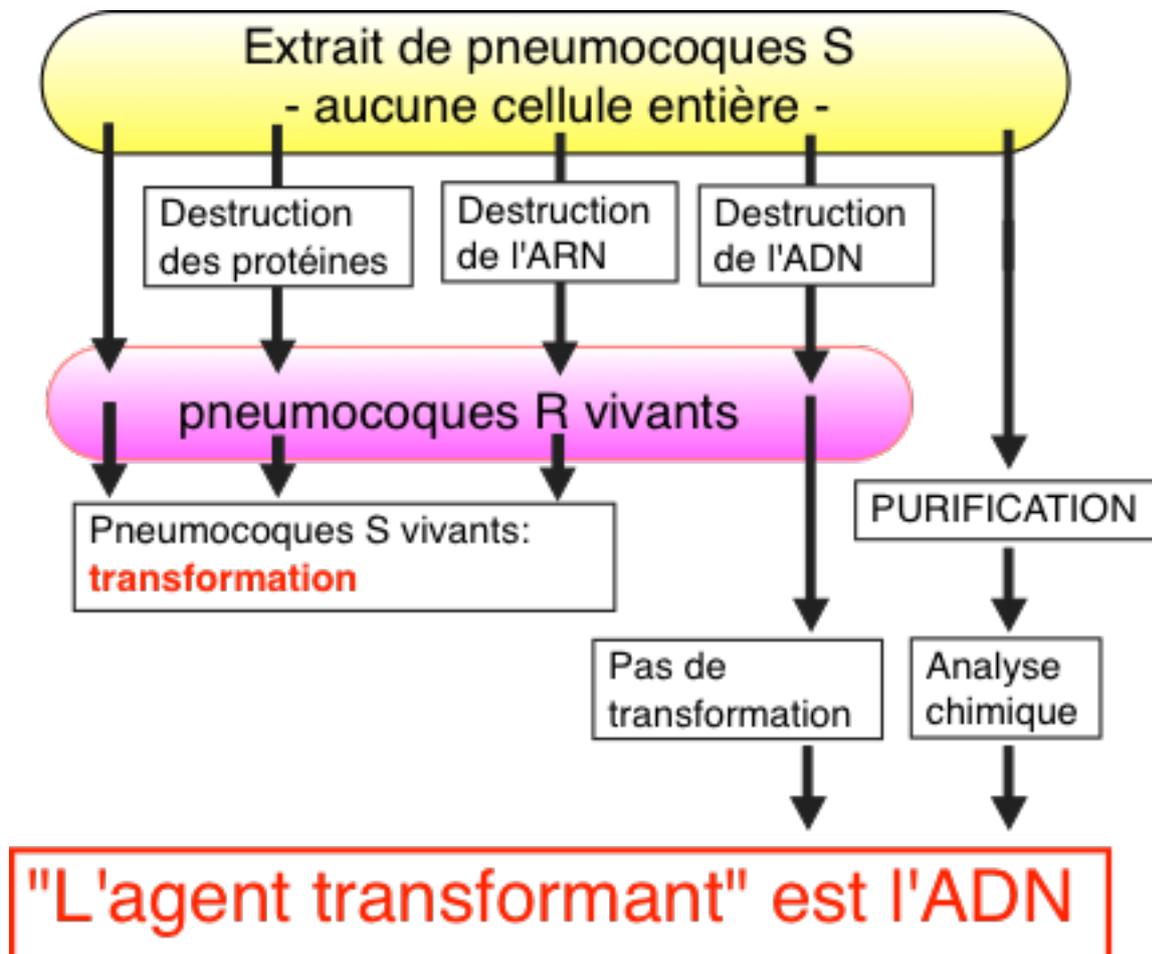
«la même substance transformante active et spécifique peut être récupérée bien au-delà de la quantité initialement utilisée pour induire la réaction. On dirait un virus — où peut être un gène. Mais je ne m'inquiète pas du mécanisme pour le moment — une étape à la fois — et la première est, quelle est la nature chimique du principe transformant ?»

O. Avery, 1943

En 1943, une équipe de trois chercheurs de l'indispensable Rockefeller institute (au sixième étage à gauche du Rockefeller hospital, renseignement indispensable, hein) va identifier, en affinant la démarche de Griffith, la molécule qui constitue les gènes, et définitivement mettre au rancart l'hypothèse protéine. Enfin, c'est ce que l'on peut lire dans nombre de manuels.

Auparavant, deux autres chercheurs, Dawson et Sia, ont mis au point une technique qui permet d'observer la transformation des pneumocoques R en S sans avoir besoin de souris, dans un simple bouillon nutritif où les deux souches, R vivante et S morte, sont mélangées (*les schémas qui montrent donc force souris dans les recensions des expériences d'Avery & consort sont donc erronés...*).

Nos trois chercheurs, Oswald Avery, Colin MacLeod et Maclin MacCarthy, vont faire subir à un extrait de bactéries S, ne contenant plus de bactéries entières, divers traitements visant à détruire certains types de molécules. Ils observent ensuite si l'effet « transformant » est maintenu ou non (*voir schéma ci-dessous*). Leur conclusion est nette : le « principe transformant » n'est détruit **que** par les produits ou les enzymes qui détruisent l'ADN. L'ADN est donc la molécule dont sont composés les gènes.



Expériences d'Avery, McLeod, McCarty : la destruction (par des enzymes) des protéines ou des ARN (autres acides nucléiques) n'altère pas le mystérieux agent qui transforme les bactéries R en S. Par contre, la destruction de l'ADN détruit cet agent. Celui-ci est donc formé d'ADN, ce qui est confirmé par l'analyse chimique qui montre que cet agent en possède toutes les propriétés.

On pourrait penser, rétrospectivement, que la découverte de l'équipe d'Avery, rapidement confirmée, a été acclamée, et que le rôle de l'ADN comme support des gènes a dès lors été reconnu, puisque des résultats expérimentaux indiscutables étaient présentés. Si on fait l'effort de croire les schémas « actanciels » décrivant à coup d'acronymes barbares (oheric, diftheric...) la logique imparable de la découverte scientifique, l'affaire était faite. Pas du tout.

De nombreux scientifiques, expériences ou pas, ne **voulaient** tout simplement pas croire que l'ADN puisse constituer les gènes, et ce, pour diverses raisons, voire divers prétextes : il doit rester des protéines actives, les gènes *doivent nécessairement être* des « super enzymes », les bactéries sont trop différentes des autres cellules, l'ADN ne joue pas de rôle dans l'hérédité même s'il est là, car, après tout, les chromosomes contiennent, certes, de l'ADN, mais aussi des protéines...

De surcroît, nous étions en 1943, en pleine seconde guerre mondiale, et les relations scientifiques internationales en étaient plus que perturbées.

De plus, personne n'entrevoit à l'époque comment une molécule aussi « simple », en apparence, que l'ADN, alors conçu comme un long tétranucléotide (d'après Levene) pouvait expliquer l'hérédité. Parmi ces incroyables, un autre chercheur du Rockefeller

institute, qui a travaillé, en 1927, avec Linus Pauling, génie et star des protéines, au Caltech : Alfred Mirsky, tenant mordicus aux protéines comme support de l'hérédité, à usé de son influence pour minimiser l'importance des découvertes de l'équipe d'Avery.

On peut remarquer ici à quel point le Rockefeller institute constituait (et constitue encore) un organisme d'élite : 23 de ses scientifiques ont obtenu le prix Nobel, soit davantage que tous les scientifiques français (21) l'ayant obtenus en médecine/physiologie/chimie depuis l'origine du prix...

Mirsky était un spécialiste de l'hémoglobine, il avait montré avec Pauling que la stabilité des protéines était due aux liaisons hydrogènes, détruites par la chaleur, ce qui expliquait leur dénaturation. À l'époque des expériences d'Avery, il venait d'être nommé au R.I., et s'intéressait, avec Arthur W Pollister, aux protéines présentes dans le noyau cellulaire. Ils parviennent tous deux à isoler à partir du noyau un complexe mélange de protéines et d'ADN. Pour Mirsky, ces protéines nucléaires sont « *les gènes eux-mêmes, ou sont intimement liées aux gènes* ». Dans un article, il critique Weissmann, qui penche en faveur d'une hérédité liée aux acides nucléiques. Lisons Mirsky : « *Les spéculations de Weissmann ne sont pas claires et procèdent d'une vision désuète de la chimie. Lorsque, comme c'est tout à fait possible, une molécule de protéine a 40 atomes de carbone asymétriques de sorte qu'il peut y avoir un milliard isomères. . . ma théorie est meilleure que tout autre pour rendre compte de la diversité inimaginable requise par notre connaissance de l'hérédité* ») (The discovery of DNA. A.E. Mirsky. Scientific American, juin 1968, p. 78.)

De fait, explorateur des protéines du noyau, Mirsky deviendra un des premiers spécialistes des histones... Toutefois, en 1950, Mirsky, dans une intervention intitulée « *quelques aspects de la chimie*

du noyau cellulaire », va affirmer, en comparant la variabilité des ARN à la constance de la composition de l'ADN, que l'ADN fait bien parti de la substance des gènes... mais pas tout seul ! Il invoquait le manque de sensibilité des techniques d'analyse qui ne permettaient pas d'affirmer qu'il ne restait aucune protéine incorporée dans l'ADN...

Mirsky aurait écrit à l'institut Karolinska, en Suède, afin de s'opposer à ce qu'Avery puisse obtenir un éventuel prix Nobel. De fait, ce prix ne lui a jamais été décerné, même si d'autres scientifiques l'ont appuyé en ce sens (comme un certain E. Chargaff, que nous allons retrouver). Ironiquement, Mirsky sera félicité internationalement en 1950 pour ses découvertes sur l'ADN...

Lettre du 3 octobre 1972, de Ledeberg à Mirsky

J. Ledeberg y fait référence au travail de H.V. Wyatt qui a présenté, dans un article de la revue Nature, l'influence de Mirsky comme étant des plus négative.

Vous avez probablement vu la façon plutôt stupide dans laquelle il (Wyatt) a fait référence à votre controverse au sujet de la pureté de l'ADN transformant (puis-je rappeler à votre mémoire que j'étais tout à fait favorable à ces critiques de principe, nos doutes n'ont certainement rien fait pour entraver le déroulement réel des travaux dans ce domaine).

J'ai d'abord appris le travail d'Avery par Harriett Taylor en Janvier 1945, en effet cela m'a poussé à proposer quelques expériences pour Francis Ryan, je pense que vous connaissez très bien la suite des événements. Je m'intéresse maintenant à essayer de comprendre comment

Harriett et d'autres à Columbia ont pris connaissance de l'œuvre de Avery, probablement juste avant, ou à peu près au moment de, sa publication au début de 1944 .

Dobzhansky a bien sûr évoqué le problème global de la transformation du pneumocoque dans son livre «La génétique et l'origine des espèces» retraçant l'histoire jusqu'à un certain point avant que le matériau actif ait été identifié comme l'ADN. J'ai écrit à Doby pour tenter de clarifier le niveau et la nature de ses contacts personnels avec Avery pendant cet intervalle.

Depuis, je me suis souvenu que vous étiez en contact très étroit avec le Département de zoologie dans le début des années 1940, il semble plausible que vous avez vous-même été un important véhicule pour informer les généticiens de ce travail et de son importance, et je me demande si vous pouvez corroborer cela. Je serais particulièrement intéressé par toute information précise

que vous pourriez avoir sur la façon dont Francis Ryan et Harriett Taylor se sont familiarisés avec ce travail et comment Harriett a pris contact directement avec Avery, ainsi que le résultat final , bien sûr, de son travail avec lui»

Le NIH permet de consulter, à titre d'archive, nombre de lettres échangées entre les protagonistes de la « révolution de l'ADN ». J'en donne par la suite, pour la première fois en France, je crois, quelques extraits traduits qui vous permettront de voir comment cette « révolution » de la mise en évidence du rôle de l'ADN a été vécue « de l'intérieur ».

Avery lui-même n'a pas été des plus combatifs pour imposer ses vues. C'était un chercheur « *d'une modestie constante et d'une profonde humilité* » (lettre de sir Macfarlane Burnet, un des fondateurs de l'immunologie, à sa femme, en 1943). De plus, Avery était déjà âgé de 67 ans lorsqu'il publia, en 1944. Il était « en

retraite » depuis deux ans, et songeait à se retirer à Nashville, où vivait plusieurs membres de sa famille. Les discussions, voire les disputes sur le rôle exact de l'ADN ont en fait duré plus longtemps que lui, qui est mort en 1955, à 78 ans. C'est pour cela que l'attitude de Mirsky est des plus discutables, car il ne pouvait ignorer qu'il risquait, en retardant le Nobel d'Avery, que ce dernier ne soit plus de ce monde au moment de le recevoir...

Les autres chercheurs de l'équipe eurent des destins divers : MacLyn Mac Carty s'occupa surtout du pneumocoque et MacLeod, qui était à l'origine de la recherche visant à purifier l'agent transformant (le labo d'Avery y travaillait, avec des périodes d'interruption, depuis 1928... MacLeod était entré à l'université McGill à 16 ans, en ayant sauté 3 classes... C'était un prodige), se focalisa surtout par la suite sur des études biomédicales. Mac Carty (*photo ci dessous, en costume sombre, avec J. Watson et F. Crick — Doc Marjorie McCarty / Wikimedia*) a écrit l'histoire de cette découverte en 1985. Son livre, en anglais, est [accessible intégralement ici](#).

Si le travail d'Avery et MacLeod est cité dans tous les manuels actuels, à l'époque il a été rapidement oublié : en novembre 1945, lors d'une intervention à la Royal Society sur « les gènes », Muller discutera du « rôle possible des acides nucléiques » pendant... 3 % du temps de son exposé !

Ce travail ne fait même pas partie de la bibliographie de l'article de Watson et Crick, en 1953, décrivant la structure de l'ADN. L'histoire de l'équipe d'Avery est un exemple parfait d'une découverte importante minimisée au point d'en être imperceptible avant d'être « réinvestie », a posteriori, en réécrivant l'histoire (*), d'une importance que bien peu avaient su discerner à l'époque (*parmi ces derniers J. Lederberg, G. Beadle, A. Lwoff et son équipe de*

« Pasteuriens, dont J. Monod, et surtout E. Chargaff, qui a immédiatement, lorsqu'il connut les résultats d'Avery, modifié les thèmes de recherches de son laboratoire de l'université Columbia des lipoprotéines vers les acides nucléiques).

Une autre personne a joué un grand rôle en tant qu'infatigable relais des découvertes d'Avery : il s'agit d'Harriet Taylor, qui deviendra Mme Ephrusi en 1949, qui note, en français, dans ses « titres et travaux » :

« En 1944, j'ai eu connaissance du mémoire classique sur la nature chimique du facteur transformant de la capsule chez le pneumocoque, qui venait d'être publié par Avery, MacLeod et McCarty. Leur découverte m'a paru d'un intérêt exceptionnel, et je suis allée demander à Avery d'entrer dans son laboratoire.

Il est intéressant de noter aujourd'hui que mes professeurs de génétique à la Columbia University ont essayé de me détourner de cette démarche, car ils considéraient que la transformation bactérienne était un phénomène insolite, ayant peu de rapports avec la génétique. Ils m'ont néanmoins recommandé à Avery, et c'est ainsi que j'ai débuté dans la voie que je poursuis encore aujourd'hui. »

Harriet a communiqué à Ledeberg une lettre d'Avery à son frère, le Dr Roy C. Avery, datée de 1943, faisant le point sur ses recherches. Je l'ai traduite et retranscrite intégralement, car elle montre bien quel était l'état d'esprit du chercheur, et qu'elle « sent la paillasse » :

« Le problème est celui de la transformation des types de pneumocoques. Tu te souviens que Griffith, à Londres, il y a 15 ans, a décrit une technique par laquelle il pourrait changer d'un

type spécifique en un autre type spécifique via la forme intermédiaire R. Par exemple : Type II -> R -> Type III. C'est réalisé en injectant à des souris une grande quantité de cellules de type III tuées par la chaleur avec un petit inoculum d'une culture vivante R dérivée d'un type II. Il a remarqué qu'il n'était pas rare que les souris ainsi traitées meurent, et à partir de leur sang cardiaque il a récupéré des pneumocoques encapsulés de type III vivants.

Cela ne pouvait se faire qu'en utilisant des souris. Il n'a pas réussi à obtenir la transformation lorsque le même mélange bactérien a été incubé dans un bouillon. Les observations originales de Griffith ont été répétées et confirmées à la fois dans notre laboratoire et à l'étranger, par Neufeld et d'autres.

Tu te rappelles alors que Dawson a avec nous reproduit le phénomène en Vitro en ajoutant une pincée de sérum anti-R dans les cultures en bouillon. Plus tard, Alloway a utilisé des extraits filtrés préparés à partir de cellules de type III et il a induit la transformation de cultures de R dérivées du type II en pneumocoque encapsulé de type III en l'absence d'éléments macroscopiques et de débris cellulaires. Tu te souviens peut être que cela impliquait plusieurs transferts répétés du bouillon du sérum, souvent jusqu'à 5 ou 6 - avant que le changement ne se produise.

Mais il se produit, et une fois que la réaction a été induite, sans addition supplémentaire d'extrait inducteur par la suite, les organismes continuent à produire des capsules du type III ; c'est bien que le changement était héréditaire et ensuite transmissible en série dans du bouillon brut.

Pendant les deux dernières années, d'abord avec Macleod et maintenant avec le Dr McCarty, j'ai essayé de savoir quelle est la nature chimique de la substance dans les extraits bactériens qui induit ce changement spécifique.

L'extrait brut (de type III) est plein de polysaccharides capsulaires, de glucides, de nucléoprotéines, d'acides nucléiques libres à la fois de type levure et thymus [*il s'agit là des premiers noms expérimentaux, respectivement de l'ARN et de l'ADN*], de lipides et des autres constituants cellulaires. Essaye de trouver le principe actif dans ce mélange complexe !

Essayer d'isoler et d'identifier chimiquement la substance particulière qui, mise elle-même en contact avec la cellule R dérivée de type II, l'amène à élaborer un polysaccharide capsulaire de type III, lui faisant acquérir toutes les distinctions aristocratiques du même type de cellules que celle à partir de laquelle a été préparé l'extrait !

Quel travail, plein de difficultés, un vrai crève-cœur ! Mais enfin, peut-être, nous l'avons. La substance active n'est digérée ni par la trypsine ou la chymotrypsine cristallisée – elle ne perd pas son activité lorsqu'elle est traitée avec de la ribonucléase cristallisée, qui rompt spécifiquement les acides nucléiques de type levure. Le polysaccharide capsulaire de type III peut être éliminé par digestion avec l'enzyme spécifique de type III, sans perte de l'activité de transformation d'un extrait potentiel. Les lipides peuvent être extraits à partir de ces extraits par l'alcool et l'éther à -12°C sans altérer leur activité biologique. L'extrait peut être dé-proteinisé par la méthode de Sevag (secoué avec du chloroforme et de l'alcool d'amyle)

jusqu'à ce qu'il soit libre de protéines et négatif au biuret. Lorsque des extraits traités et purifiés de cette façon, mais contenant encore des traces de protéines, beaucoup de glucides et des acides nucléiques à la fois de type levure et de type thymus sont ensuite fractionnés par addition goutte à goutte d'alcool éthylique absolu, une chose intéressante se produit. Lorsque l'alcool atteint une concentration d'environ 9/10 de volume, il se sépare une substance fibreuse que l'agitation du mélange enroule d'elle-même autour de la tige de verre comme un fil sur une bobine, et les autres impuretés en reste séparées comme un précipité granulaire. Le matériau fibreux est redissous et le processus est répété plusieurs fois. En bref, la substance est très réactive et son analyse élémentaire se conforme de très près aux valeurs théoriques d'un acide nucléique à désoxyribose pur (de type thymus). Qui aurait pu le deviner ? Ce type d'acide nucléique n'a pas à ma connaissance été reconnu dans le pneumocoque auparavant, même si il a été trouvé dans d'autres bactéries.

Parmi un certain nombre de préparations enzymatiques brutes provenant d'os de lapin, de rein de porc, de muqueuse intestinale de chien et de pneumocoque, et du sérum frais d'humain, de chien et le lapin ; seuls ceux contenant une dépolymérase active capable de briser des échantillons connus d'acide nucléique à désoxyribose ont été trouvés capables de détruire l'activité de notre substance – preuve indirecte, mais suggérant que le principe transformant isolé peut appartenir à cette classe de substance chimique. Nous avons isolé la substance hautement purifiée de ce dernier dont seulement 0,02 microgramme sont actifs dans l'induction de la transformation.

Dans le mélange réactionnel (le milieu de culture), cela représente une dilution d'une part dans une centaine de millions – substance puissante qui est très spécifique. Cela ne laisse pas beaucoup de place pour les impuretés, mais la preuve n'est pas encore assez bonne. À la dilution de 1/1000 la substance est très visqueuse, comme une véritable préparation d'ADN provenant de sperme de poisson. Des études préliminaires avec l'ultracentrifugeuse indiquent un poids moléculaire d'environ 500 000 – une substance hautement polymérisée.

Nous envisageons maintenant de préparer de nouveaux lots et d'obtenir une preuve supplémentaire de pureté et d'homogénéité par l'utilisation de l'ultracentrifugation et de l'électrophorèse. Cela va m'occuper ici pendant un certain temps.

Si les choses vont bien, j'espère aller à Deer Isle, prendre un peu de repos – revenir en forme et essayer de rassembler les différents éléments du problème et écrire l'article sur notre travail. Si nous avons raison, ce qui bien sûr n'est pas encore prouvé, cela signifie que les acides nucléiques sont des substances pas seulement structurellement importantes, mais fonctionnellement actives dans la détermination des activités biochimiques et des caractéristiques spécifiques des cellules – et qu'au moyen d'une substance chimique connue, il est possible d'induire des changements *prévisibles* et *héréditaires* dans les cellules.

C'est quelque chose qui a longtemps été le rêve des généticiens. Les mutations qu'ils induisent par les rayons X et ultraviolets sont toujours des changements imprévisibles et aléatoires. S'il s'avère que nous avons raison, et bien sur c'est un grand « si », alors cela signifie que nous

connaissons à la fois la nature chimique du stimulus inducteur et la structure chimique de la substance produite – le premier étant acide nucléique de type thymus – le dernier le polysaccharide de type III. Et tous deux sont ensuite re-dupliqués dans les cellules filles et après d'innombrables transferts et sans ajout supplémentaire d'agent inducteur, la même substance transformante active et spécifique peut être récupérée bien au-delà de la quantité initialement utilisée pour induire la réaction. On dirait un virus – où peut être un gène. Mais je ne m'inquiète pas du mécanisme pour le moment – une étape à la fois – et la première est, quelle est la nature chimique du principe transformant ?

Quelqu'un d'autre peut travailler sur le reste. Bien sûr, le problème est épineux de par ses conséquences. Il concerne la biochimie des acides nucléiques du type thymus qui sont connus pour constituer la majeure partie des chromosomes, mais que l'on pensait être identiques indépendamment de leur origine et des espèces d'où ils proviennent. Il concerne la génétique, la chimie des enzymes, le métabolisme cellulaire et la synthèse des glucides, etc. Il faut aujourd'hui de nombreuses preuves bien documentées pour convaincre quiconque que le sel de sodium de l'ADN, sans aucune protéine, pourrait être doté de ces propriétés spécifiques et biologiquement actives, et cette preuve nous cherchons maintenant à l'obtenir.

C'est très plaisant de faire des bulles de savon, mais il est plus sage de les piquer soi-même avant que quelqu'un d'autre ne le fasse. Voilà donc toute l'histoire, Roy, bonne ou mauvaise, elle a été très amusante et représente beaucoup de travail.

Tout ceci, en plus du travail lié à la guerre et de la supervision générale des autres problèmes

importants du laboratoire, m'a tenu très occupé, comme vous devez bien le comprendre. Parles-en avec Goodpasture, mais ne le criez pas sur les toits, jusqu'à ce que nous soyons tout à fait certains, ou du moins aussi certains que la méthode actuelle le permet. Il est dangereux d'agir prématurément et embarrassant d'avoir à se rétracter plus tard.

Je suis si fatigué et endormi que j'ai peur de n'avoir pas été très clair. Mais je veux que vous compreniez, et bien entendu vous verrez que je ne peux pas décevantement laisser ce problème jusqu'à ce que nous ayons des preuves convaincantes.

Ensuite, je me réjouis et j'espère que nous pourrons tous ensemble, Dieu et la guerre le permettant, vivre nos jours en paix. Quelle belle photo de la chère Margaret ! Comment vont elle et Cath ? Je souhaite que nous puissions tous nous voir à Deer Isle. Je sais que Minnie vous a gardé tous au courant. Les choses vont bien pour nous, malgré cette guerre cruelle, mais la victoire doit venir, et je suis assez optimiste pour attendre des jours plus heureux, même s'ils ne sont pas parfaits, nous pouvons en profiter et être heureux encore.

Pardonnez cette lettre décousue – avec elle viennent mon amour et la pensée et l'espérance de meilleures choses à venir –

Avec beaucoup d'amour, affectueusement et fidèlement

OPA

Je crois qu'il devient clair à présent que non seulement Avery voyait bien l'ADN comme étant le gène, mais qu'il était conscient

que sa découverte serait difficilement acceptée, et désirait que cette dernière mette un terme à sa carrière.

Il existe un moment où, en sciences, la suspicion légitime se mue en mauvaise foi caractérisée. Il n'est pas aisé à définir. Mirsky, pendant plusieurs années, a réalisé une campagne, au sein de l'institut et en public, pour montrer que certaines protéines étaient résistants au processus de purification utilisé par l'équipe d'Avery, et donc suggérer que l'ADN pourrait avoir été contaminé par des traces de protéines.

Avery a surtout créé les premiers doutes sur la constitution moléculaire du gène : après lui, les protéines n'étaient plus les seules options envisageables...

Cette histoire amène, bien entendu, à se demander qui sont les Avery de notre époque...

Sur la substance transformante de Griffith, J M Lederberg, des années plus tard, en 1956, résumera les hypothèses possibles. Cet agent transformant pouvait être, à l'époque :

- un mutagène spécifique capable de provoquer un seul type de mutation (l'acquisition de la capsule)
- une espèce d'enzyme, peut être liée à de l'ADN, capable de synthétiser le polysaccharide manquant.
- un virus bactérien (un phage), qui en infectant les bactéries provoquerait en réaction la synthèse d'une capsule
- un gène cytoplasmique autonome, ou un élément cytoplasmique provoquant la synthèse de la capsule
- un élément capable d'agir à distance sans entrer dans la bactérie
- un morceau de la constitution génétique de la bactérie, seule hypothèse reconnue et testée.
- un nouvel élément, totalement inconnu.

CHA(=T)RG(=C)AFF

Les résultats d'Avery motivent donc la curiosité d'Erwin Chargaff (1905-2002), un biochimiste qui a émigré d'Autriche aux USA en 1924. Il réitère les travaux de Phébus Levene pour étudier la chimie des acides nucléiques, mais il les complète et les étend en utilisant une technique de séparation alors nouvelle, la chromatographie sur papier (et la spectrophotométrie UV). Chargaff montre ainsi que :

- ▶ le rapport $A+T/C+G$ est constant pour tous les individus d'une espèce donnée
- ▶ ce rapport peut varier entre des espèces différentes.

Erwin Chargaff était un chercheur talentueux, mais au caractère difficile. Lorsqu'il rencontra Watson et Crick, il faillit s'étrangler : comment une espèce de blanc bec et un physicien qui n'avait même pas fini sa thèse pouvaient-ils simplement penser pouvoir comprendre la structure de l'ADN, un problème que le grand Linus Pauling n'avait pas résolu (et le grand Chargaff non plus ?). Il se demandait même si Watson était capable de retenir les 4 formules des bases... Chargaff ne digéra jamais le triomphe de Crick et Watson (*et coll. — voir plus loin*), et il essaya de persuader ses interlocuteurs (peut-être même est-il arrivé à le croire) que c'est lui qui avait eu l'idée de l'appariement des bases, ce qui n'a jamais été le cas... Il se serait bien vu, finalement, partager le Nobel avec les deux « rigolos » dont il s'était ouvertement moqué. Il protesta d'ailleurs, a posteriori, contre son « exclusion ». Par la suite, aigri, il devient très critique envers la biologie moléculaire...

Ce qu'a vraiment démontré Chargaff, (*avatar ci-contre ; tel qu'il se voyait lui-même*) au travers de ses rapports constants entre les différentes sortes de bases, c'est que l'ADN n'est pas qu'un enchainement monotone de 4 bases différentes : il existe un « ordre » dans cette molécule, et qui dit ordre particulier dit information particulière. Cette notion d'information portée par une molécule ne provient pas des biologistes, mais des nombreux physiciens qui, après la guerre, se sont réorientés vers l'étude des sciences de la vie.

Les savanturiers de la physique

Ces physiciens n'étaient pas des seconds couteaux, mais bien des scientifiques de premier plan. Leur influence sur la biologie moléculaire a été profonde et multiple. Examinons deux exemples.

Erwin Schrödinger a reçu le prix Nobel en 1933 pour l'équation qui porte son nom, et qui décrit le mouvement d'une particule massive non relativiste au moyen d'une fonction d'onde. S'intéressant à toutes les sciences, ainsi qu'à la philosophie (il écrira ainsi un livre sur « La nature et les Grecs »), il écrit en 1944 et fait paraître en 1947 un petit livre « *qu'est-ce que la vie* » où il présente et discute les résultats obtenus par les expériences du physicien M. Delbrück sur la nature physique du gène. Les déductions et considérations de Schrödinger l'amènent à prophétiser les caractéristiques du support des gènes : un polymère varié, un « cristal aperiodique », avec des dimensions moléculaires. Pour la première fois, il fait référence à une notion de code commun à toutes les cellules. Il écrit à propos des « *groupes d'atomes* » constituant les gènes et contenus dans les noyaux cellulaires « *Chaque cellule contient un seul d'entre eux, ou deux si nous tenons compte de la diploïdie. Sachant quelle puissance ces minuscules bureaux*

centraux exercent dans les cellules isolées, ne font elles pas penser a des sièges de gouvernement local, répartis au travers du corps et communiquant l'un avec l'autre, grâce au code qui leur est commun a tous ? ». Le petit livre de Schrödinger a été lu par la plupart des futurs découvreurs de l'ADN. Il en a décidé certains, et non des moindres, comme Max Delbrück et J. Watson, que nous retrouverons bientôt, à se mettre en quête de la nature physique du gène.

Parfois, l'influence des physiciens ne s'est pas fait sentir par le biais de techniques (comme la cristallographie aux rayons X) ou d'ouvrages comme ceux de Schrödinger, mais par leur rôle « social » en impulsant des champs entiers de découvertes, en motivant de nombreux chercheurs dans de vastes domaines, et en se trouvant ainsi à l'origine de révolutions intellectuelles dont, promoteurs discrets, ils ne bénéficient guère. Tel est le rôle de Leo Szilard, un homme qui a bouleversé le vingtième siècle, et qui constitue un parfait exemple de ce que j'ai appelé un « nœud intellectuel » dans le graphique des influences réciproques des chercheurs.

En effet, Leo Szilard :

- découvert, avec Enrico Fermi, comment réaliser la première pile atomique (il prit un brevet avec ce dernier). Il mit en évidence, en particulier, qu'il fallait du graphite exempt de bore pour ralentir suffisamment les neutrons afin que la réaction en chaîne se produise.
- est à l'origine de la rédaction, par A. Einstein, de la lettre au président Roosevelt, qui déclencha le projet Manhattan et, partant, la fabrication de la première bombe atomique
- a motivé nombre de physiciens à se diriger vers l'étude de la biologie au niveau moléculaire. Personnellement, il a étudié le métabolisme bactérien et mis en évidence la répression des

enzymes par leur produit. Lors d'une visite à l'institut Pasteur, il rencontre J. Monod et lui glisse à l'oreille qu'une réaction de synthèse pourrait être régulée par répression, une idée qui fera son chemin.

Szilard, qui avait un physique « Hitchcockien », aimait à se promener dans les laboratoires, cigare aux lèvres. Il se faisait expliquer les expériences en cours, et donnait des pistes pour lever les difficultés rencontrées. Il est à l'origine du laboratoire européen de biologie moléculaire (EMBL), dont il désirait qu'il soit le pendant du Rockefeller Institute en Europe. C'était une intelligence aussi variée qu'exceptionnelle. Pour donner une idée de son caractère, lorsqu'il a été atteint d'un cancer de la vessie, il a lui-même mis au point un protocole de radiothérapie pour sa personne, protocole qui, apparemment, l'a guéri !

Szilard, de par son intérêt pour les expériences utilisant les bactéries et des virus parasitant ces dernières, a rejoint un ensemble informel de chercheurs que l'on appellera a posteriori le « groupe du phage »

Le groupe du Phage, Hershey & Chase

Pour que L'ADN soit enfin reconnu comme support de l'hérédité et molécule constituant les gènes, il a fallu attendre 1952 et une autre série d'expériences, menées au moyen de virus infectant les bactéries, par le microbiologiste Alfred Hershey et son assistance Martha Chase.

L'utilisation de virus permettait de simplifier les problèmes à résoudre. En effet, en 1935, le biochimiste WM Stanley avait réussi à cristalliser un virus infectant le tabac, et pensait que ce virus était

constitué uniquement de protéines. Toutefois, l'année suivante, F. Bawden et N. Pirie, en analysant le virus purifié de Stanley, montrent qu'il est constitué de deux molécules différentes : une protéine et un acide nucléique. Dès lors, il devenait logique de penser que les virus étaient seulement constitués de ces deux éléments. Comme les virus se reproduisent à l'identique en grand nombre dans les cellules ou les bactéries, ils contiennent des gènes. Dès lors, l'alternative était simple : soit les gènes étaient des protéines, soit ils étaient des acides nucléiques. Les virus ne contenaient rien d'autre.

C'était l'approche défendue par un groupe de physiciens venus à la biologie, en particulier celle de Max Delbrück (*photo ci-contre, dans les années 40*) qui, à la suite de son travail dans le laboratoire d'un titan de la science, Niels Bohr, se prit de passion pour les mystères moléculaires de la biologie. Il appliqua tout d'abord les techniques de la physique atomique à l'étude du gène, en étudiant avec Timofeef-Ressovsky l'effet de divers rayonnements mutagènes sur les drosophiles. Tout comme le bombardement de la matière par différents rayonnements avait permis de sonder sa structure profonde, il espérait qu'une démarche similaire de « bombardement » des gènes révélerait leur structure.

Il en déduisit une sorte de « modèle quantique du gène », ou celui-ci montrait différents niveaux d'énergie, comme une molécule, et devait avoir une taille de l'ordre du millième de millimètre... Même si l'approche était erronée (mais permit de mieux connaître les effets mutagènes des rayons cosmiques), elle motiva deux autres physiciens, E. Schrödinger, qui écrivit le prophétique « Qu'est-ce que la vie » (toujours édité par points), et S. Luria. Delbrück, par la suite, va rechercher la « particule élémentaire » du gène, permettant son étude. Dépité par la

complexité de la drosophile, il pense la trouver dans les virus qui infectent les bactéries : les phages. Avec Emoty Ellis, il détermine leur courbe de croissance, puis poursuit ses recherches sur les phages tout en enseignant la physique à l'université Vanderbilt. Il rencontre S. Luria en 1940, et tous deux travaillent à Cold spring en 1941, puis Hershey les rejoint en 1943. Le « groupe du phage » (*d'avantage une école informelle, ce « groupe » a été nommé a posteriori, il n'a eu aucune existence administrative ou publique*) est né. Sous l'influence de Delbrück, ce groupe va initier une nouvelle façon de faire de la recherche : réunions informelles, vie sociale doublant la vie de labo et réunissant les équipes, nécessité d'une réflexion, chaque semaine, sur le travail en cours ; instauration, en fait, d'une « bonne ambiance » loin des structures hiérarchiques figées. En tant que physicien, Delbrück va former une génération à s'intéresser à un raisonnement bien plus rigoureux, à définir et obtenir une représentation cohérente du « système » vivant étudié et utilisé.

Delbrück ayant montré que l'on pouvait travailler différemment, de nombreuses équipes vont utiliser les phages comme moyen d'étude.

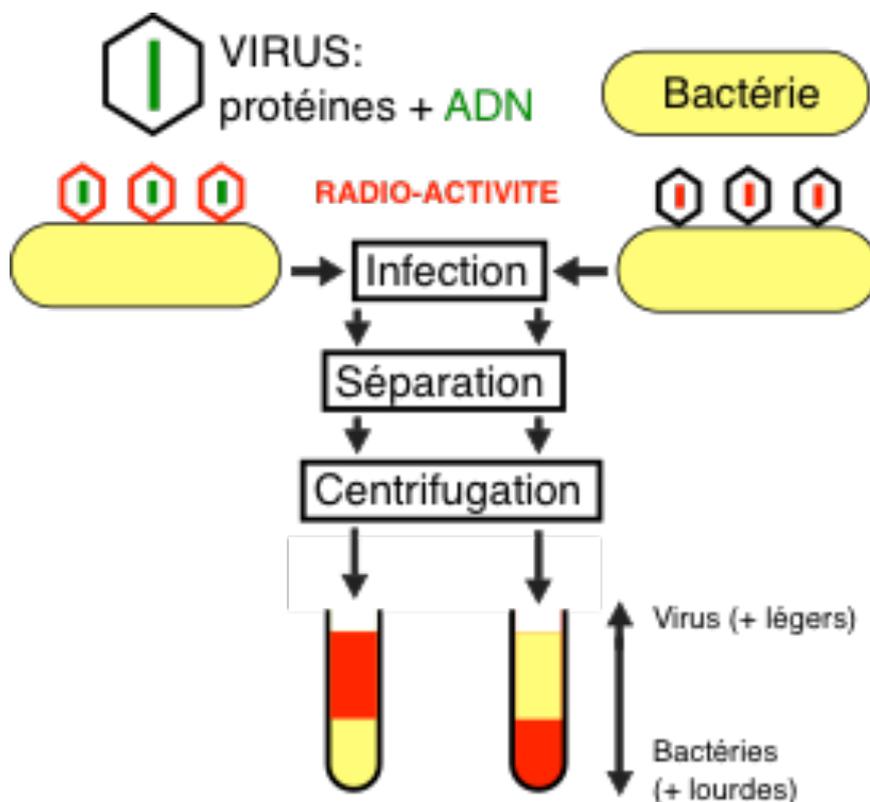
Dont, bien entendu, « l'équipe » très particulière que va constituer Hershey.

En 1946, Al. Hershey parvient à détecter des phénomènes de recombinaison chez les phages : en infectant simultanément une souche bactérienne avec deux phages portant des mutations distinctes, il observe l'apparition de phages recombinants, portant soit simultanément les deux mutations, soit aucune d'entre elles. Des observations similaires seront rapportées par Delbrück.

Le principe de l'expérience principale d'Hershey et Chase est simple (voir schéma) : ils utilisent des virus dont ils ont rendu radio-actif soit les protéines, soit l'ADN. Ils constatent que ce que les virus injectent dans les bactéries, et qui permet leur reproduction (donc leurs gènes) n'est radio-actif que dans le cas où ils utilisent des virus à ADN radio-actifs. À partir de là, la cause est entendue et les derniers sceptiques se rendent : les gènes sont constitués de molécules d'ADN. C'est du moins ce que l'on lit dans les manuels. Mais ce n'est pas exactement la vérité... Voyons pourquoi.

Une des expériences de Hershey et Chase : On utilise des virus dont les

*protéines (à gauche), **ou** l'ADN (à droite) sont radio-actifs. Après infection des bactéries, si on les sépare de ce qui reste des virus, on constate que les bactéries ne sont radio-actives que si l'ADN des virus est radioactif. Cela signifie que c'est l'ADN des virus qui rentre dans les bactéries : les gènes des virus sont constitués d'ADN.*



Martha Chase était, depuis 1950, l'assistante de laboratoire d'Alfred D. Hershey au Cold Spring Harbor Laboratory. En 1951, elle rencontre Waclaw Szybalski qui vient d'arriver à Cold spring, et qui a vécu « en spectateur » l'époque de cette expérience.

Chase a réalisé une très importante contribution au travail d'Hershey (surnommé « Al », à l'époque). En fait, c'était surtout elle qui était « a la paillasse » (*avatar ci-contre*). Il faut dire qu'il fallait une entente parfaite entre elle et Hershey, au vu des conditions surprenantes dans lesquelles cette recherche s'est déroulée, car on était bien loin de l'ambiance conviviale et chaleureuse des autres équipes du groupe du phage : Chase et Hershey travaillaient seuls, dans un silence absolu, et Hershey dirigeait les expériences en parlant le moins possible, et en guidant Martha de quelques mouvements du doigt...

Lorsque Szybalski a assisté à la première présentation de l'expérience Hershey — Chase, il a été si impressionné qu'il en a profité pour inviter Chase (alors âgée de 25 ans) à dîner et danser toute la soirée. C'est là qu'il se rendit compte que Martha ne réalisait pas du tout l'importance du travail qu'elle avait contribué à réaliser. Szybalski lui expliqua alors toute l'envergure du problème qu'elle avait contribué à résoudre (un rôle qui aurait dû être tenu, bien avant, par Hershey...). Auparavant, M. Chase se voyait surtout comme « une technicienne sous-payée ».

Hershey et Chase utilisent des bactériophages marqués ajoutés à une culture bactérienne fraîche, ce qui permet aux phages d'infecter les bactéries en injectant leur matériel génétique dans la cellule hôte. Mais, au moment crucial, ils utilisent un appareil qui a déjà fait ses preuves pour révolutionner la biochimie : un mixer (*déjà utilisé avec succès pour mettre en évidence l'existence des enzymes par de Büchner*). Hershey avait déterminé comment l'utiliser pour produire une force de cisaillement suffisante pour arracher les particules de phage des parois bactériennes ; mais trop faible pour ouvrir les bactéries. La radioactivité des bactéries permet à Hershey et Chase de constater que seul l'ADN de phage, et aucune protéine

délectable, a été inséré dans la bactérie. Mais ceci n'est que le résumé d'une petite partie du travail effectué, et les conclusions que nous en tirons ne sont pas celles de l'époque.

Expériences de pensée, expériences « pédagogiques » et réalité de la recherche.

Contrairement à ce que l'on peut en lire dans certains manuels, l'expérience d'Hershey & Chase n'était pas conceptuellement supérieure à celle d'Avery. Elle n'était même pas précisément ciblée sur l'étude de l'ADN, mais bien sur celle de la biologie des virus. En voici la preuve; la traduction du résumé de l'article original d'Hershey et Chase paru le 20 septembre 1952 dans le *Journal of General Physiology*, et situé à la fin de l'article.

Fonction indépendante de la protéine virale et de l'acide nucléique dans la croissance du bactériophage.

(INDEPENDENT FUNCTIONS OF VIRAL PROTEIN AND NUCLEIC ACID IN GROWTH OF BACTERIOPHAGE)

A. D. Hershey et Martha Chase - *J. Gen. Physiol.*, 36 (1) : 39-56.

1 — Un choc osmotique rompt les particules de phage T2 en un matériau contenant presque tout le soufre du phage sous une forme précipitable par un sérum anti-phage et susceptible d'adsorption spécifique sur les bactéries. Il libère en solution presque tout l'ADN du phage sous une forme non précipitable par un antisérum et non adsorbable sur des bactéries. La protéine contenant du soufre de la particule de phage constitue donc manifestement une membrane qui protège l'ADN du phage de la DNase, qui comprend la seule ou la principale substance antigénique et est responsable de la fixation du virus aux bactéries.

2. L'adsorption du T2 à des bactéries tuées par la chaleur, et le chauffage ou une alternance de congélation et décongélation des cellules infectées, sensibilise l'ADN du phage adsorbé à la DNase. Ces traitements n'ont que peu ou pas d'effet sensibilisant sur le phage non adsorbé. Ni le chauffage ni l'alternance congélation — décongélation ne libèrent l'ADN du phage des cellules infectées, bien que d'autres constituants cellulaires puissent être extraits par ces méthodes. Ces faits suggèrent que l'ADN phagique fait partie d'une structure intracellulaire organisée pendant toute la période de croissance du phage.

3. L'adsorption du phage T2 sur des débris bactériens provoque l'apparition d'une partie de l'ADN du phage en solution, laissant le soufre du phage fixé aux débris. Une autre partie de l'ADN du phage, correspondant à peu près à la moitié restante de l'ADN du phage inactivé, reste attachée aux débris, mais peut en être séparée par la DNase. Le Phage T4 se comporte de même, bien que les deux phages puissent être montrés fixés sur des sites de liaison différents. L'inactivation du phage par les débris bactériens est à l'évidence accompagnée de la rupture de la membrane virale.

4. Des suspensions de cellules infectées agitées dans un mixer Waring libèrent dans la solution 75 % du soufre du phage et seulement 15 % du phosphore du phage à cause de la force de cisaillement appliquée. Les cellules restent capables de produire la descendance du phage.

5. Les faits énoncés montrent que la majeure partie du soufre du phage reste à la surface des cellules et que la plupart de l'ADN du phage pénètre dans la cellule lors de l'infection. Il n'a pas été possible de montrer qu'un matériau exempt de soufre autre que l'ADN pénètre dans la cellule. Les propriétés du résidu contenant du soufre l'identifient comme étant constitué des membranes, essentiellement inchangées, des particules de phage. L'ensemble des données significatives montre que le passage de l'ADN du phage dans la cellule se produit dans un milieu non nutritif dans des conditions dans

lesquelles d'autres étapes connues de la croissance virale ne se produisent pas.

6. La descendance du phage produite par les bactéries infectées par le phage marquées avec du soufre radioactif contient moins de 1 pour cent de la radioactivité parentale. La descendance des particules de phage marquées au phosphore radioactif contient de 30 pour cent ou plus du phosphore parental.

7. Le phage inactivé par du formaldéhyde dilué est capable de s'adsorber aux bactéries, mais ne libère pas son ADN dans la cellule. Ceci montre que l'interaction entre les phages et la bactérie qui provoque la libération de l'ADN du phage de sa membrane de protection dépend de composants labiles de la particule du phage. En revanche, les composants de la bactérie essentiels à cette interaction sont remarquablement stables. La nature de l'interaction est par ailleurs inconnue.

8. La protéine contenant du soufre des particules de phage restant est confinée à une couche de protection qui est responsable de l'adsorption sur les bactéries, et fonctionne comme un outil pour l'injection de l'ADN du phage dans la cellule. Cette protéine n'a probablement pas de fonction dans la croissance du phage intracellulaire. L'ADN a une fonction. D'autres conclusions, de nature chimique, ne devraient pas être tirées des expériences présentées.

On peut donc voir combien la série de travaux d'Hershey et Chase constituait en fait en une étude complète de la liaison phage/bactérie au moyen de phosphore et de soufre marqué. Les vraies expériences réalisées ne se limitent donc pas au simple extrait, reconstruit par la suite à des fins pédagogiques, que l'on présente souvent comme étant la « véritable » recension d'une « expérience décisive ». La prudence des conclusions des auteurs

ne cache pas le fait qu'outre le rôle génétique de l'ADN (qui est présent, indubitablement, mais sur lequel les deux chercheurs n'insistent pas, paradoxalement, dans leur résumé), c'est tout un plan de l'étude de la biochimie de virus qui transparait ici. Mais le rôle de l'ADN en tant que support des gènes est-il si clairement affirmé dans cet article qu'on le cite très souvent ? Pour le savoir, examinons la courte discussion de l'article, qui précède son résumé :

« Nous avons montré que lorsqu'une particule de bactériophage T2 s'attache à une cellule bactérienne la majeure partie de l'ADN du phage entre dans la cellule, et un résidu contenant au moins 80 % des protéines soufrées du phage demeure à la surface de la cellule. Ce résidu est composé de la matière formant la membrane protectrice du reste de la particule de phage, et il ne joue plus aucun rôle dans l'infection après la fixation du phage à la bactérie.

Ces faits laissent en question la fonction possible des 20 % de protéines soufrées qui pourraient, ou pas, entrer dans la cellule. Nous constatons que très peu ou aucune d'entre elles n'est incorporée à la descendance de la particule infectante, et qu'au moins une partie de cette dernière consiste en un matériau additionnel ressemblant au résidu dont on peut montrer qu'il reste extracellulaire. D'un autre côté, le phosphore et l'adénine (Watson et Maloe, 1952) provenant de l'ADN de la particule infectieuse sont transmis à la descendance du phage dans une mesure considérable et en quantité égale. Nous en déduisons que les protéines soufrées n'ont pas de fonction dans la multiplication du phage, et que l'ADN en a.

Il doit être rappelé que les questions suivantes restent sans réponses : (1) existe-t-il un autre matériau exempt de soufre, autre que l'ADN, qui pénètre dans la cellule ? (2) Dans l'affirmative, est-il transféré à la descendance du phage ? (3) Le transfert du phosphore (ou d'une autre substance hypothétique) à la descendance est-il direct — dans ce cas,

reste t'il en permanence sous une forme spécifiquement identifiable comme substance du phage — ou indirect ?

Nos expériences montrent clairement qu'une séparation physique du phage T2 en parties génétiques et non génétiques est possible. Une séparation fonctionnelle identique se manifeste dans l'indépendance partielle du phénotype et du génotype chez ce même phage (Novick et Szilard, 1951 ; Hershey et coll., 1951). **L'identification chimique de la partie génétique doit attendre, toutefois, jusqu'à ce que certaines questions posées plus haut aient été résolues.**

Deux faits significatifs pour la méthode immunologique d'étude des problèmes de la croissance virale doivent être soulignés ici. Premièrement, le principal antigène des particules infectieuses du phage T2 reste inchangé dans les cellules infectées. Deuxièmement, il reste attaché aux débris bactériens résultant de la lyse des cellules. Ces possibilités semblent avoir été négligées dans une étude de Rountree (1951) pourtant sur les antigènes viraux durant la croissance du phage T5.

Nous pouvons en conclure que, très prudemment, Hershey et Chase n'affirment pas du tout que l'ADN est le support des gènes, mais que cette possibilité, qu'ils ont clairement mis au jour, demande confirmation... Conceptuellement, il n'y a aucun progrès par rapport aux expériences d'Avery. Pourtant, l'histoire en a décidé autrement.

Avant que ne paraisse leur article, Al Hershey avait adressé quelques lettres en décrivant les résultats préliminaires aux rares scientifiques travaillant sur le même sujet. À Pâque 1952 avait lieu à Oxford un colloque sur les virus organisé par la *society of general microbiology*. S. Luria n'avait pu quitter les USA, mais il avait réalisé un rapport en faveur de la nature protéique des gènes. C'était son étudiant, un certain Jim Watson, qu'il avait chargé de le représenter. Watson refusa de lire le rapport de Luria : à la place,

bousculant les conventions, il brandit une lettre d'Hershey décrivant l'expérience principale montrant que les gènes étaient constitués d'ADN. Lui et un certain F. Crick venaient d'ailleurs de s'associer, à Cambridge, pour découvrir la structure de cette molécule...

L'entrée dans la légende

« les joies de la science résident dans le travail lui-même, la récompense finale est le progrès du genre humain. »

Rosalind Franklin

Comment l'ADN peut-il transmettre de l'information ? De par l'existence actuelle et l'usage courant des ordinateurs, nous sommes familiers avec la notion d'information, de code, de programme, de logiciel. Il en était tout autrement dans les années 50. À l'époque, les scientifiques raisonnaient en recherchant l'effet d'une empreinte moléculaire, d'un moulage qui viendrait se réaliser sur le gène qui serait alors un « moule moléculaire ». En gros, on voyait le gène comme une espèce particulière d'enzyme, dont la forme aurait constitué l'information correspondante aux caractères héréditaires.

Une fois le rôle de l'ADN établi se posait donc la question de savoir comment cette molécule pouvait contenir une information, se recopier de cellule en cellule ; et comment se faisait la liaison entre l'ADN et les caractères héréditaires.

Une compétition va opposer des équipes de chercheurs pour établir la structure de l'ADN, connaître sa forme et comprendre l'origine de ses propriétés.

À la recherche de la structure de l'ADN

Plusieurs chercheurs et laboratoires concurrents vont donc tenter, au début des années 1950, d'établir la structure de la molécule d'ADN, afin de comprendre comment cette molécule peut transmettre les caractères héréditaires. Un des éléments déterminants a été apporté par Chargaff en 1949 : on retrouve toujours une égalité entre les quantités d'Adénine et de Thymine d'une part, de Guanine et de Cytosine d'autre part. On a donc toujours, en quantités, **A=T et C=G**. reste à expliquer pourquoi.

Le match va opposer Angleterre et USA.

Un leader redoutable

Aux USA, un chercheur déjà célèbre et de grand talent, Linus Pauling, essaye d'établir la structure de l'ADN. Si F. Crick et J. Watson ne furent pas vraiment pris au sérieux, c'était aussi parce qu'ils étaient concurrencés par ce géant de la biochimie. Mais qui était Pauling ? Il est mieux connu aux USA qu'en Europe, mais ce double prix Nobel avait déjà, en 1950, réalisé une moisson de découvertes impressionnantes, dont une seule aurait suffi à de nombreux scientifiques pour remplir une vie. Jugez-en. Linus Pauling (1901-1994) a découvert :

- l'importance des liaisons faibles dans la conformation des protéines.

- l'électronégativité

- l'hybridation des orbitales atomiques

- l'idée de complémentarité stéréospécifique comme base des interactions moléculaires en biologie.

Il publie deux livres qui ont révolutionné la chimie : *La nature de la liaison chimique* (1939), et *Chimie générale* (1947).

- la structure de plusieurs centaines de substances minérales,

- l'hélice alpha et le feuillet bêta;

- la première explication moléculaire (altération de l'hémoglobine) d'une maladie génétique : l'anémie falciforme.

- le danger des radiations pour le patrimoine génétique

- l'utilisation des séquences de protéines pour la reconstruction d'arbres phylogéniques,

- En 1965, avec Émile Zuckerkandl, le concept d'horloge moléculaire.

Des challengers improbables

En Angleterre, une équipe concurrente se forme ; son histoire est particulière, et liée à celle de L Pauling : ce dernier a coiffé au poteau l'équipe de William Lawrence Bragg pour la découverte de la structure de l'hélice alpha des protéines. Lorsque Bragg, alors au laboratoire Cavendish, apprend que Pauling s'intéresse à la structure de l'ADN, il soutient F. Crick et J. Watson dans leur volonté de construire un modèle moléculaire de l'ADN, et les autorise à travailler avec M. Wilkins et R. Franklin, qui n'ont pas encore publié leurs travaux sur cette molécule, et appartiennent au King's college de Londres.

Francis Crick est physicien et, par la force des choses, devient biologiste (*avatar ci-contre*). Grand, portant des favoris, très volubile, c'est, selon les mots de F. Jacob « *une formidable machine intellectuelle* ». Il a lu Heisenberg et les articles de L. Pauling. Il fait partie de ceux cherchant à se « recaser » après la guerre. À cette époque, il va voir Massey, son patron pendant la guerre, qui le recommande à deux labos et lui conseille aussi de rencontrer M. Wilkins (qui avait travaillé à Berkeley avec Massey pour la séparation d'isotopes, dans le cadre du projet Manhattan, la conception de la bombe atomique). Wilkins travaille alors avec J. Randall (qui avait contribué à l'invention du radar), qui a convaincu le Medical Research Council de recruter des physiciens. Randall dirige le département « biophysique » du King's college.

À l'époque, Wilkins travaille sur un microscope à UV. Crick fait le tour des labos et se fixe pendant deux ans au labo Strangeways, où il étudie les propriétés du cytoplasme. Il rend visite à son patron au moment même où ce dernier étudie la formation d'un laboratoire de cristallographie par rayons X, moyen d'élucider la structure des protéines, au laboratoire Cavendish. Ce coup de chance permet à Crick de demander à intégrer cette nouvelle structure où travaillent M. Perutz et sir W. Bragg, spécialiste des rayons X et prix Nobel à l'âge de 25 ans (il avait partagé le prix avec son propre père). C'est là qu'il se familiarise avec la cristallographie aux rayons X, et à la recherche de la structure de macromolécules, ici l'hémoglobine.

James Watson est un jeune biochimiste américain extrêmement doué, passionné par deux choses : l'ADN et les jeunes filles anglaises. Le biologiste français F. Jacob, qui l'a rencontré à l'époque, en dresse un portrait révélateur dans son livre « la statue intérieure » (*ed. folio, p. 353-354*) : « *long, dégingandé, genoux à l'air, chaussettes aux chevilles (...) les yeux toujours écarquillés, la*

bouche toujours ouverte, proférant de petites phrases hachées ponctuées de “Ha ha !” (...) surprenant mélange de balourdise et de finesse, d’infantilisme dans les choses de la vie et de maturité dans celles de la science ». Lors d’un congrès sur l’ADN, Watson n’écoula rien de ce qui se disait, fasciné par les étudiantes présentes. Lorsque Crick l’interrogea, il lui donna des réponses approximatives, et leur premier essai fut, en partie à cause de cela, un échec. On considérait généralement Watson comme « *trop brillant pour être vraiment sérieux* ».

Maurice Wilkins et son « assistante » Rosalind Franklin, avec qui il entretiendra des rapports difficiles, sont les seuls capables de réaliser des photographies de cristaux d’ADN, en utilisant la diffraction des rayons X, donnant des indications précieuses sur la géométrie de cette molécule.

Lorsqu’elle est arrivée dans le laboratoire de Wilkins, Franklin pensait être un « chef », son égale, et disposer de son propre sujet de recherche, et de ses étudiants à diriger. Elle en avait d’ailleurs un, Raymond Gosling, travaillant avec elle sur la structure de l’ADN au moyen de la diffraction de rayons X en utilisant des formes cristallisées de cette molécule. Wilkins, lui, pensait que Franklin serait une « super-technicienne » sous ses ordres. D’où l’ambiance délétère, voire l’opposition qui régnait entre eux, causée par l’absence de communication et de directives claires de leur « grand patron », Randall. Il est également probable que pour Wilkins, scientifique formé pendant la guerre, une femme ne pouvait avoir qu’une activité subalterne, une attitude qui, même de nos jours, n’a certes pas disparu des laboratoires de recherche, même parmi les plus prestigieux.

Cette mauvaise ambiance poussa Franklin à faire ses valises, et, de fait, lors des recherches sur l’ADN avec Watson et Crick, elle était « sur le départ », désirant rejoindre Bernal pour travailler sur le virus de la mosaïque du tabac.

De plus, les cristallographes, des physiciens, ne voyaient l'ADN que comme une molécule de plus dont la structure devait être déterminée. Ils n'avaient que faire de son importance en biochimie ou génétique. Ils n'étaient donc pas pressés de parvenir à des résultats, car ils savaient que leur démarche, une fois les bons cristaux obtenus, les instruments affinés, les expériences méticuleusement réalisées, ne pouvaient que déboucher sur la découverte de la structure de la molécule étudiée. Ce n'était, pour eux, qu'une question de temps. L'idée de « course » engagée entre Pauling et Watson-Crick leur était étrangère.

R. Franklin, des années après « la course à l'ADN » sera très amie avec F. Crick et surtout avec sa femme, Odile, les deux la soutenant lors de sa maladie (en 1956). R. Franklin ne revendiqua jamais sa part méritée de gloire, déclarant que « *les joies de la science résident dans le travail lui-même, la récompense finale est le progrès du genre humain* ». Comme diraient certains élèves, « total respect »...

Les photographies réalisées par R. Franklin à partir de ses préparations d'ADN étaient d'une qualité exceptionnelle. L'une d'elles, en particulier, la « photo 51 », montrait que la molécule d'ADN a la forme d'une hélice. Toutefois, pour réaliser ces clichés, R. Franklin s'était exposée, sans le savoir, à des doses importantes de rayons X.

Pauling souhaite voir ces clichés, et il est d'ailleurs invité à un congrès scientifique à Londres, en 1952, et pense rendre visite à l'équipe de Wilkins à cette occasion. Malheureusement pour lui, le gouvernement américain va lui refuser son passeport en raison de ses sympathies communistes. Cela n'arrête pas ce scientifique émérite : en 1953, il publie ce qu'il pense être la structure de l'ADN : trois chaînes de ribose phosphate s'enroulant étroitement l'une autour de l'autre, et les bases azotées pointant radialement

vers l'extérieur de ce faisceau. Cette idée totalement erronée s'explique en partie par le fait que Pauling n'avait pas accès aux résultats récents obtenus par Rosalind Franklin à Londres. L'autre raison de l'échec de Pauling et celui, en un sens, de R. Franklin, nous est donnée, des années plus tard, par Watson lui-même. Ce dernier écrira : « *Exposer constamment vos idées à une critique compétente est très important, et j'irais même jusqu'à dire que l'une des raisons pour lesquelles nos deux principaux concurrents ont échoué à découvrir la double hélice avant nous était que chacun était effectivement très isolé. Rosalind Franklin trouvait la discussion maladroite, elle était peu commode (nous avons vu pourquoi), et jusqu'à ce qu'il a été trop tard elle n'a pas réalisé à quel point Francis (Crick) lui aurait volontiers donné de bons conseils. Si elle avait commencé à lui parler, Francis l'aurait amenée à utiliser ses données pour trouver les paires de base.*

Et puis il y a la gloire de Linus Pauling. Linus s'était mis dans une position où tout le monde avait peur d'être en désaccord avec lui. La seule personne qui pouvait librement lui parler était sa femme, qui a renforcé son ego, ce qui n'est pas ce dont vous avez besoin dans ce genre de vie ».

(James Watson. « Réussir en sciences : quelques règles de base », Science, 261, 24 - septembre 1993)

À l'automne 1952, Peter Pauling, un neveu de Linus, est arrivé à Cambridge pour travailler en tant qu'étudiant en troisième cycle. Jerry Donohue, un autre collègue de Pauling au Caltech, est également arrivé en même temps et a été affecté dans le même bureau que Watson et Crick. En conséquence, Peter s'est immiscé dans le groupe. Lorsque L'oncle Linus a proposé son modèle de triple hélice, Peter a clamé partout que le problème était résolu, et a donné une copie de l'article à l'équipe de Londres. Voici comment il le raconte à son oncle, dans une lettre de mars 1953 :

« J'ai donné, surtout à Watson, l'article sur les acides nucléiques (celui qui décrit le modèle de triple hélice de Linus), et après le 12, il l'a montré aux autres. Morris [hum] Wilkins est censé faire ce travail ; Mlle Franklin est évidemment comme folle. Leurs relations sont maintenant un peu tendues en raison de l'arrivée de Watson - Crick sur leur terrain. Ils (WC) ont quelques idées et je vous écrirai au plus vite. C'est réellement à eux, et pas à moi, de vous parler de ce sujet. Nous avons essayé de construire votre structure, et nous y sommes, je pense, parvenu, c'était assez serré. Peut-être que nous devrions essayer la nouvelle. Ils s'engagent de plus en plus dans leurs propres efforts, et perdent leur objectivité. »

Peter Pauling. Lettre à Linus Pauling et Ava Helen. 14 mars 1953

L'équipe londonienne avance par tâtonnements, son premier modèle est réalisé en fait « à l'envers », ce qui amuse beaucoup R. Franklin, qui n'a jamais vraiment pris au sérieux la fine et improbable équipe Watson/Crick, dont en fait elle ne supporte pas les interventions et l'interférence dans ses recherches avec Wilkins.

F. Crick, en analysant les clichés de R. Franklin, découvre qu'en fait l'ADN est une **double hélice**, et Watson montre que le centre de l'hélice est occupé par les fameuses bases unies deux à deux, **A se liant à T et G à C**. La découverte de Chargaff est alors expliquée. Finalement, Jim Watson et Francis Crick, utilisant intelligemment les données de l'équipe de Wilkins et les découvertes de Chargaff, construisent en 1953 un modèle de la molécule d'ADN, qui va se révéler être LE modèle de l'ADN.

Ils se rendent compte immédiatement que leur modèle est correct, exact (c'est-à-dire qu'il correspond à la réalité), car il permet facilement d'expliquer comment l'ADN se recopie et de quoi est constituée l'information génétique. Ce modèle a, depuis, été amplement confirmé.

La molécule d'ADN est donc formée de 2 chaînes qui se font face et sont enroulées en double hélice. Un brin peut être décrit comme une suite de nucléotides, ces derniers constituant l'unité de base de l'ADN et comportant :

- une molécule de sucre (désoxyribose)
- du phosphate (H_3PO_4)
- une des 4 bases azotées (cytosine, thymine, adénine, guanine)

Chacun des deux brins de la molécule est formé d'une chaîne de nucléotides.

Les deux brins sont liés par des liaisons faibles qui unissent les bases azotées deux à deux :

- À est toujours reliée à T,
- C est toujours reliée à G,

et cela, quel que soit l'être vivant considéré, de la bactérie à l'éléphant !

Les deux « brins » se tordent de façon à former une double hélice dont les montants sont une suite sucre-phosphate et les barreaux les couples de base AT ou GC.

Watson, Crick et Wilkins obtiendront le prix Nobel en 1962. R. Franklin étant morte entre temps, elle ne reçut pas cet honneur. E. Chargaff se serait bien vu la remplacer, mais ce ne fut pas le cas.

Watson n'ayant jamais apprécié Franklin (et réciproquement), beaucoup ont voulu la prendre comme exemple de scientifique brimée à cause de son sexe. Ce ne fut pourtant pas tout à fait le cas. Elle eut bien entendu à affronter quelques règlements absurdes (comme celui qui l'interdisait de prendre le café avec les hommes) ou l'hostilité de sa famille envers le travail féminin, mais sans que cela ne lui pèse trop. Si Watson reconnut plus tard qu'il

avait un peu minimisé son rôle, Crick fut bien plus juste à son égard. Nul doute que si elle avait survécu, elle aurait été du nombre des Nobel.

Presque un demi-siècle après sa découverte, J. Watson a rédigé, en guise de mise au point, ce texte : « *Il y a un mythe qui est, vous le savez, que Francis et moi avons pratiquement volé la structure aux gens du King's college. On m'a montré la photo aux rayons X de Rosalind Franklin et, Whooo ! c'était une hélice, et un mois plus tard nous avons eu la structure, et Wilkins n'aurait jamais dû me montrer la chose. Je ne suis pas allé la voler dans un tiroir, on me l'a montrée, et on m'a donné les dimensions, la répétition de 34 angströms, oui, vous savez, je savais à peu près ce que cela signifiait et, euh, mais c'était que la photographie de Franklin a été l'événement clé. Il l'était, psychologiquement, il nous a mobilisés...* »

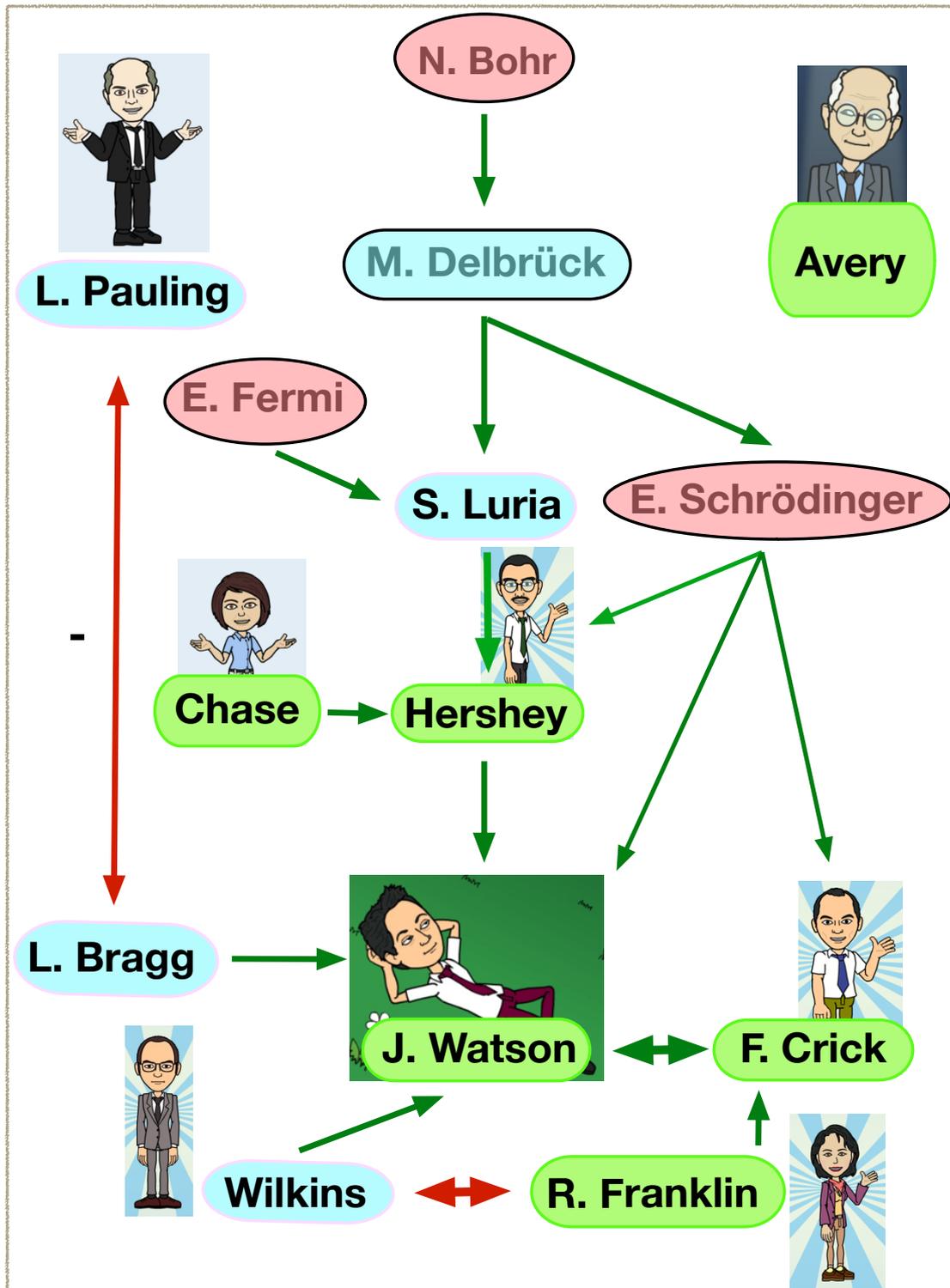
James Watson, Centre for Genomic Research Inauguration, Harvard. 30 septembre 1999

Contrairement à ce qui est souvent écrit et décrit, ce ne sont ni Avery, ni Hershey & Chase qui ont « lancé » l'ADN en tant que support des gènes : c'est la détermination de sa structure qui, montrant immédiatement comment elle pouvait se répliquer, en a fait le support des gènes pour toute la communauté scientifique.

F. Jacob, qui n'avait jeté qu'un œil distrait sur l'article de « Nature » lors de sa parution, décrit ainsi (in *La statue intérieure*) l'exposé par Watson de la structure de l'ADN lors du symposium sur les virus organisé par M. Delbrück en 1953 à Cold Spring arbor :

« *Jim expliqua dans le détail la structure (...) Un instant, la salle resta muette. Il y eut quelques questions, mais pas de critiques. Pas d'objections. Il y avait, dans cette structure, une telle simplicité, une telle harmonie, une telle perfection, une telle beauté même, les avantages biologiques en découlaient avec tant de rigueur, tant d'évidence, qu'on ne pouvait pas ne pas la croire vraie.* »

Ci-dessous : les découvreurs de l'ADN dessinent un réseau intellectuel comprenant des titans de la Physique (en rose), des physiciens/biologistes (en bleu) et des biologistes moléculaires, nouveaux venus de par leur sujet d'étude (en vert). Entre eux, de nombreux liens d'émulation et de soutien (en vert), mais aussi de solides antagonismes et inimitiés (en rouge). Schéma RR, avatars créés avec Bitstrips, sur iPad.



9

Science, social club ?

Où l'on découvre que l'état d'esprit préscientifique, toujours actif, camoufle son obscurantisme sous les oripeaux d'une sociologie malvenue.

Diafoirus, rue de Grenelle

Les Dr Diafoirus de la sociologie nous affirment que la science n'est qu'un discours pas plus valable que la croyance dans la création du monde par le monstre en spaghettis volants.

Les Diafoireux de l'éducation nationale nous enjoignent de laisser tomber les «savoirs savants» socialement discriminants au profits de compétences partagées dans un vivre ensemble permanent.

Ramen ?

Nous avons vu que, dès le projet grec d'explication du monde sensible, la science ne pouvait que s'opposer à la croyance. Cette opposition est certes toujours active de nos jours, sous une forme ouverte, comme le montre le combat contre les différents créationnismes, ou larvée, comme dans certaines dérives d'une écologie dite « profonde » (sans doute parce qu'elle manque de fond) ; mais il est une autre croyance qui mène une guéguerre idéologique contre l'activité scientifique, celle des tenants des « sciences (?) sociales » persuadés d'étudier « la démarche

scientifique » d'un œil sourcilleux, en considérant les sciences comme un ensemble de croyances pas plus respectable qu'un autre, pas plus près de la réalité qu'un autre, pas plus « garanti » qu'un autre par ses démarches particulières : coupant préalablement les sciences de leur emprise sur le monde, tenue pour quantité négligeable, ces relativistes forcenés adeptes délirants du « *tout est bon* » de P. Feyerabend, considèrent que puisque la science n'est qu'un discours, il ne vaut pas plus que les autres modes de discours que sont les religions, les superstitions, les croyances diffuses, les légendes urbaines et autres calembredaines.

En effet, si l'on considère que les sciences n'ont pas de rapport privilégié avec le réel (en s'opposant donc par principe à leur projet fondateur), alors la chimie n'est pas supérieure à la sorcellerie, et l'opinion d'un groupe de pression vaut les preuves scientifiques établies par un comité d'experts, car tout citoyen est promu expert potentiel...

Illustrons le délirium post-moderne par un exemple : dans une assemblée, des doctes discutent d'un important problème : un poisson mort a-t-il le même poids qu'un poisson vivant ?

- Une attitude empreinte de religiosité serait de considérer ce qu'en disent les livres saints, de dissertar vaillamment sur l'âme éventuelle du susdit poisson, et d'en appeler, via des considérations jésuitiques, à une réponse quelconque, et révisable.
- Une attitude plus scientifique consisterait à raisonner « à l'antique », à partir d'observations, pour, en digne aristotélicien, inférer une réponse, pouvant même se révéler sous plusieurs aspects, contradictoire.

- Le scientifique moderne attrape un poisson tout vif, le pèse, l'occis, le pèse à nouveau et compare les deux chiffres. Pour plus de sureté, et pour tenir compte de la marge d'erreur de ses mesures, il fait cela une vingtaine de fois, avec une vingtaine de poissons et fait une moyenne des résultats obtenus. À partir de là, il énonce un résultat (ici sans appel).
- Que nous dit le post moderne ? Il va nous chanter que la notion même de mesure est une convention sociale provenant de la domination gynophobe de mâles hétérosexuels blancs en mal de normalisation pour étendre leur emprise sur le monde ; que la fonction sociale du poisson ne nécessite pas la mesure, acte extérieur à la vision piscicole du monde (qui en vaut une autre), et que, par conséquent, la mesure ne donnera pas un résultat, mais une opinion représentant l'assentiment d'un groupe social défini (les scientifiques), sans rapport avec une réalité qui serait « confisquée » par ces derniers alors qu'elle est partagée également par leurs contradicteurs, dont l'opinion vaut la leur, indubitablement, dans leur domaine de référence qui vaut bien celui de la science (puisque tout se vaut). Un comité citoyen pourra éventuellement se réunir afin de débattre du problème et, par la magie de la production partagée du savoir désincarné (et social), aboutir à un consensus démocratique sur le poids du poisson *ad vitam* et *ad patres*. Peut être même verront nous poindre une critique complotiste de l'acte de mesure, voyant dans la constance du poids défendue par les scientifiques une façon indue de maintenir le prix au kilo de la morue morte par rapport à la morue vivante ; le tout au bénéfice du grand capital ; qui sait. J'exagère à peine.

Les professeurs, même ceux ignorant tout du postmodernisme, auront peut être reconnu ce genre de pseudo-raisonnement alambiqué, surtout s'ils ont fréquenté assidument les bancs de feu les IUFM, où ceux de nos modernes ESPE (écoles « supérieures » du professorat et de l'éducation, pour les non-familiars de l'administration française). Nous y retrouvons en effet tous les mantras de la pédagogie constructiviste, qui règne sur le ministère depuis des décennies, décide de la validation des professeurs et influence, pour le meilleur (?) et pour le pire (trop souvent) l'enseignement des lettres (les pauvres) et des sciences. Qu'y retrouvons-nous ? Des notions comme :

- ▶ La « participation » des « citoyens », une vision participative des sciences, qui se traduit dans l'enseignement par l'obligation faite aux enfants (pardons, aux zap-prenants) de construire absolument par eux même leurs connaissances et d'être reconnus comme étant les égaux, voire les pairs du professeur, simple « personne ressource ».
- ▶ La « coproduction des savoirs » qui n'est autre que cette démarche qui verrait des groupes d'élèves produire « du savoir » (et ses nombreuses déclinaisons jésuitiques du genre savoirs-savants, savoir-faire, savoir-être, compétences contextualisées ou non...). La distinction entre le professeur et les élèves disparaissant dans cette sarabande pseudo-démocratique où tous deviendraient des coproducteurs de savoirs s'ébattant librement dans la galaxie des compétences...
- ▶ La « mise en controverse », souvent nommée « conflit sociocognitif », visant à résoudre une opposition, réelle ou fantasmagique, entre les connaissances a priori de l'élève qui s'opposeraient à celles que l'enseignant veut inculquer (*au cas où un professeur ignorerait que l'enfant, ou l'étudiant, a déjà ses opinions et idées préconçues avant de venir en cours*). Dans le cas où il n'y aurait pas de conflits, le professeur est prié, au moyen de formulations

alambiquées, d'en créer un. Dans le cas où il existe autant de conflits que d'élèves, on est prié de considérer le point suivant : le relativisme.

► Le relativisme : l'enfant à une opinion sur ce qui va être étudié. Très bien. Il faut en tenir compte, c'est vrai. Mais ce que le professeur va tenter de lui apprendre est aussi, pour nos pédantesques Diafoirus, une opinion (agrémentée parfois d'un fond de lutte des classes bien marxisante, tendance Groucho, du genre opinion de la classe bourgeoise dominante visant à proroger ses privilèges par le musellement de la classe ouvrière - vous aurez tous reconnu l'enseignement de l'orthographe). Toutes les opinions se valent, toutes les croyances aussi, nous n'essayerions que de prolonger un système de croyances qui doit s'imposer à celui de l'élève. Voilà le fond des « compétences » : ne plus enseigner des connaissances, mais un conformisme comportemental, qui, pour peu qu'il soit validé, peut conduire n'importe où, puisque, de toute façon, toutes les opinions sur la réalité ont même valeur...

Les pseudosciences de l'éducation, qui servent de base à sa (dé)construction (post)moderne, montrent bien toutes les marques du postmodernisme. On y retrouve en effet :

- ✓ **un rejet plus ou moins explicite de la tradition rationaliste** des Lumières et de l'enseignement qui en découle, au profit de valeurs dites « citoyennes » visant à imposer une école du « partage » et du « vivre ensemble » prenant le pas sur la transmission des savoirs, activité de plus en plus accessoire dans l'enseignement postmoderne...
- ✓ **Des constructions théoriques indépendantes de tout test empirique** ; car les différentes modes issues de l'imagination fertile des pédagogues bien en cours ne sont jamais clairement expérimentées (sauf, hélas, lorsqu'elles sont

imposées et généralisées), comparée à une classe « témoin », et leurs bénéfices et défauts éventuels clairement mis en valeur : un discours autoréférent tient lieu de justification. On peut établir un parallèle saisissant entre cette attitude et celle de certains penseurs du 12^e siècle, comme Adélard de Bath, vers 1100, ou Guillaume de Conches : ces derniers, tout en doutant fortement du témoignage des sens, « proposaient » des expériences, mais il ne les réalisaient jamais : persuadés, comme nos pédagogues postmodernes, de connaître leur résultat par le seul raisonnement platonicien, leur incarnation était superflue (*ainsi, Adélard est persuadé que même en utilisant de la terre finement tamisée, ne contenant aucune graine, des plantes se mettront à germer et à croître de par leur génération « divine » à partir des 4 éléments présents. Il n'a jamais pensé à réaliser vraiment cette expérience. La penser suffit. Amen*).

- ✓ un **relativisme cognitif** pour lequel les sciences sont des « narrations », des constructions sociales parmi d'autres : l'opinion de l'élève vaut celle de l'enseignant tout comme, pour le postmoderne, celle de l'homme de la rue vaut celle du « savant ».
- ✓ un **relativisme culturel** qui implique de considérer chaque option philosophico-religieuse des familles d'élèves comme étant légitime, et de rechercher des conciliations jésuitiques au cas où les matières enseignées puissent froisser les susceptibilités et les croyances : si la science n'est qu'une croyance ; l'enseignement devient une simple affaire de divergence d'opinions, et on peut alors sécuriser les familles en leur affirmant que leurs enfants ne vont jamais que devoir se conformer à une opinion majoritaire, ce qui va les conforter *in fine* dans l'idée que leur opinion, tout aussi respectable, pourra elle aussi devenir un jour majoritaire. Et la réalité dans tout ça ? Pour les postmodernes il s'agit : « *d'un simple accord, voire un*

compromis, entre les membres d'un même groupe social ou une utilité pratique en vue d'un objectif précis. » Si l'objectif change, les vérités changent.

Le lecteur attentif (un autre serait-il allé aussi loin dans sa lecture ?) va sans doute remarquer que l'attitude des postmodernes lui rappelle quelque chose... voyons... le monde, la nature qui n'existerait pas en soi, mais serait le résultat d'une discussion, d'un concordat... Mais oui, c'est exactement une attitude religieuse envers la nature : les postmodernes ne sont, en fait, que des pré-scientifiques nageant en plein paganisme intellectuel, rejetant toute objectivation du monde au profit d'une subjectivation qui... Hum, non, j'avais dit que je ne voulais pas jargonner comme eux (*relever les miettes tombées de leur table*, aurait dit le Zarathoustra de Nietzsche, un vrai philosophe, lui). Alors disons qu'ils sont anti réalistes : les lois de la nature sont pour eux de simples conventions sociales (oui, je sais, c'est aussi stupide que l'eucharistie, mais ils y croient !). Ils l'affirment eux même : « *la validité des propositions théoriques dans les sciences n'est affectée en rien par des preuves factuelles* » et, pour le fun : « *Le monde naturel joue un rôle mineur, voire inexistant dans la construction du savoir scientifique.* »

(Citations tirées de A. Sokal ; Pseudosciences et postmodernisme : adversaires ou compagnons de route ? Odile Jacob, 2005.)

Il est cocasse de voir ces pseudo-penseurs nous ressortir que les lois de la nature sont des conventions sociales lorsque l'on sait que l'idée de loi a son origine, en effet, dans les conventions sociales de la cité état grecque : ils pensent énoncer de mirifiques nouveautés nouvelles, ils ont simplement 26 siècles de retard, n'ayant pas encore opéré la scission entre la loi humaine et celles du monde. La réalité est pour eux affaire de compromis et de

point de vue. Au nom de ces conceptions archaïques, ils en appellent à une « nouvelle science » (ou à ses épigones : une « science autrement », par exemple) ; ils favorisent l'émergence d'une « nouvelle » science : la science « citoyenne », oublieuse que les temps où l'on s'apostrophait du nom de « citoyen » ne furent guère marqués par une exaltation particulière de l'idéal démocratique.

Et je vis une science nouvelle...

Dans cette science « nouvelle », **l'opinion fait loi**, mais loi de la nature : l'expertise n'est plus reconnue, **la connaissance inutile** si elle n'est partagée. Et si elle n'est pas « partageable », car trop difficile pour le commun ? Alors elle est déclarée, de fait, sans intérêt.

Certains lecteurs (et lectrices) peuvent croire que j'exagère, que personne ne votera jamais pour savoir si $E=1/2 mv^2$ ou pour définir les modalités de la synthèse des protéines. Hé bien non seulement cette horreur est possible, mais elle est même probable.

Donnons un exemple de ce que l'attitude du « vivre ensemble » poussé à l'extrême peut faire en sciences. Thomas Lepeltier, un « philosophe » qui n'a rien d'un ignare, a commis un livre, d'ailleurs intéressant, sur l'opposition entre créationnistes et « Darwiniens » (en fait, les scientifiques partisans - c'est à dire tous - de la théorie de l'évolution moderne, ainsi nommée). A la fin de cet ouvrage (*Darwin hérétique*, éd. Seuil), j'avais ressenti un certain malaise : l'auteur me semblait appeler à une espèce de « concordat darwinien », renvoyant dos à dos créationnistes et scientifiques anti-crétionnistes, et sommant ces derniers d'être moins sectaires... Deux ans plus tard, mes craintes ont été confirmées : le même auteur a fait paraître un « *vive le créationnisme - point de vue d'un évolutionniste* » où il en arrive à

considérer que le créationnisme est bien une science, mais qu'elle est réfutée. Inutile de dire que cet opuscule a obtenu une grande audience dans tout le marigot créationniste francophone (rassemblant pour le moment trois pelés et deux tondus, ou peu s'en faut). L'auteur nous affirme que les approches créationnistes sont bel et bien scientifiques, mais qu'elles sont réfutées. Il glisse ensuite doucement sur le fait que si on ne reconnaît pas aux créationnistes le statut de « scientifiques dans l'erreur », alors on « sacrifierait » la science. Quel rapport, M. le « philosophe » ? Citons-le (SPS n° 295, avril 2011) : « *un promoteur du dessin intelligent ne dit pas que Dieu est un mécanisme de l'évolution ; il dirait plutôt qu'une cause intelligente est responsable de certaines étapes de l'évolution* ». Sans blague. Et la « cause intelligente, ô philosophe, qui est-ce ?

Le biologiste J. Monod, dans son livre *le hasard et la nécessité*, a bien cerné le problème. Que dit-il ? « *C'est bien au message essentiel de la science que s'adresse le refus. La peur est celle du sacrilège : de l'attentat aux valeurs. Peur entièrement justifiée. Il est bien vrai que la science attende aux valeurs. Non pas directement, puisqu'elle n'en est pas juge et doit les ignorer ; mais elle ruine toutes les ontogénies mythiques ou philosophiques sur lesquelles la tradition animiste, des aborigènes australiens aux dialecticiens matérialistes, faisait reposer les valeurs, la morale, les droits, les interdits.* »

Toute explication du monde qui fait appel à une transcendance n'est pas scientifique. Voici ce que certains « philosophes » veulent sacrifier au nom du « vivre ensemble ». Quant à la pauvre argumentation (« *vous dites que ce n'est pas scientifique parce que pour vous scientifique = vrai, ce qui est dangereux et sacrifiant* ») elle est aisée à réfuter, en se basant d'ailleurs sur l'histoire des sciences et leur déroulement actuel. Ainsi, la théorie des humeurs, en médecine ; et celle des quatre éléments, en

chimie, étaient indubitablement scientifiques. Elles permettaient une explication du monde sans faire appel à une divinité (pardon, une “cause intelligente”) quelconque. Actuellement, en physique, s’affrontent plusieurs théories sur la structure ultime de la matière : supercordes, gravité quantique à boucles... autant de théories indubitablement scientifiques, concurrentes et qui s’excluent. L’avenir parlera. En sciences de l’évolution même, le débat est rude sur l’importance relative de certains mécanismes de spéciation, ou l’évolution de la lignée humaine, ou la façon dont les gènes se sont transmis à l’aube de la vie : dans tous les cas, on est dans le cadre scientifique. Ce que voudrait Lepeltier et ses séides bienpensants, c’est que pour pouvoir “vivre ensemble” avec les créationnistes, il soit légitime de considérer le monstre en spaghettis volants comme une cause scientifiquement défendable de phénomènes observables. Nous n’en sommes pas la, heureusement, mais cette offensive n’augure rien de bon, tant est puissante cette idéologie du “vivre ensemble”, mais avec n’importe qui, et à n’importe quel prix.

Parfois, les pouvoirs publics soutiennent cette remise en cause : le conseil régional d’île de France, disposant sans doute d’un excédent de ressources financières, a ainsi financé un “machin”, le “Partenariat institutions-citoyens pour la recherche et l’innovation” (PICRI pour les intimes) qui sert uniquement de caisse de résonance aux mouvements antisciences et “pronature” ; et on assiste à la multiplication des “comités (que l’on n’ose pas encore dire ‘de science publique’) ou l’on pérorer sur ‘l’acceptabilité’ de telle ou telle recherche *ou résultat*. Ces activistes veulent orienter la recherche selon leur bon vouloir, et lui imposer, avant même qu’elle ne se déroule, les éléments qu’elle doit découvrir : ce sont ceux qui ont été démocratiquement déterminés par le débat citoyen...

Ces assemblées pseudo-scientifiques d'un nouveau genre (quoi que Lyssenko s'y sentirait fort bien), donnent un poids déraisonnable et décisionnel à des gens reconnus non à cause de leur compétence, mais parce que, justement, ils sont incompétents.

On pourrait même dire de la 'délégitimation' du professeur, entreprise ces dernières années ; ce dernier ne devant plus enseigner, dispenser son savoir, mais juste vérifier les conditions de sa création citoyenne chez et par l'apprenant ; annonce la délégitimation du chercheur, du scientifique, de l'expert, qui ne saurait être reconnu intellectuellement supérieur (parce que c'est là que le bât blesse !) dans un monde à l'idéal démocratique fantasmatique qui, pour affirmer son relativisme radical, veut faire de tous les 'citoyens' les membres d'une république intellectuelle de l'égalité des compétences : de là, l'imposition des compétences à l'école en lieu et place des connaissances ; de là, la perte de la distance intellectuelle entre le maître et l'élève, et l'apparition de toute une génération qui, maintenue loin du concept de l'expertise de quelques-uns, croit réellement que le savoir peut être, sans efforts ni investissement personnel, un dû démocratique donnant droit à décision. On peut d'interroger : à quand le partage citoyen du pilotage des avions de ligne ? Celui des interventions chirurgicales ?

Seulement voilà : contrairement aux arguties postmodernes, autoréférencées et nombrilistes, la science se démarque par une déraisonnable (à leurs yeux) efficacité : au travers des techniques qui en sont dérivées, **elle démontre, par son emprise sur le monde sensible, à la fois l'existence de ce même monde et surtout la validité intrinsèque de son approche.** De là une grande détestation de la technique dans ces milieux 'postmodernistes', de là une soi-disante opposition soigneusement entretenue entre une 'gentille' science, réduite à un discours sans

emprise autre qu'idéologique sur le monde (*ce qui est commode pour la considérer comme un système de croyances comme un autre, ne valant donc pas plus que les autres, car tous sont, par essence, égaux et légitimes aux yeux de nos modernes Diafoireux et de leur casuistique*) et une 'sale' technique dotée de tous les défauts de la Terre, puisque s'immiscant partout dans le monde sensible, accusée de tous les maux et responsable fantasmé d'une hypothétique sortie de l'âge d'or : si la science est l'arbre de la connaissance (déjà suspect pour les religions), la pomme qui nous aurait fait quitter le vert paradis des idées platoniciennes pour entrer dans un matérialisme aussi rébarbatif que foncièrement athée ne saurait être que l'impure technique.

Tranchons une bonne fois ce nœud vipérin :

Sciences et techniques ne sont que les deux faces d'une même pièce, l'une ne progresse pas sans l'autre, il est aussi illusoire de vouloir une science sans technique, ce qui signifie sans moyens d'étude et de vérification, que de penser une technique sans science, c'est à dire sans rationalité.

Lorsque Max Planck travaillait pour établir les quanta, c'était dans le cadre d'études financées à la fois par le gouvernement et par l'industriel Werner von Siemens.

L'histoire de la découverte de la cellule nous montre combien science et technologie progressent de pair : l'amélioration des microscopes a permis l'amélioration des découvertes de la structure cellulaire, mais l'amélioration de ces microscopes découlait de travaux fondamentaux en optique, et d'amélioration de procédés industriels de fabrication : **la science fait progresser la technique, la technique fait progresser les sciences**, les deux sont unies et ne peuvent n'être artificiellement séparées que par ceux qui en sont restés à un idéalisme platonicien, ou bien par ceux qui rêvent d'un *aggiornamento* de la

découverte scientifique : sans technique, la science n'est qu'un discours creux, car seule la technique permet l'expérience, l'action sur le monde et l'irrésistible immixtion de ce dernier dans le processus scientifique qui ne peut, de ce fait, qu'être réaliste et matérialiste, ce qui bien entendu le rend incompatible avec les approches spiritualistes du monde, et les différentes religiosités se mêlant d'explicitement la nature.

De là, aussi, découle la suspicion générale contre la technique des différentes religiosités, des croyances, comme l'écologie postmoderne, de certains 'beaux esprits', tout empreints de classicisme, et qui voudraient tellement pouvoir continuer à raisonner dans l'empyrée sans que les 'ignobles' faits matériels ne les forcent à 'toucher terre', c'est à dire, en fait, à interagir avec la matière, à reconnaître le monde dans sa réalité, dans son épaisseur, dans sa complexité qui ne trouve une démarche à sa mesure que dans le projet scientifique, aventure merveilleuse qui, débutée voici 26 siècles, continue de motiver l'ardeur, de rappeler l'impétueuse vaillance des femmes et des hommes qui s'interrogent rationnellement sur le monde et dont la démarche féconde a déjà tant fait avec si peu de moyens.

La participation à ce fantastique projet humain commence dans nos salles de classe. J'espère, au bout de ce petit ouvrage, avoir pu motiver professeurs et étudiants pour qu'ils puissent inscrire leur enseignement dans la réalité historique de la recherche, dans une perspective faisant des sciences les composants principaux, et inaliénables, d'une aventure humaine qui ne fait que commencer.

R. Raynal

Construisons des exercices

«Les gens qu'on interroge, pourvu qu'on les interroge bien, trouvent d'eux-mêmes les bonnes réponses»

Socrate



Socrate venant d'annoncer à ses étudiants qu'il va à présent devoir pratiquer l'enseignement par compétences, afin d'espérer parvenir à la hors classe avant une retraite définitive.

Voyons, par l'exemple, comment on peut utiliser l'histoire des sciences pour construire des exercices (vous pouvez, moyennant quelques ajustements, les renommer « problèmes » ou « tâches complexes » selon votre chapelle pédagogique).

Exemple A

Utiliser les expériences de Priestley sur le phlogistique.

On commence par présenter le travail, l'époque et les conditions.

Souvent, les élèves croient que les réponses sont simplement à recopier dans le texte, un automatisme acquis dans certaines classes et disciplines...

1 - Le 7 août 1774, Joseph Priestley, cherchant à étudier les relations entre l'air et les êtres vivants, place des plantes vivantes sous une cloche en verre fermée, hermétiquement. Il introduit une bougie dans la cloche, et la laisse brûler jusqu'à ce qu'elle s'éteigne. Il laisse les plantes sous la cloche pendant 10 jours. Il parvient ensuite, sans ouvrir la cloche, à rallumer la bougie qui brûle de nouveau comme au début de l'expérience.

Commençons par une question assez simple, où l'on attend une certaine distanciation par rapport au texte, et que les connaissances de chimie soient réinvesties, comme on dit :

11 - pourquoi, au début, la bougie s'éteint-elle ?

Soyons maintenant un peu plus direct. La question posée est vaste, et les élèves peuvent y répondre avec toute une gamme d'hypothèses. Il est très formateur de faire travailler leur imagination, et on peut donc, par exemple, demander pour la question suivante deux réponses

différentes... (et éventuellement de concevoir ensuite des expériences pour choisir, voire de les faire... tout dépend du niveau enseigné et du temps et de l'équipement disponible).

12 - pourquoi la bougie peut-elle être rallumée au bout de 10 jours ?

Rappelons brutalement à nos apprenants que Priestley était anglais, et que cette langue est celle de la science :

13 Priestley résume ainsi ses conclusions : « *that process in nature by which air rendered noxious by breathing, is restored to its former salubrious condition* ». Traduisez.

J'entends d'ici éructer les Burgraves des sciences de la déséducation : « mais ce n'est pas une question de sciences », « vous évaluez quelque chose que vous n'avez pas enseigné », et autres arguties pédagogo. Soyons clairs : au minimum, on s'adresse à des élèves de troisième. Ils ont fait 4 an d'anglais. « À quoi ça sert », demandent-ils souvent. Maintenant, ils le savent ! Pensez aussi interdisciplinarité, et tout simplement lien entre les conditions modernes de la science et son enseignement, tiens.

14 Pour Priestley, les plantes débarrassaient l'air d'un produit toxique qu'il appelait le phlogistique. Ce produit est une partie de l'air. Priestley vérifie qu'il obtient les mêmes résultats en remplaçant la bougie par des souris : elles meurent tout d'abord, puis, après quelques jours, de nouvelles souris introduites dans la

cloche peuvent de nouveau y respirer quelque temps. Priestley pense donc que les plantes ont utilisé la partie toxique de l'air pour assurer leur croissance. Les plantes ont « fixé » cet « air », qu'il appelle donc « fixed air ». Quel est le nom moderne de ce produit ?

Là, il faut que notre élève réfléchisse un peu plus. Il est souvent désorienté par le terme « fixed air ». À lui de convertir ce qu'il sait en langage moderne pour comprendre l'observation historique. Cela montrera qu'il a bien intégré ce qu'est le CO₂.

Franchissons maintenant un palier de difficulté avec la suite de cet exercice, toujours basée sur des faits réels.

Exemple B : de la Reproductibilité des expériences.

Scheele, un pharmacien suédois, tente de reproduire les expériences de Priestley. Il utilise lui aussi une cloche hermétique contenant des plantes, mais il ne parvient pas à refaire brûler une bougie, ni même à permettre à des souris de respirer de nouveau dans la cloche. Au contraire de Priestley, il conclut que les plantes **produisent** le « fixed air » toxique.

Deux expériences identiques donnent donc des résultats opposés... Mais un détail a échappé autant à Priestley qu'à Scheele : ce dernier, plus pauvre que Priestley, est plus mal logé, et a par conséquent réalisé ses expériences dans une pièce très mal éclairée... Que c'est il donc passé ?

Ici notre élève, mis en condition par les questions précédentes, va devoir trouver une explication à ce problème de reproductibilité. Il va falloir faire des hypothèses pertinentes. Selon le niveau et ce que l'on souhaite évaluer, on peut même en demander plusieurs, qui sait...

Si vous désirez d'autres exemples d'exercices conçus sur des documents historiques ou basés sur l'histoire des sciences, mes manuels libres et gratuits de SVT quatrième, troisième et seconde en contiennent environ une centaine chacun. Avec leurs corrections.

FUN FACTS

Les élèves (et les étudiants) apprécient les petites histoires liées à des dispositifs ou des réactifs d'utilisation courante. En voici quelques-unes...

Récupérer les gaz

John Mayow, en 1674, invente le procédé de récupération d'un gaz sous l'eau. C'est Robert Hooke qui en réalise une première démonstration à la Royal Society un an plus tard. Quelques années plus tard, Cavendish améliorera la méthode en remplaçant l'eau, dans laquelle des gaz peuvent se dissoudre, par du mercure.

Azote ou nitrogène ?

En 1783, le chimiste Lavoisier montre par des expériences ou les volumes et les masses des produits sont, pour la première fois, précisément mesurés, que l'air est un mélange de deux « gaz », un respirable, minoritaire et l'autre non.

- Lavoisier nomme le gaz respirable oxygène, parce que si on le combine à d'autres éléments, il forme des acides [oxygène = *oxus* (acide) + *genome* (engendrer)]

- Le gaz « non respirable » tue les animaux. Il est « contre la vie ». Ce gaz est donc appelé azote = *a* (contre) + *zooé* (vivre). Lavoisier a rédigé toute une nomenclature chimique logique, mettant fin aux fantaisies poétiques issues de l'alchimie, et qui toujours utilisée. Toutefois, c'est un révolutionnaire (il finira

guillotiné), et donc les Anglais, ne voulant pas favoriser les travaux d'un français, ne suivent pas toujours ses choix.

Ainsi, l'azote peut aussi s'obtenir en faisant réagir de l'acide nitrique sur des matières animales. De là son nom, toujours utilisé, dans les pays anglo-saxons : le nitrogène (nitrogen), un nom qui signifie « engendré par l'acide nitrique », et qui perpétue l'opposition entre l'Angleterre royaliste et la France républicaine !

L'eau de chaux. (Rencontre avec Joseph Black)

Vers 1755, l'écossais Joseph Black, qui fait partie des scientifiques effectuant des recherches sur les constituants de l'air, remarque que le gaz contenu dans l'air expiré, celui libéré lors de fermentation ou au cours de la combustion du charbon agissent de la même manière dans une cloche de verre étanche : ils éteignent une bougie allumée et tuent une souris vivante. Black découvre que s'il fait passer ces gaz dans de l'eau de chaux claire, celle-ci se trouble, devenant opaque comme « du lait dilué ».

Ayant découvert cette propriété de l'eau de chaux, Black réalise une expérience pour vérifier si ce « fixed air » est rejeté tout le temps dans l'atmosphère : il relie un tuyau d'évacuation au toit d'une église, l'extrémité du tuyau arrivant dans une auge remplie d'eau de chaux claire. Lorsque l'église se remplit pendant quelques heures, il pompe l'air de l'intérieur de l'église dans l'eau de chaux : celle-ci se trouble. Les humains, comme les souris, le charbon qui brûle ou le vin qui fermente, produisent donc du « fixed air ».

Exemples de questions si on veut transformer cette anecdote en exercice :

*1 - pourquoi la cloche ou le gaz est libéré doit elle être en verre ?
(Évident, mais il faut toujours une question... « évidente »... les élèves sont surprenants !)*

2 - quel est le nom moderne du « fixed air » produit par les différents mécanismes mentionnés dans le texte ?

3 - (en seconde) : donner le bilan des réactions de respiration et fermentation. Souligner les points communs.

Lamelles

En 1750, Jan Ingen-Housz, médecin anglais d'origine néerlandaise, qui a découvert la photosynthèse, va améliorer l'utilisation du microscope en inventant un accessoire toujours utilisé : la lamelle de verre.

Bibliographie sommaire

Pour écrire ce petit livret, j'ai lu bien des livres et consulté bien des sites, notés dans le texte. Voici simplement ceux qui m'ont semblé les plus importants :

Adam Hart Davis : **Science : The Definitive Visual Guide** - DK, 2011

Annales manuscrites de l'Hotel de Ville de Toulouse, 1619, T. VI, fol. 13-14.

Bachelard G. **Le nouvel esprit scientifique** - Vrin, 1975

C D de Witt - **histoire du développement de la biologie** (3 tomes). Presses universitaires romandes, 1993

Canguilhem G. « **Modèles et analogies dans la découverte en biologie** - Etude d'histoires des sciences, Paris, Vrin, 1975

Chieng A - **La pratique de la Chine** en compagnie de François Jullien , Poche, 2007

Cosandey D - **Le secret de l'occident**. Ed Flammarion, coll. Champs, 2007

Crick F. **Une vie a découvrir**. Odile Jacob, 1989

Hendrik Cornelius Dirk de Wit. **Histoire du développement de la biologie** - Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), 1993, vol 1 & 2.

Greenfield S, Singh S., Tallack P : **L'aventure des sciences** - EDDL

Hasnaoui A. **Pythagore. Un dieu parmi les hommes**, Ed. les belles lettres, 2007

Heisenberg W. **Le manuscrit de 1942**. Allia, 2003

Jacob F. **La statue intérieure**. Folio, 1990

Jacob F. **La logique du vivant**. Gallimard, 1976

Koyré A. **Du monde clos à l'univers infini**, Gallimard, ed. 2009.

Lakatos I. **Preuves et réfutations**, Hermann, 1984

Lloyd - **Origine et développement de la science grecque** - Flammarion, 1999

Monod J. **Le hasard et la nécessité**. Seuil. Point sciences, 1973

Morange M. **Histoire de la biologie moléculaire**. La découverte, 2005

Needham J. - **La tradition scientifique chinoise**. Éd. Hermann, 1974

Raynal R. **Manuels libres & gratuits de quatrième, de troisième et de seconde en SVT**. iTunes store, 2008 - 2011

Raynal R. **R. Hooke, ou les promesses de la technique pour les sciences de la nature**. Itunes store, 2008

Retorica Christiana, Didacus Valdes, 1579

Russel B. **Science et religion**. Folio, 1990

Schrödinger E. **Qu'est-ce que la vie**. Seuil, 1993

Serres M. **Éléments d'histoire des sciences**. Bordas, 2003

Watson JD. **La double hélice**. Hachette, 1999

Weiwei Guo - **Canons Mohistes : Une nouvelle lecture de la logique chinoise**. 2011, Éd. universitaires européennes

Annexe:

Les textes antiques

« Que la femme écoute l'instruction en silence, avec une entière soumission. Je ne permets pas à la femme d'enseigner, ni de prendre de l'autorité sur l'homme, mais elle doit demeurer dans le silence »

1 Timothée 2 :11-12

Une façon comme une autre pour que l'interpénétration des magistères soit limitée, non ?

Tout ce que nous savons des connaissances scientifiques de l'antiquité grecque est lié à la transmission des œuvres qui y ont

été rédigées. Or, en fait, il ne nous reste presque rien de cette époque. Ce qui subsiste, fruit des outrages du temps, de la bêtise des hommes et de l'obscurantisme religieux (pléonasme), ne nous donne sans doute qu'une vision très déformée de l'activité scientifique antique. J'ai donc cru bon de préciser dans cette annexe quelques faits sur la conservation des textes antiques. J'y ajouterai quelques éléments sur la façon dont, jusqu'à notre époque, ont été traités les textes scientifiques, une façon supplémentaire de souligner l'irréductible antagonisme entre le totalitarisme religieux et l'humanisme scientifique.

Des textes antiques

Les textes écrits ne se répandent en Grèce que vers -500, auparavant, c'est la tradition orale, qui exige des rimes pour faciliter la mémorisation, d'où le développement de la poésie et des chants.

La transmission de l'essentiel des textes doit beaucoup aux bibliothécaires et spécialistes de la grande bibliothèque d'Alexandrie, vers -300, qui ont effectué un énorme travail de normalisation : ils recevaient des copies de qualité inégale, qu'ils ont corrigées, traduites en grec ionique (d'où certaines erreurs), rétablies dans leur forme d'origine et classées.

Toutefois, certains textes étaient déjà perdus, ou possédaient des sens différents : il faut savoir que la séparation entre les mots n'est apparue qu'au moyen âge, tout comme les accents, et la ponctuation était pour ainsi dire inexistante. Si l'on veut en faire l'analogie, un texte grec se présentait ainsi :

UNTEXTEGRECSEPRESENTAITAINSI

À l'époque romaine, la majorité des lecteurs ignorait le grec, d'où le succès, à l'époque, des commentaires, des extraits traduits, des textes annotés et des citations. De nombreux textes ne nous sont connus que de cette façon.

Vers l'an 200, « grâce » aux invasions barbares et à l'attitude de l'Église, il n'existait quasiment plus de lecteurs, hormis quelques rares érudits aux goûts éclectiques, qui établirent des anthologies. L'enseignement chrétien favorisant la rhétorique, quelques modèles anciens ont été conservés favorisés, ce qui a sauvé Platon, Démosthène et Xenophon.

De plus, cette sélection intellectuelle s'est doublée d'une sélection physique des ouvrages : tout comme dans l'informatique moderne, où les changements de normes et de formats incompatibles entraînent des pertes de données, le changement de support des textes a été l'occasion de nombreuses pertes.

Des changements de supports

Papyrus & tablettes

Comment se présentait un papyrus ? Si vous pouvez aller au British Museum, vous pourrez voir le Papyrus d'Ani, décrivant le livre des morts. Bien qu'il ait été stupidement découpé, sa dimension originelle était de 23 m de long sur 40 cm de haut. C'est une œuvre d'apparat. Dans l'Égypte ancienne, le papyrus était vendu le plus souvent en rouleaux de 10 m de long environ et de 20 à 25 cm de haut.

L'œuvre y est écrite en colonnes de 5 à 10 cm de large, sur toute la longueur du rouleau, un livre comprenant généralement plusieurs rouleaux. L'encre utilisée est très noire. Un rouleau porte le nom de *volumen*, qui nous est resté, toute comme *papyrus* nous a donné papier.

Ces rouleaux étaient très malcommodes : ils se déroulaient souvent de façon intempestive et s'entortillaient autour du lecteur ; il fallait utiliser ses deux mains pour les tenir et de plus ils étaient fragile, les différentes bandes collées constituant la feuille tendant à se désolidariser, et ils se déchiraient facilement. D'ailleurs, pour établir des comptes ou des statistiques, Grec et Romains utilisaient plutôt de grandes feuilles carré, bien plus commodes, comprimées entre deux couvertures de bois ou de métal, les *quadrati codices*.

L'essentiel des textes découverts sur papyrus nous provient d'Égypte, où la chaleur et la sécheresse permettent leur conservation (*sauf destinée exceptionnelle comme celle des papyrus d'une villa romaine d'Herculanum, ensevelis, en partie carbonisés mais protégés lors de l'éruption du Vésuve en 79, et partiellement restaurés et dégagés*). Bien que certains papyrus proviennent de tombeaux, ou du décorum qui entourait les momies, la plupart ont en fait été découverts dans les anciennes... poubelles !

Beaucoup des papyrus contenant des textes littéraires ou scientifiques sont des « livres scolaires » qui contenaient des extraits d'œuvres grecques, base de l'éducation dans l'Égypte des Ptolémés (après -322 et la conquête par Alexandre). Visiblement, les écoliers antiques prenaient apparemment le même soin de leur matériel scolaire que les modernes, ce qui semble démontrer que, contrairement aux assertions des pédagogistes, ils n'ont donc pas vraiment changé, au fond, en 2500 ans...

Pour prendre des notes, on n'utilisait pas le papyrus, mais des tablettes de cire, chez les Romains, d'où le verbe *exarare*, qui signifie écrire, mais dont le premier sens est labourer, car le stylet laboure la cire... Hors du climat de son Égypte natale, les papyrus se dégradèrent rapidement, et étaient très fragiles. Ils affrontèrent alors la concurrence des codex.

Les premiers livres de peaux

Le livre, « codex » commence à se développer vers l'an 100, puis remplace vraiment le papyrus entre 200 et 400. Ils sont écrits sur des parchemins (peaux d'animaux) dont l'origine est amusante : craignant que la bibliothèque de Pergame ne surpasse celle d'Alexandrie, les Égyptiens avaient alors interdit l'exportation du papyrus. Pour le remplacer, les autorités de Pergame promurent la « peau de Pergame », *pergamena*, qui nous a donné le mot parchemin. C'était un support extrêmement résistant et durable, mais aussi extrêmement onéreux.

Hélas, de nombreuses œuvres n'ont pas alors été jugées dignes d'être recopiées sur parchemin, et certaines ne l'ont été que partiellement, car les papyrus étaient incomplets.

Le total manque d'intérêt des chrétiens pour tout ce qui avait précédé le christianisme (cette volonté « *du passé, faisons table rase* » se retrouve dans toutes les expressions de l'obscurantisme religieux, même à notre époque...) a abouti à ce que ne soient recopiés que les textes les plus utilisés pour l'enseignement.

L'Empire byzantin a joué un temps un rôle de refuge, mais vers la fin du 6e siècle, il y eut une éclipse de 300 ans de l'intérêt pour les textes antiques. Des érudits comme Arethas ou Photius rassemblèrent le plus possible de textes antiques, mais le passage du papyrus, devenu rare, car moins cultivé, et moins accessible vu que l'Égypte était devenue arabe en 641, au parchemin imposa un choix drastique, car le parchemin est rare et cher (écrire les textes latins classiques réclame la peau de 1500 veaux...).

Les textes latins n'ont pas été mieux traités que les Grecs : entre 600 et 800, on cesse presque de recopier l'ancien, pire

même, on le dévaste avec bonhomie pour écrire les textes des « pères de l'Église ». On n'hésite pas ainsi à gratter les peaux des parchemins romains pour les effacer, histoire de réécrire par dessus les bondieuseries inspirées de Thomas d'Aquin, par exemple. L'usage est si établi que l'on nomme ces parchemins recyclés des palimpsestes. Ainsi, le peu que l'on connaît de la *De républica* de Cicéron, son ouvrage majeur, provient de l'étude d'un texte entièrement recouvert par les dispensables commentaires de « saint » augustin sur des psaumes...

Le passage au papier

En 751, les Arabes ont connaissance par les Chinois de Samarkande du papier. Ils en produisent et en exportent, mais un second changement de format se produit : on passe des majuscules aux minuscules (que l'on écrit plus vite et qui nécessitent moins de place). La aussi, il y a un choix parmi les œuvres à recopier, et certaines sont abandonnées. La majorité des œuvres antiques connues le sont à partir de quelques manuscrits de cette époque (donc plus de 1000 ans après le miracle grec...)

À la fin du 8e siècle, la demande en textes antique se rétablit puis se renforce. Des moines irlandais ont, dès le 7e siècle, recopié nombre d'ouvrages. Pour les sciences, c'est la médecine qui a assuré la transmission de nombreux textes. Aristote, par exemple, n'était étudié et connu en occident vers l'an mil que pour quelques œuvres de logique servant de base à la scolastique, dont l'étude s'installe.

Les auteurs arabes vers le 12e siècle, traduisent le grec en arabe, puis l'arabe en latin. Les copies circulent, mais des érudits comme R. Grosseteste (1168-1253) traduiront aussi directement du grec. La renaissance, puis l'imprimerie en Europe

consolideront la diffusion des textes survivants que nous connaissons aujourd'hui.

Mais, de l'antiquité au moyen âge, et jusqu'à nos jours (voir plus loin), les guerres et destructions n'épargnent guère le papier ou le papyrus, qui brûle fort bien. Le triste et célèbre sort de la grande bibliothèque d'Alexandrie en est un des exemples.

L'exemplaire destin de la Bibliothèque d'Alexandrie

Cette bibliothèque, autant centre de recherche que de conservation, rassemblait l'essentiel du savoir antique. Elle a été légèrement endommagée une première fois en - 47 : Jules César, assiégé par les Alexandrins dans le palais du Lochias (la forteresse des Ptolémées), a fait incendier sa propre flotte de 72 navires, pour qu'elle ne tombe pas entre les mains du général Alexandrin Achillas. L'incendie de la flotte s'est propagé à une d annexe de la bibliothèque, un entrepôt contenant des copies destinées à l'exportation. Toutefois, les dommages furent réparés par celui-là même qui les avait causés, Jules César. Quelques années plus tard, le fond de la bibliothèque de Pergame fut ajouté à celui d'Alexandrie.

Une période de troubles politiques a grandement nui à l'activité de la bibliothèque : il fut plus difficile pour les scientifiques de l'utiliser, certains furent chassés, d'autres interdits de séjour. Si les bâtiments et les « livres » demeuraient, le fonctionnement, en tant qu'institution et centre de recherche, était grandement perturbé. Le coup de grâce vint plus tard.

En l'an 391, l'empereur Théodose le fanatique (son vrai surnom est « le grand » et c'est, bien entendu, un « saint ») n'ordonne rien de moins que la destruction du monde ancien, non chrétien.

Les chrétiens accomplirent sa volonté avec enthousiasme. L'année même, le patriarche Théophile d'Alexandrie fait entièrement raser la « petite bibliothèque » qui faisait partie du temple de Sérapis (rasé lui aussi). Tous les rouleaux sont gaiement brûlés. Le neveu va parachever l'œuvre sinistre de son oncle (tous deux de braves hommes, béatifiés par l'Église) : le délirant Saint Cyrille d'Alexandrie, une ordure toujours encensée de nos jours, ne se contente pas de persécuter les païens, les juifs et d'autres chrétiens qui ne croyaient pas à la virginité littérale de Marie : il motive et couvre le sac et la destruction de la grande bibliothèque. Quelques années plus tard, en 415, il fera exécuter de façon atroce la dernière bibliothécaire, qui avait réussi à préserver ce qu'elle pouvait, la philosophe Hypathie. Pour ses menus crimes contre l'intelligence et le savoir, Cyrille est bien entendu reconnu comme saint par les orthodoxes et les catholiques, qui le fêtent respectivement les 9 et 27 juin. Il a été proclamé docteur de l'Église en 1882 par le pape Léon XIII et, plus proche de nous, dans une audience du 3 octobre 2007, Benoît XVI lui a rendu hommage pour son importante contribution au culte marial.

Il n'est pas resté grand-chose, ensuite, de la bibliothèque. Il est possible que les ruines aient été utilisées pour entreposer des écrits chrétiens, qui furent détruits à leur tour en 650 par les Arabes sous les ordres du calife Omar, donnant naissance à la légende d'une destruction de la bibliothèque par les conquérants arabes : lorsqu'ils arrivèrent à Alexandrie, il ne restait plus rien, et depuis longtemps, de la bibliothèque des Ptolémés.

Aujourd'hui, à l'emplacement approximatif de l'ancienne bibliothèque, environné de quelques ruines de l'ancienne s'élève, pour le moment, la « bibliotheca alexandrina ». Pourquoi « pour le moment » ? Parce que si vous pensez que l'histoire ne se répète

pas, sachez que le 14 août 2013 des fanatiques religieux ont encore tenté de détruire la version moderne de cette bibliothèque.

Que reste t'il ?

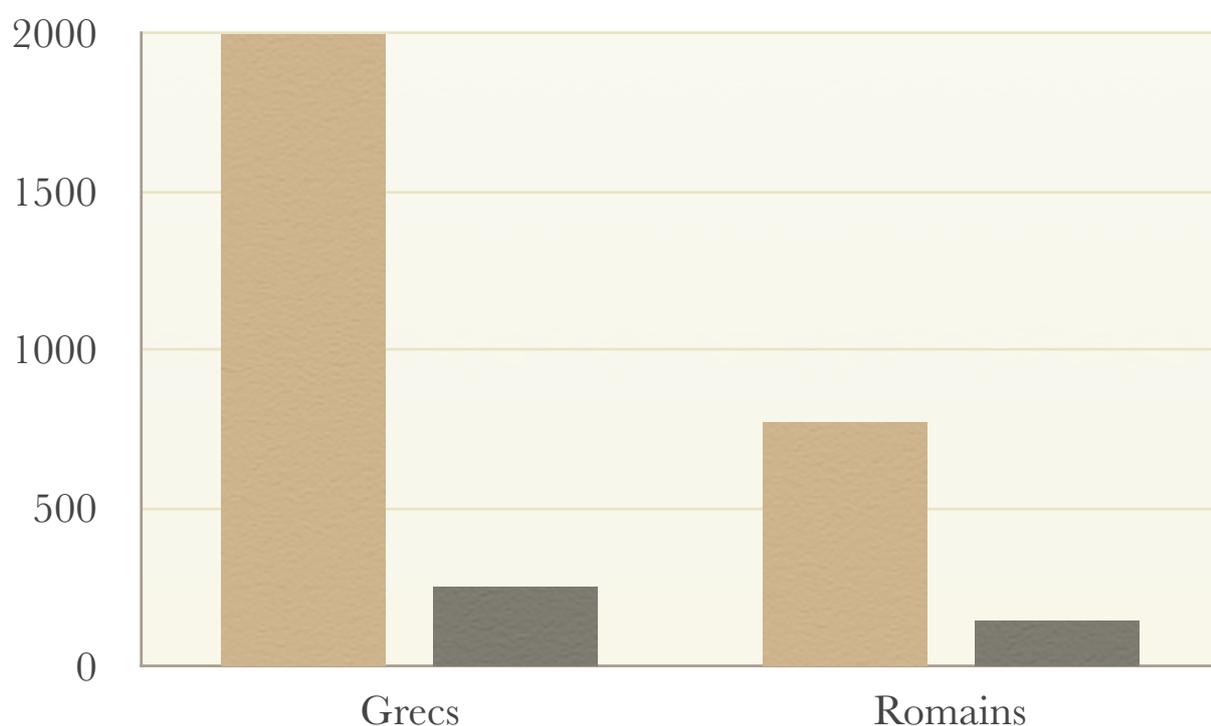
On peut se demander quelle est la proportion des textes antiques qui nous sont parvenus. Elle est minime.

Le graphique suivant illustre la différence entre le nombre d'auteurs grecs et romains connus (*en clair*) et le nombre de textes, même réduits à des fragments de quelques lignes, dont nous disposons (*en sombre*). On peut en conclure que bien moins de 10 % des œuvres antiques nous sont connues, même très partiellement.

Une proportion plus exacte peut nous être fournie en comparant la dernière bibliothèque antique et une des plus riches bibliothèques médiévales.

Si l'on compare la dernière bibliothèque de l'Antiquité, celle de Constantinople, qui contenait 120 000 livres (elle a brûlé en 475, incendiée) avec celle de l'érudit (et riche) collectionneur Cassiodore, qui possédait l'essentiel des textes qui nous sont parvenus, le résultat est édifiant : ce dernier ne possède plus que 100 volumes (*voir graphique ci-contre*)... Cela signifie qu'il est très probable que nous n'avons accès qu'à 0,1 % des traités de l'antiquité.

Cassiodore (490-583) était sénateur, secrétaire du roi des Ostrogoths Théodoric. Il fonda le couvent de Vivarium. Lettré polyglotte, il a essayé de sauver les œuvres classiques et c'est lui qui est à l'origine des « moines copistes ». Et pourtant, malgré sa position idéale, sa richesse et sa volonté, tout ce qu'il a obtenu (et qui représente à peu près tout ce qui nous a été transmis) se résume à 100 volumes, soit l'équivalent, l'encombrement en plus,



de

deux étagères d'une bibliothèque moderne.

Les « actes de foi »

Comme si les sacs et destructions de grands centres ne suffisaient pas, l'obscurantisme religieux s'en est donné à cœur joie dans l'élimination des œuvres qui auraient pu échapper à sa vindicte.

L'historien Ammianus Marcellinus (~330 – ~395) nous décrit, dans les *Res gestae*, comment, à son époque Chrétienne, étaient traités les rares lettrés : comme on leur reprochait de posséder des livres au contenu interdit (de la « magie », c'est à dire, en fait, tout ce qui n'était pas textes chrétiens, et relevait principalement des sciences de l'antiquité), ils étaient poursuivis, exécutés, leurs papyrus ou parchemins brûlés en public. Le résultat de ces exactions a été que « *des propriétaires auraient fait brûler leurs bibliothèques entières, de peur de tels destins* ».

Outre Ammien, il y a encore d'autres sources selon lesquelles on procédait alors à des perquisitions dans les maisons pour y trouver des livres non chrétiens. Environ 100 ans plus tard (entre 487 et 492), il y a un nouveau rapport de perquisitions dans les maisons. Des étudiants de [Beyrouth](#) avaient trouvé chez un « Jean, surnommé le “marcheur”, de Thèbes, en Égypte » des livres de magie. Après les avoir brûlés, ils le forcent à indiquer les noms d'autres possesseurs. Là-dessus, les étudiants, « soutenus par l'évêque et les autorités civiles », entreprennent une vaste action de perquisition. Ils trouvent chez d'autres étudiants et quelques personnes ce genre de livres et les brûlent devant l'église.

Dans une loi impériale, depuis 409, les « mathématiciens » (astrologues parfois, mais aussi, et surtout, en fait, tous les scientifiques) ont l'obligation de « *brûler leurs livres sous les yeux des évêques, sinon ils seront bannis de Rome et de toutes les communes.* »

À la même époque « St » Augustin réclame que la littérature non chrétienne ne soit ni répandue ni enseignée. Il convient qu'elle puisse rester enfermer dans des bibliothèques, seuls les clercs, de toute façon, sachant lire, et contrôlant l'accès à ce savoir.

En 546, L'empereur Justinien, qui a fait fermer l'Académie d'Athènes 17 ans auparavant, interdit aux non-chrétiens d'enseigner et ordonne la poursuite des médecins, grammairiens et juristes. Il ordonne en 562 l'autodafé public des « livres païens » sans doute saisis à cette occasion.

Comme le souligne l'historien P. Canivet : « *La violence légitimée par la religion, dont l'incendie des livres ne formait qu'un exemple, était comprise comme une action qui satisfaisait fondamentalement Dieu, et apportait donc un bénéfice spirituel au persécuteur. Comme l'incendie des livres satisfaisait Dieu, il était largement accompli, et même par des personnes qui agissaient en tant que représentants de la chrétienté, même dans les cercles de l'Église.* » (P. Canivet, Théodoret de Cyr, Thérapeutique des malades helléniques, t. 1, Paris, 1958)

Le mot autodafé est clair, jusque dans son origine : il dérive du portugais *acto da fé* (en latin *actus fidei*), « acte de foi » !

Ce serait toutefois commettre une terrible erreur que de croire que les flammes des bûchers sont désormais loin de nous, des scientifiques et de leurs livres.

Au totalitarisme religieux s'est rajouté le totalitarisme politique des nazis (nombreux autodafés en 1933) et celui des communistes, qui ont créé une religion de l'État.

Après la barbarie communiste de Mao, la folie des Khmers rouges s'est signalée par de gigantesques Autodafés dès le 17 avril 1975, ainsi que par l'exécution sommaire de tout « intellectuel ».

Il ne faut jamais oublier que « l'intelligentsia » française de l'époque, toujours si prompt à donner des leçons de morale au monde entier, couvrit complaisamment ces crimes délirants, et ne s'en excusa jamais (voir comment fut accueilli le livre de F. Ponchaud, « *Cambodge, année zéro* » en 1977).

« *Des papiers, des documents, des livres déchirés jonchent le parking de la faculté. “Ah ! Les salauds ! Ils ont tout détruit !” Pour eux, ces milliers de livres étaient l’héritage des impérialistes, il fallait donc les anéantir. Comme nombre de mes prédécesseurs, j’avais fait beaucoup d’efforts pour les conserver et les entretenir. Cet autodafé de livres me bouleverse profondément* ». (Comment j’ai menti aux Khmers rouges, Khay Chuth, ed. L’Harmattan). En faut-il plus ? « *Les leaders de la révolution, formés à Paris, abhorraient tout intellectualisme et de gigantesques autodafés, dès le 17 avril, détruisirent tous les ouvrages qui leur tombèrent sous la main. L’important n’était pas de savoir, mais d’avoir une conscience révolutionnaire “haute”* ». (Le Cambodge, Soizick Croche, p. 120). Cette dernière phrase pourrait, hélas, bien s’appliquer aux conceptions pédagogistes, devenant « *L’important n’est pas de savoir, mais d’avoir une conscience du “vivre ensemble”* »...

Le même auteur nous donne l’occasion de confirmer la déclaration de l’écrivain Christian Johann Heinrich Heine dans son *Almanson* « *Là où on brûle des livres, on finit aussi par brûler des hommes.* » :

« *les fonctionnaires, les médecins, les enseignants et éventuellement toute personne portant des lunettes (signe distinctif des intellectuels, tous réactionnaires) avaient été désignés pour l’extermination : ils pouvaient tout au mieux devenir de l’engrais pour les rizières de l’Angkar* ».

Le livre, et la connaissance qu’il représente, n’en a pas fini avec les flammes de l’intolérance : le 31 août 1996, le Cardinal Maurice Otunga a brûlé devant des centaines de fidèles des petits livres sur le SIDA et les moyens de s’en protéger, ainsi que des boîtes de préservatifs. L’Église étant toujours la même, malgré ses déclamations et ses dénégations, ce brave homme, mort en 2003, est en cours de béatification. Peut être rejoindra t’il Théophile, qui sait, puisque les livres brûlés ont toujours une odeur de sainteté au Vatican.

D'autres religions ne sont pas moins intolérantes, puisque toutes sont opposées, par principe, à une explication du monde ne nécessitant pas de transcendance. Ainsi, le 12 août 1998, les taliban ont brûlé la totalité des 55 000 volumes de la bibliothèque de la fondation Nasser Khosrow, une des plus belles bibliothèques publiques d'Afghanistan, contenant des œuvres modernes et des manuscrits âgés d'un millénaire. (L'express - 10/01/2002 - Yves Stavridès).

La non-interpénétration des magistères (gravure du temps). Au centre, le magistère de la science est hermétiquement séparé, au moyen d'un firewall, de celui, plus socialement acceptable, de la religion.

