

## EUROPE ET SCIENCES MODERNES

Notes de Cours, Vincent Jullien

Ceci n'est pas un article, ni un texte rédigé.

« Avec la fin de la première guerre mondiale, on assiste à l'émergence de nouveaux lieux de production scientifique. Cependant, ces derniers, bien qu'extérieurs à l'espace géographique de la science européenne, n'en appartiennent pas moins à l'espace intellectuel de la science européenne et en sont fondamentalement tributaires (Etats-Unis, Japon, Amérique latine). La mondialisation de la science européenne a commencé ». Depuis, il faut ajouter la Chine, l'Inde. (*Europe des Sciences*, p. 11)

## INTRODUCTION

- L'origine est toujours cachée

Où commence l'histoire des sciences et quand ? Sans doute en même temps et en mêmes lieux que l'écriture ou que les premières figures. Autant dire que l'origine est aussi diffuse et cachée que la naissance d'une rivière. Nous entamerons ce récit bien plus en aval et le point de départ de notre *histoire des sciences* sera la Grèce antique, à partir du VI<sup>e</sup> siècle av. J.C., avec un bref prologue chez les assyriens et babyloniens. On en donnera la raison un peu plus loin.

Les sciences dont nous allons parcourir l'histoire ne recouvrent pas *toutes les conceptions du savoir, toutes les manières de raisonner et de connaître la nature*, telles qu'elles ont pu exister (ou continuent d'exister) chez les peuples du monde au cours de leur histoire. Dans les temps modernes, une certaine manière de concevoir et de pratiquer les sciences domine largement ; elle s'est imposée dans l'Occident qui l'a exportée ou imposée dans les Amériques, en Asie, en Afrique. Les calendriers, la médecine, les formes mathématiques, les appareils de mesures, les grandeurs physiques, les classifications botaniques et zoologiques etc. nées en occident sont adoptées aux quatre coins du monde. D'autres activités et pensées scientifiques coexistent parfois (si elles ne disparaissent pas) mais la conception générale des sciences dont nous allons faire ici l'histoire est aujourd'hui celle de l'humanité.

Est-ce à dire qu'il n'y a –ou qu'il n'y eut- que cette forme là à avoir été examinée par les peuples de la terre ? Certainement pas et nous disposons de pas mal d'archives ou de pratiques vivantes qui prouvent l'inverse. Ainsi, y eut-il des mathématiques chinoises assez anciennes (au début de notre ère), nettement distinctes de celles que nous allons voir se développer ; qui peut ignorer qu'il existe une médecine chinoise (ou plusieurs) et qu'elle a bien entendu une histoire ? On ne peut non plus méconnaître les savoirs astronomiques des peuples de l'Amérique précolombienne, ni leurs modes de comptabilité ; d'impressionnants domaines de connaissances en médecine, botanique, zoologie font partie de l'histoire africaine etc. Pourtant, il n'en sera pas ici question pour une raison assez simple ; ces secteurs de l'histoire des sciences n'ont eu que peu d'influence (voire pas du tout) sur le développement des sciences telles qu'elles se présentent aujourd'hui à l'immense majorité de la population du globe ; et cela ne date pas d'hier, cette domination d'une certaine conception de la science, à la fois universelle et rationnelle, mais aussi expérimentale et observationnelle ; déductive ou inductive, mais toujours logique ; théorique et abstraite, mais aussi appliquée et performante. Cette domination prend racine autour du bassin méditerranéen cinq ou six siècles avant notre ère ; elle ne cessera de se renforcer. Les grecs de cette époque l'ont inventée ou au moins enregistrée et en ont dessiné les grandes lignes.

L'histoire de ces sciences ne commence pas avec eux et il ne fait pas de doute qu'ils « ne partirent pas de rien ».

Les Egyptiens n'ont pas pu bâtir les temples et les pyramides, gérer les énormes comptabilités qu'impliquait leur organisation sociale sans connaissances géométriques ou calculatoires avancées ; l'orientation des pyramides nécessitait la connaissance du *nord vrai* etc. Les rares documents dont nous disposons ne permettent cependant pas d'y reconnaître la présence de théories générales en mathématiques, ni de modèles généraux en astronomie. On se trouve en présence de pratiques empiriques précises,

nombreuses, variées et répétées mais qui n'annoncent pas ou ne préfigurent pas ce qui donnera naissance aux sciences gréco-arabo-occidentales. On a suggéré qu'il devait exister une *science des temples*, secrète, réservée aux initiés. Ce n'est sans doute pas absolument impossible ; reste à en découvrir des archives consistantes, ce qui n'a, jusqu'à présent, pas été fait.

## HISTOIRE GENERALE DES SCIENCES

### ESPACE-TEMPS GREC

- Un petit village du nom de Babylone

Les problèmes posés par ce qu'on appelle la civilisation assyrienne ou babylonienne sont complexes. Entre le quatrième millénaire avant J.C. et le début du premier millénaire, de nombreux peuples –souvent en conflits violents- contribuèrent à l'invention de l'écriture, à la mise au point de vastes connaissances médicales, astronomiques et mathématiques. Vers 1800 av. J.C. un petit village du nom de Babylone assoie sa suprématie sur les autres cités. Autour de Babylone se constitue un immense état centralisé, s'étendant depuis l'Anatolie au nord jusqu'au golfe persique au sud et de la Syrie à l'ouest jusqu'à l'Elam à l'est. Nous disposons d'un grand nombre d'archives assyriennes et babyloniennes, surtout depuis la découverte au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle à Ninive, des restes de la splendide bibliothèque d'Assourbanipal, roi d'Assyrie qui conquiert Babylone vers 650 av. J.C.

Des centaines de textes sont constitués de tables de calcul et de longues listes de problèmes qui sont bien autre chose que des successions d'exemples variés ; il est difficile de ne pas y reconnaître un « état d'esprit algébrique hautement développé » comme l'écrit un historien et il est permis d'y voir ce que, plus tard, les mathématiciens nommeront des *équations* du premier et de second degré (voire ici et là, du troisième) ; la sommation de séries géométriques est elle aussi attestée et d'autres documents font un grand usage de ce qui s'appellera la *relation de Pythagore*. Dans la bibliothèque d'Assourbanipal, on a trouvé une table extrêmement précise des phases de la lune et on sait que la qualité des observations astrales et stellaires des babyloniens fut remarquable, les instruments d'observation astrologiques et astronomiques qu'ils mirent au point furent décisifs et se retrouvent chez les astronomes grecs ; il s'agit du *gnomon* (à la base, dans sa version la plus élémentaire c'est un bâton dressé de façon à mesurer les ombres), de la *clepsydre* (appareil à écoulement destiné à mesurer celui du temps) et du *polos* (vaste demi-sphère dont la concavité est orientée vers le ciel pour recevoir avec exactitude l'image des positions des étoiles). Les catalogues d'étoiles et de situations planétaires réalisés à Babylone ou dans l'empire furent nombreux, bien connus, diffusés et leur précision est légendaire.

La médecine elle aussi est un domaine où les connaissances étaient grandes à Babylone : on dispose de descriptions de procédures médicales qui ne consistent pas seulement en des invocations magiques, mais aussi en diagnostics et en prescriptions thérapeutiques (à base de médicaments botaniques en général). A côté de la *médecine*, la pratique des haruspices (divination par observation des entrailles d'animaux) est l'occasion de rassembler des connaissances anatomiques techniques comportant parfois des caractéristiques fonctionnelles. Les grecs ont connu tout ou partie de ces savoirs babyloniens, et l'histoire des sciences *d'origine grecque* trouve dans cette terre là certaines de ses racines. Toutefois, comme le note un historien des sciences

babyloniennes, « malheureusement pour nous, les babyloniens n'ont laissé aucune introduction explicite à leur propre conception pour ordonner et classer le monde ; la pensée réflexive, consciente d'elle-même, ne faisait pas partie de leur culture écrite ». En astronomie notamment, la quantité de leurs mesures ne laisse pas apparaître de système général d'explication de la *machine du monde* ; cela ne prouve pas qu'un tel système n'existait pas ; il se trouve simplement que nous n'en avons pas de trace.

- La source grecque

Les grecs doivent aux phéniciens le principe de leur alphabet ; ils empruntent aux égyptiens, aux babyloniens, aux indiens des connaissances mathématiques, astronomiques et géographiques. Aux uns et aux autres, bien des pratiques médicales et botaniques. Les contacts et enseignements venus d'Égypte, d'Assyrie (Babylone) ou d'Inde sont bien attestés, même s'ils ont souvent un caractère légendaire et enjolivé.

C'est pourtant chez les grecs que nous allons chercher la source des sciences telles que notre civilisation les conçoit et les pratique. Il y a, à cela, deux bonnes raisons. La première est que notre documentation historique sur la culture grecque est immense bien qu'une grande proportion des textes et archives soit perdue. La seconde est que les grandes caractéristiques de la réflexion et de l'activité scientifiques qui sont les nôtres (l'administration de la preuve par des moyens déductifs, la recherche des causes matérielles des phénomènes) ont été élaborées au cours de l'antiquité grecque. Ce sont elles qui pour l'essentiel ont nourri le moyen-âge arabe, byzantin, latin et donc – directement ou indirectement- les époques modernes en Europe, puis en Amérique.

- Des cartes

On se souviendra d'abord que l'antiquité grecque couvre un espace et un temps extrêmement étendus. Une bonne partie du bassin méditerranéen, des rives orientales de la mer Egée jusqu'au sud de la péninsule italienne, du VI<sup>ème</sup> siècle avant J.C. avec l'école de Milet jusqu'au IV<sup>ème</sup> siècle après J.C. avec l'École d'Alexandrie. Ces vastes dimensions spatiales et temporelles ne doivent pas dissimuler l'existence du noyau nettement plus réduit de cette aventure intellectuelle : sur les bords de la mer Egée, il s'étend de Cnide à Athènes, en passant par Milet ; quant à la domination Athénienne sur la culture *grecque*, elle est politiquement et militairement aussi brève qu'un passage de comète, rapidement consommée entre le succès de la ligue de Délos en 476 av. J.C. jusqu'à la victoire de Sparte dans la guerre du Péloponèse en 404. C'est sur un fond éphémère de fragilité, d'instabilité et d'affrontement *qu'est construit, de façon foudroyante et inattendue, un empire invisible et unique dont la grandeur perdure jusqu'à nous, un bâtiment sans autre exemple dans l'histoire.* Cette belle évocation des sciences grecques par le philosophe Michel Serres donne la mesure de l'événement *fondateur*.

- Des jugements sévères et contradictoires envers les *anciens grecs*

La postérité cependant s'est souvent montrée sévère envers les *anciens*. Dans son *Esquisse d'un tableau historique des progrès de l'esprit humain*, Condorcet, au XVIII<sup>e</sup> siècle, critique rudement l'amplitude de leurs travaux : « Leurs sages, leurs savants, qui prirent bientôt après le nom plus modeste de philosophes ou d'amis de la science, de la sagesse, s'égarèrent dans l'immensité du plan trop vaste qu'ils ont embrassé. Ils voulurent pénétrer la nature de l'homme et celle des dieux, l'origine du monde et celle

du genre humain. Ils essayèrent de réduire la nature entière à un seul principe, et les phénomènes de l'univers à une loi unique [...]». Ils auraient donc été trop ambitieux. Cent cinquante ans plus tôt, un autre procureur condamnait, chez les Anciens, des errements opposés ; Descartes leur reproche en effet, notamment (mais pas seulement) en mathématiques, de n'avoir pas été suffisamment systématiques et d'avoir trouvé des résultats –des vérités- par accident, au hasard, sans véritable méthode. Il tient pour aléatoires les thèses d'un Platon ou d'un Aristote. C'est –dit-il- parce que l'ensemble des connaissances, métaphysiques, physiques, morales etc. ne sont pas suffisamment ordonnées qu'elles sont –chez les Anciens- si peu solides.

Des Eléates aux Alexandrins, les « grecs » ont-ils voulu trop embrasser et trop comprendre le monde, à l'inverse ont-ils laissé la bride sur le cou à l'imagination, si prodigue en hypothèses aussi variées que mal assurées ?

Des jugements très contrastés se retrouvent encore chez des auteurs récents. Bertrand Russell (mathématicien et philosophe du XX<sup>e</sup> siècle) y va rudement lorsqu'il soutient que « Le mouvement dont est issue la tradition classique sous sa forme développée, se trouve dans la croyance naïve des philosophes grecs à la toute-puissance du raisonnement ». « Croyance et naïveté », des mots qui pèsent lourds. Contemporain du mathématicien philosophe anglais, le physicien philosophe français Pierre Duhem soutient, au contraire, que l'astronomie est la seule théorie scientifique véritablement constituée jusqu'à l'âge classique et qu'en ce domaine, « avec autant de persévérance que de succès, le génie géométrique des Grecs s'était efforcé de décomposer le mouvement compliqué et irrégulier de chaque astre [...] Leur génie logique et métaphysique s'était appliqué, de son côté à l'examen de ces compositions ». A l'opposé du jugement précédent, voici nos Grecs dotés du triple génie mathématique, logique et métaphysique.

- Le monde est compréhensible

L'expression *miracle grec* a eu un énorme succès depuis Ernest Renan (1823-1892) ; elle a aussi été vivement critiquée. Même si on préfère ne pas la prendre au pied de la lettre, il est difficilement contestable qu'eut lieu un formidable événement intellectuel quand, vers le VI<sup>ème</sup> siècle avant J.C., des penseurs ioniens (une région de la Grèce) introduisent l'idée selon laquelle le monde est intelligible, autrement dit qu'il est possible à l'esprit humain d'en décrire les régularités, les lois, d'en hiérarchiser les valeurs, d'y faire jouer des relations causales. On assiste à la mise en œuvre d'un vaste programme commun qui vise la connaissance et la compréhension du monde, au moyen de l'observation, de l'hypothèse et de la démonstration. On peut faire mieux que de d'observer la nature, on peut la comprendre.

La place réservée à la Grèce antique dans la plupart des histoires des sciences, des arts et de la philosophie est immense et c'est justice. Même les auteurs qui cherchent à présenter ce *moment grec* comme héritier et continuateur du passé –égyptien, babylonien etc.- ne peuvent éviter, comme une sorte d'aveu, de laisser transparaître le caractère nouveau et fondateur de cette civilisation. Ainsi, après avoir souligné ce que les mathématiques et l'astronomie hellénistiques doivent à leur prédécesseurs, l'historien de l'astronomie Otto Neugebauer ajoute, comme en passant, que « les méthodes des mathématiques grecques sont immédiatement compréhensibles pour un mathématicien moderne, tandis que les (plus) anciens traités d'astronomie traitent, dans une terminologie qui ne nous est plus du tout familière, de problèmes et de méthodes empiriques et numériques qui ne sont plus, eux-mêmes, dans nos pratiques ».

On ne saurait mieux dire qu'une rupture culturelle a bien eu lieu, et qu'elle n'engage pas seulement des notations (plus compréhensibles par nous), mais aussi un rapport nouveau de la théorie avec l'expérience. Autre exemple plus récent, dans son ouvrage sur l'*Histoire des sciences arabes*, Ahmed Djebbar a beau chercher (avec talent, compétence et érudition) les sources diverses de la science arabe, les ruisseaux qu'il décrit sont surtout d'origine grecque. Quant à Ernst Mayr, auteur d'une désormais classique *Histoire de la biologie*, il n'apprécie que modérément la philosophie et plus généralement la spéculation abstraite. Il laisse pourtant passer ingénument ce formidable *aveu* : «les premiers philosophes grecs reconnurent que les phénomènes physiologiques familiers, la locomotion, la perception et la reproduction, requéraient d'être expliqués ». N'est-ce pas là, précisément, ce qui fait le propre de la science ? Autant reconnaître, comme le grand historien des sciences Alexandre Koyré, que « Notre philosophie se rattache toute entière à la philosophie grecque, suit les lignes tracées par la philosophie grecque, réalise les attitudes prévues par celle-ci » ; ici, par « philosophie » il faut entendre aussi bien les sciences puisque, en ces temps là et pour des siècles, les deux domaines n'étaient pas séparés. En revanche, il est un sens qu'on ne peut retenir pour l'expression controversée de *miracle grec*, celui qui soutiendrait que la démocratie, les arts, la littérature, la logique, la philosophie première et les sciences auraient surgis, *ex nihilo*, que la civilisation aurait soudain remplacé la barbarie.

- La nature n'est plus seulement un spectacle

Le changement de perspective, entre une *nature spectacle* qu'on ne peut qu'admirer ou craindre et une nature que l'on peut interpréter et pourquoi pas transformer, est advenu au sein de la culture grecque elle-même. Pour en arriver là, il a fallu franchir ce que Jean-Pierre Vernant décrit comme le passage « d'une parole poétique et prophétique, celle d'Homère et d'Hésiode, à un discours logique et démonstratif, celui de Platon et d'Aristote ». Le voyage d'Ulysse, que nous raconte l'*Odyssée* est une succession assez hasardeuse d'aventures, rythmée par les caprices et les passions des dieux ; il est comme un symbole des suites accidentelles qui font les destinées humaines. Les Grecs d'avant le VI<sup>e</sup> siècle, cultivés, curieux et imaginatifs ont d'abord fait ce que firent d'autres hommes - avant et après eux - dans presque toutes les civilisations. Comme les Babyloniens ou les Egyptiens qui les précédèrent, ils observent le ciel, pour rêver, établir des calendriers, améliorer les possibilités de voyage (en particulier la navigation). Ils mesurent, quantifient des grandeurs et opèrent des partages. En ceci ils ne sont pas originaux ou novateurs (ils font plutôt moins bien que les Babyloniens). Mais une chose remarquable et bouleversante est advenue quand certains d'entre eux estimèrent que le Monde, la Terre, les astres et les étoiles pouvaient être étudiés et compris. Il y avait mieux à faire qu'à observer ces objets, à noter leurs positions et leurs formes ; il leur a paru possible de concevoir des règles générales, des principes, auxquels se conformait le Monde qui, dès lors, devenait compréhensible par l'esprit humain. C'est dans ces conditions que naît la notion de cosmos, d'un ordre rationnel du ciel et aussi des phénomènes terrestres.

En même temps, une intuition grandiose leur fit concevoir une nouvelle façon d'acquérir des connaissances. Ils jugèrent possible de démontrer *absolument* certaines propositions. On peut, non seulement connaître certaines vérités par l'observation ou l'expérience, mais en établir d'autres à l'aide de preuves purement intellectuelles. Les réflexions sur les formes du langage s'accompagnent de la mise au point d'arguments ordonnés et probants concernant les formes élémentaires de la logique déductive. Aussi

n'est-il pas surprenant que leur domaine d'excellence soit la géométrie ; non pas une géométrie empirique, où l'on mesure et on calcule, mais une géométrie où l'on médite sur des propriétés abstraites et certaines des figures ou des nombres. Lorsque Thales, ou Euclide, établissent que, si deux côtés d'un triangle sont égaux, alors les deux angles correspondants le sont aussi, ils ne découvrent rien de nouveau...chacun le sait, constate que ça marche pour toutes les figures qu'il dessine ; les géomètres grecs font beaucoup mieux, ils prouvent qu'il en est toujours nécessairement ainsi et ils en donnent les raisons logiques ; ils ne font pas que *montrer*, ils *démontrent*.

Les domaines privilégiés où cette mutation intellectuelle a produit ses effets les plus spectaculaires sont les mathématiques et l'astronomie, mais aussi la musique et l'optique, enfin les sciences du vivant et la médecine. En effet, la théorie musicale fut immédiatement (dès l'époque pythagoricienne) associée aux mathématiques; quant à l'optique, elle s'appuie sur la propriété de la lumière ou du rayon visuel qui semble – chez Platon par exemple- parfaitement adéquat pour définir l'un des outils fondamentaux du géomètre : la ligne droite. La botanique, la zoologie et médecine offrent un spectacle aussi remarquable puisqu'avec Aristote notamment, apparaissent des essais de classification des espèces, des tentatives d'ordonner et donc de comprendre la diversité quasi infinie du vivant ; la médecine (à Cnide et à Cos en particulier) cesse d'être un domaine magique et incantatoire ou l'activité du guérisseur, aussi habile observateur soit-il ; elle devient objet de théories générales sur la santé, le vieillissement et l'équilibre des humeurs.

La nature abstraite et conceptuelle de la pensée grecque est clairement reconnaissable dans les *paradoxes de Zénon* (voir chapitre 4). Zénon sait qu'un rapide athlète peut rattraper une lente tortue et la dépasser ; ceci est une connaissance concrète bien établie. Ce que fait Zénon consiste à construire des arguments de raison (faisant appel à l'intelligence et à la capacité logique de déduire) qui ruinent cette connaissance concrète. Cette difficulté oblige à penser plus avant, à construire des notions et des concepts portant sur l'infini, les limites ; quel stimulation pour la pensée scientifique !

A première vue, une sorte de recul peut apparaître : en astronomie, la précision et la quantité des observations semblent passer au second plan et les systèmes astronomiques ont parfois l'allure de vastes chimères imaginatives, moins fines que les collections babyloniennes antérieures. C'est exact, mais c'est aussi qu'il s'agit de bien autre chose, la quête est devenue celle des causes générales de l'ordre du monde, ce dont ne se préoccupèrent pas les savants babyloniens. De même en théorie arithmétique, une sorte de perte semble repérable : les remarquables calculs fractionnaires égyptiens sont marginalisés au profit d'une méditation abstraite sur le nombre.

Les fondateurs et les acteurs de la science grecque (ou plutôt des sciences) ne congédient pas les Dieux (quoique certains de ces auteurs puissent être qualifiés d'athées), mais ils modifient radicalement leur rôle en ne voulant plus laisser aux caprices, aux passions et aux sautes d'humeur des divinités la responsabilité des phénomènes célestes, des météores ou des troubles de la santé. Un matérialisme athée voit même le jour chez certains atomistes et le concept d'un Dieu suprême, sinon unique, demiurge agissant selon une finalité propre ou selon des attributs que la raison peut caractériser, est forgé dans l'œuvre platonicienne puis dans le système d'Aristote.

- Deux périodes « grecques », Athènes et Alexandrie

Il y a deux périodes grecques, qui correspondent à deux centres géographiques. La première, nommée parfois *période hellène* a pour centre Athènes et dure environ trois siècles. Elle débute au commencement du VI<sup>e</sup> siècle. A cette époque, les diverses cités grecques, traditionnellement en compétition et en lutte, se fédèrent en une puissante union qui reconnut Athènes pour centre. Cette première période se poursuit jusqu'à la fin du IV<sup>e</sup> siècle av. J.C. Ceci nous conduit donc de l'époque de Thalès jusqu'à celle des premiers disciples d'Aristote, comme Théophraste. On y croquera Pythagore, Parménide, Empédocle, Héraclite, les atomistes Leucippe, Démocrite, et encore Platon, Eudoxe, Hippocrate etc.

La seconde période dite *hellénistique* est plus longue puisqu'elle commence à la fin du IV<sup>e</sup> siècle av. J.C. et prend fin sous le règne de Romulus Augustus en 476. Les conditions et dominations politiques changent au cours de ces huit siècles, il y a celle des Diadoques égyptiens, puis l'extension de Rome et la soumission de tout le bassin méditerranéen à sa puissance, enfin les deux siècles de conquête progressive de l'occident latin par les barbares. Il est très remarquable que ces énormes soubresauts n'aient pas empêché la ville d'Alexandrie de demeurer, du début à la fin, un foyer de science et de philosophie qui allait brillamment éclairer les siècles suivants. Euclide, Straton, Apollonius, Eratosthène, Hipparque, Diophante, Héron, Aristarque et Archimède travaillent à Alexandrie ou en liaison avec elle (c'est le cas d'Archimède le syracusain) avant le début de notre ère. Héron, Ménélaüs, Ptolémée, Galien, Pappus et Théon sont des alexandrins ou associés à elle dans les premiers siècles après J.C.

- Des auteurs légendaires et des textes perdus

Des historiens de la science grecque ont proposé une très belle expression pour évoquer les relations que nous entretenons avec cette époque, *Sur notre sol en un pays lointain* écrivent-ils. Comment dire mieux la proximité saisissante des théories, des découvertes scientifiques des grecs, de leur philosophie aussi, avec la notre ? Nous comprenons Euclide ou Ptolémée ou Archimède ou Galien...N'est-ce pas, en soi étonnant ? Il y a, chez eux, une manière (ou des manières) de raisonner, d'envisager la nature et de concevoir des expériences qui ont véritablement forgé les nôtres. Mais, inévitablement, les vingt ou vingt cinq siècles qui nous en séparent les rendent lointains. Leurs réponses ne sont pas les nôtres, leur langage, leurs croyances non plus. Les ruptures de toutes sortes sont multiples : plusieurs auteurs (Thalès, Pythagore, Anaxagore, Euclide même) sont quasi légendaires et nous ne savons presque rien de leur vie ; pour certains, nous n'avons à peu près aucun texte direct, mais des fragments, des témoignages (ce n'est pas le cas pour Euclide) à partir desquels les historiens ont reconstitué les doctrines et les découvertes.

- Le « cas Aristote ». Pourquoi tant de place ?

Un cas mérite quelques mots en particulier ; c'est celui d'Aristote. Dans une histoire générale des sciences, son nom revient sans cesse ; il est cité, admiré, copié, interprété, critiqué sans relâche, tout au long de l'histoire. Encore de nos jours, il inspire certains savants ; on pense ici à René Thom, le grand mathématicien français du XX<sup>e</sup> siècle, qui s'en réclame. L'ampleur de son œuvre fournit une première explication : il a tout traité, la métaphysique, la logique, la physique, l'astronomie, la botanique, la zoologie, l'anatomie et la médecine ; en plusieurs de ces domaines, il fait figure de *père fondateur*. Il se trouve aussi que la grande majorité de ses traités a été sauvegardée, ce qui lui donne un immense avantage sur d'autres dont les enseignements sont perdus. En outre,



les civilisations arabes, latines médiévales –leurs théologiens notamment- consacrent des trésors d'intelligence et de subtilité à réaliser ce qui pouvait être l'union de sa philosophie et de leur religion d'origine biblique. Platon, sans doute, marque tout autant l'histoire de la philosophie, mais –à part ses doctrines mathématiques et dans une moindre mesure, astronomiques- la science platonicienne est moins développée, moins explicite que celle d'Aristote.

# MATHEMATIQUES

Les grecs, de Thalès à Archimède, en passant par Platon et Euclide, ont accordé une place de choix aux mathématiques. On y découvre l'idée même de démonstration, elles s'associent à la musique, à l'astronomie ou l'optique et servent de modèle pour tout ce qui est connaissable avec exactitude. Elles peuvent aussi être utiles dans bien des arts mécaniques.

- Thalès et Pythagore, les figures, les nombres et la démonstration

Ils représentent deux des principales écoles de pensée de la Grèce antique, or les deux plus célèbres théorèmes de mathématiques portent leur nom : le *Théorème de Thalès* et le *Théorème de Pythagore*. Ce n'est évidemment pas un hasard !

Thalès de Milet (v.625-v.547) est le plus célèbre des philosophes ioniens et Pythagore (v.570-v.480) est le fondateur et le maître de l'école dite pythagoricienne.

En géométrie, on lui attribue la démonstration de cinq théorèmes dont le premier peut surprendre : « un cercle est partagé en deux parties égales par tout diamètre ». La surprise vient de l'évidence du résultat. Chacun peut bien voir la vérité de cette affirmation et Thalès n'aurait donc pas grand mérite. Mais l'essentiel réside précisément là ; il est le premier à juger nécessaire de démontrer ce résultat. Il ne s'agit plus, en géométrie, d'observer et de manipuler des figures, mais de comprendre leurs propriétés par un acte de pensée pure. Il en va de même avec cet autre théorème attribué à Thalès : « dans un triangle isocèle, les angles à la base sont égaux » ; chacun *voit* bien qu'il en est ainsi et pourtant, il en donne une démonstration. L'esprit des mathématiques grecques (et de toutes nos mathématiques depuis lors) est là. Cette stupéfiante exigence aboutira trois siècles plus tard, à l'élaboration de la bible de la géométrie, les *Eléments* d'Euclide.

L'ordre.

- Pour les pythagoriciens, « Tout est nombre »

Pythagore est lui aussi une figure devenue légendaire. Peut-être a-t-il été élève de Thalès et, comme lui, a-t-il passé de longues années en Egypte. Revenant de ses voyages aventureux, il se fixe à Crotone où il fonde une école, ou plus exactement une communauté, à la fois religieuse, morale et scientifique. Les pythagoriciens – ainsi les nomme-t-on- estiment qu'il y a quelque chose de plus primordial que les figures dans l'exercice de la démonstration, ce sont les nombres.

« Tout est nombre dans l'Univers » affirment-ils et Philolaos, l'un des plus importants d'entre eux, résume leur point de vue en disant que « sans le nombre, nous ne comprenons ni ne connaissons rien ». Les figures ont un rôle essentiel, mais dérivé, elles sont des expressions des nombres : ainsi 1, 4, 9, 16 etc. sont-ils des « nombres carrés ».

- L'harmonie musicale, science des rapports

La théorie musicale est le premier domaine où se manifeste l'efficacité des nombres et de leurs rapports : l'harmonie et la théorie des proportions se développent ensemble.

Chacun conviendra que la connaissance de toute chose est avant tout la connaissance des relations et des rapports qu'elles entretiennent. Les pythagoriciens soutiennent que

les nombres entiers sont l'outil le plus excellent pour exprimer ces rapports, ces *manières d'être* entre les choses comparables. Mais quel rapport peut bien exister entre une ligne et une surface, entre un arbre et une note de musique ? Aucun puisqu'ils ne sont pas homogènes. Les rapports ne sont à considérer qu'entre choses de même genre, entre homogènes, entre une ligne et une autre ligne, entre une note et une autre etc. Mais alors, leur *manière d'être* a un modèle numérique : il doit exister deux nombres dont la *manière d'être* est identique à la leur. Si, lors d'une bataille, un soldat se montre nettement moins courageux qu'un autre, le rapport de leur courage peut être exprimé par le rapport de deux nombres, 2 et 5 par exemple. On dira alors que « le courage du premier est au courage du second comme 2 est à 5 ». C'est ce rapport qu'on appellera *logos* (c'est un des sens de ce mot grec).

- Les marteaux des forgerons, les cordes consonantes

Pythagore aurait tendu une corde sur une règle appelée canon, où il avait marqué 12 divisions. Il commence par pincer la corde entière et sa moitié comportant 6 unités ; ce qui lui donne une première consonance selon l'octave (12 à 6) Puis il pince de nouveau la corde entière et les trois-quarts de celle-ci et découvre l'accord de quarte (12 à 9). Finalement, il pince la corde toute entière et les deux tiers de celle-ci, et trouve l'accord de quinte (12 à 8). Ainsi, par un va-et-vient entre les expériences musicales et la considération des rapports de nombre, les pythagoriciens inventent la gamme et les premières notions générales concernant les proportions entre nombres.

Les pythagoriciens crurent retrouver le canon musical dans l'harmonie des sphères célestes. Les sept planètes, c'est-à-dire la Lune, Mercure, Vénus, le Soleil, Mars, Jupiter et Saturne, doivent correspondre aux sept sons de l'octave, et leurs distances ou intervalles doivent offrir les mêmes rapports. Pythagore seul pouvait entendre la musique céleste ; privilège du maître tout de même !

- La découverte interdite, les irrationnels.

La déconvenue est grande et la crise terrible lorsqu'un des leurs, Hippase de Métaponte découvre une paille dans le diamant de la théorie des proportions. Soit une figure particulièrement simple, le carré et, dans cette figure, deux longueurs elles aussi très simples, le côté et la diagonale. Elles doivent bien *avoir un rapport* puisqu'elles sont de même genre (deux segments de droites). Or, Hippase démontre qu'il n'existe pas de couple de nombres qui exprime ce rapport ! La diagonale d'un carré n'a pas de rapport à son côté. Le choc est rude : les nombres s'avèrent impuissants à comparer deux grandeurs élémentaires ; elles sont *incommensurables*. Selon la légende, le découvreur en serait mort, périssant dans un naufrage. Euclide lui-même a commenté ce funeste destin : « Les auteurs de la légende ont voulu parler par allégorie, dit-il. Ils ont voulu dire que tout ce qui est irrationnel et privé de forme doit rester caché. Que si quelque âme veut pénétrer dans cette région secrète et la laisser ouverte, alors, elle est entraînée dans la mer du devenir et noyée dans l'incessant mouvement de ses courants ».

Il n'y avait pas beaucoup de solution pour surmonter cette *crise des irrationnels*. Ou bien, on abandonne la notion de rapport (de *logos*) et toute l'admirable construction qui l'accompagne, ou alors, on doit élaborer une notion plus riche du *logos*, qui ne se limite pas aux rapports de nombres. Cette seconde voie fut magnifiquement parcourue par les géomètres grecs de l'époque de Platon.

- Que nul n'entre ici s'il n'est géomètre.

Cette devise était, dit-on, inscrite à l'entrée de l'Académie que dirigeait Platon à Athènes au III<sup>e</sup> siècle av. J.C. La finalité des études y était la philosophie, alors pourquoi fallait-il être mathématicien pour y accéder ?

Il est dit souvent que les mathématiciens –ceux d'aujourd'hui aussi bien- sont *platoniciens*. En quel sens peut-on entendre ceci ? Existe-il un cercle dans notre monde ? Des images plus ou moins grossières de cercle, oui ! Je peux en tracer au compas, ou regarder la forme de la pleine lune dans le ciel. Mais il faut bien admettre que ces cercles sont approximatifs ; le trait a une épaisseur, un microscope me ferait découvrir des irrégularités etc. En somme, je n'ai pas de cercle dans ce monde réel. Faut-il en conclure que le cercle n'existe pas ? Ce n'est pas très raisonnable tant sa définition est limpide (tous les points à une même distance d'un centre) et tant l'idée de cercle est claire en notre esprit. La solution s'impose, le cercle existe dans un monde qui n'est pas notre monde concret et sensible. Il y a un monde des réalités mathématiques (pas seulement le cercle, mais aussi les nombres les notions d'égalité, de plus ou moins etc.) où elles existent, idéales, exactes. Les figures, les nombres, les relations mathématiques de notre monde sont des images grossières de ces perfections et lorsqu'un mathématicien trouve un nouveau théorème ou résout un problème, il ne fait que découvrir un objet de ce monde parfait et idéal. Telle est la philosophie mathématique de Platon qui a séduit des générations de mathématiciens à travers les siècles.

- Selon Aristote, la matière est trop riche pour la géométrie et les nombres.

Pour lui, les mathématiques sont trop *simples* pour exprimer la réalité infiniment changeante et complexe des véritables choses du monde. La matière, les animaux, les mouvements de toutes sortes, le vieillissement, la croissance, tout ceci échappe aux formes strictes, pures et immobiles des mathématiques. Cet argumentaire puissant soutenu par Aristote va provoquer un divorce entre les sciences physiques et naturelles d'une part, et les sciences mathématiques d'autre part. Ce divorce, cette séparation durera 2000 ans –jusqu'au temps de Galilée- avec quelques très remarquables exceptions comme Archimède. Certains domaines échappent à la séparation : l'astronomie, l'optique et la musique parce que les choses qu'on y étudie se comportent presque comme des objets mathématiques : le mouvement parfait et régulier des astres, le rayon visuel (ou lumineux) qui est comme une droite et la musique qui est la science des rapports.

Aristote ne disqualifie pas les mathématiques pour autant. Elles ont des caractéristiques particulièrement précieuses : leur exactitude et la rigueur de leurs démonstrations. En tant que logicien (et Aristote fut le fondateur et le législateur de la logique) il considère qu'aucune science n'est mieux à même de montrer comment fonctionnent les règles et les principes de la déduction logique. Il est donc un des principaux partisans de l'organisation axiomatique et déductive de la géométrie telle qu'elle va triompher dans les *Eléments* d'Euclide.

- Les *Eléments* d'Euclide, un des livres qui a fait l'Europe.

Un auteur assez mal identifié, un groupe peut-être, a rédigé à une date incertaine un livre que vont adorer et vénérer les générations successives durant des siècles ou même

des millénaires. Serions-nous en train d'évoquer la Bible ? Non mais presque ; cette *bible des mathématiques* est connue sous le nom des *Eléments* et son auteur principal est Euclide d'Alexandrie qui y travailla au III<sup>e</sup> siècle av. J.C. Euclide a rédigé d'autres ouvrages de grande importance, que ce soit en géométrie en musique ou en optique. Les *Eléments* constituent cependant son plus grand titre de gloire.

- Le musée d'Alexandrie (III<sup>e</sup> av.J.C.- IV<sup>e</sup> ap.J.C.)

Avec Euclide, nous avons migré, depuis la Grèce athénienne jusqu'à Alexandrie, ville d'Egypte qui va devenir, durant les sept siècles suivants (de 300 av. J.C. jusqu'à 400 ap. J.C.), le principal centre des activités scientifiques de la Grèce antique.

Le roi Ptolémée Sôter, qui règne après la mort d'Alexandre y édifie une institution absolument remarquable ; elle est constituée d'un musée et d'une bibliothèque. Il faut imaginer un vaste domaine, avec jardins, salles de travail, logements, restaurants, salles d'observations, de dissections et une immense bibliothèque. Les *pensionnaires*, triés parmi les plus grands savants du monde hellénistique, y reçoivent une pension, peuvent y travailler ensemble, enseigner et former des disciples. Parfois nommée *la maison des muses*, cette institut a brillé sur tout le monde grec jusqu'à sa fermeture violente par les autorités romaines.

- Archimède le plus grand des syracusains

Il est, aux yeux de bien des historiens des sciences, le plus grand savant de l'antiquité, une sorte de Newton, ou d'Einstein de son époque. On connaît surtout ses découvertes en mécanique (la loi du levier), en hydrostatique (la poussée d'Archimède). On sait moins qu'il fut aussi grand en géométrie ou en astronomie et il est bien entendu impossible de présenter ne serait-ce qu'une vue d'ensemble de ses travaux.

- Hypatie la philosophe assassinée

A Rome on n'a pas ou très peu cultivé les mathématiques, du moins les mathématiques théoriques et abstraites. La fin de l'empire romain d'occident coïncide avec une très cruelle attaque contre une représentante des sciences et des mathématiques grecques, Hypatie d'Alexandrie (370-415). Elle avait succédé à son père Théon, à la tête de l'école néo-platonicienne installée dans le Musée d'Alexandrie. On est à peu près sûr qu'elle a écrit des commentaires sur les *Arithmétiques* de Diophante, sur les *Coniques* d'Apollonius et sur *les tables* de Ptolémée. Ses œuvres sont perdues, brûlées sans doute au cours de l'ultime incendie de la Bibliothèque. Elle eut une très grande notoriété et donnait ses cours, à la mode grecque, en parlant debout et dehors, à ses disciples qui venaient parfois de fort loin pour suivre son enseignement.

Les circonstances de sa mort sont bien connues : un jour de mai 415, alors qu'elle vient de quitter son auditoire, un groupe de chrétiens s'empare de la philosophe, la frappent, la déshabillent, la transpercent, la lapident puis la brûlent.

Les raisons de ce crime sont confuses ; le patriarche Cyrille, chef de l'Eglise chrétienne d'Alexandrie en est généralement tenu pour responsable. Il aurait inspiré cette attaque de fidèles de la nouvelle religion en justifiant leur hostilité et même leur haine à l'égard de la science et de la philosophie *païenne*. Quel plus remarquable symbole que cette femme belle, savante, écoutée ? L'évêque Jean de Nicée justifie totalement cette acte et loue Cyrille « car il avait détruit les derniers restes d'idolâtrie dans la cité ».

Des conflits politiques plus complexes ont pu jouer, y associant le préfet romain Oreste qui aurait été trop proche d'Hypatie. De toute façon, ce tragique assassinat a lourdement marqué l'histoire des relations entre la religion chrétienne d'une part et les sciences et la philosophie d'autre part.

## ASTRONOMIE, LE MONDE DES SPHERES

Environ huit siècles (du VI<sup>e</sup> av. J.C. au II<sup>e</sup> ap. J.C.) vont s'écouler au long desquels le système du monde qu'on appelle *géocentrique* (ayant la terre pour centre) est mis au point. On lui attache généralement les noms d'Aristote et de Ptolémée. L'accord général apparent sur l'architecture de l'ensemble ne peut cacher les différences profondes de conceptions que se font les savants sur ce monde géocentrique.

- L'harmonie du cosmos

Le mot grec *cosmos*, signifie *ordre*. Nommer ainsi le monde constitue déjà une prise de position forte; on reconnaît qu'il est ordonné, ce qui ne va pas de soi. Les étoiles tournent toutes ensemble et paraissent parfaitement immobiles les unes par rapport aux autres. Pourtant, il en existe quelques unes, indisciplinées, qui semblent déranger cette immobilité ; ces *astres errants* ont des trajectoires à la fois régulières et complexes, très complexes même. Ce sont les planètes et les grecs en connaissent sept, la Lune, le Soleil, Vénus, Mercure, Mars, Jupiter et Saturne. Tel est le matériau de départ de l'astronomie : une voûte étoilée où brillent, la nuit, les *étoiles fixes* et sept *planètes* qui se déplacent dans une même bande, le zodiaque, selon des trajectoires mystérieuses.

- La sphère est la forme parfaite du monde.

Avant les pythagoriciens, diverses thèses ont été avancées concernant la structure du monde: Thales imagine une demi-sphère céleste posée sur des *eaux inférieures* où flotterait notre terre, comme un cylindre aplati. Anaximandre, élève de Thales propose une sphère percée de trous laissant passer la lumière du feu extérieur, les trous nous donnant à voir le soleil, la lune ou les étoiles. Anaximène a une idée qui va marquer l'astronomie jusqu'au début des temps modernes : une immense sphère de cristal entoure notre monde et les étoiles sont comme des clous fixés à cette voûte en rotation.

Pythagore et son école adoptent la sphère du monde, dite sphère des étoiles ou des fixes. Ils exploitent au maximum l'idée de perfection de la forme sphérique qui, selon eux, convient aussi à notre terre. A partir d'eux, dans tout le monde grec, et au delà de celui-ci, dans tout le monde cultivé, se répand la thèse d'une Terre ronde. Les planètes - sphériques elles aussi - sont attachées à des sphères célestes en mouvement. On doit signaler quelques contestations au sujet de la forme de la terre, chez les atomistes de l'antiquité notamment, mais elles furent très minoritaires.

Résumant le rôle des pythagoriciens, Proclus (V<sup>e</sup> siècle ap. J.C.) juge que leur maître « avait mis en œuvre une méthode purement intellectuelle et avait découvert l'existence d'une

Les Pythagoriciens tardifs n'ont pas éprouvé de difficulté à mettre la Terre en mouvement, même si c'est autour d'un bien étrange foyer central.

- Dans le *Timée*, Dieu forge le monde

Une étape considérable est franchie avec Platon, au cours de deux *dialogues* qui font une large place à l'astronomie, le *Timée* et la *République*.

Dans le *Timée*, on apprend que “ La figure donnée par Dieu à l’Univers est la plus parfaite, celle qui est toujours et partout semblable à elle-même; partant, la plus belle, celle de la sphère. A ce monde sphérique, il a attribué le mouvement qui lui convient le mieux : le circulaire ”.

La terre est au centre, puis viennent la lune, le Soleil, Vénus, Mercure, Mars, Jupiter et Saturne. Cet ordre est celui qu’adoptent Platon, Eudoxe, Aristote, et avant eux, Anaxagore et les pythagoriciens.

La recherche des trajectoires des astres est reconnue par Platon comme *laborieuse*. C’est peu de le dire. Pour l’observateur terrestre qui étudie une planète, celle-ci paraît capricieuse, freinant à certaines périodes, reculant, puis reprenant son mouvement principal (c’est le phénomène des *stations* et *rétrogradations* des planètes).

De cette combinaison de mouvements résultent des « courses qui sont prodigieusement nombreuses et extraordinairement variées ». L’astronomie va dès lors consister à décrire les *danses* de ces corps célestes, leur juxtaposition les unes avec les autres ; il va falloir déterminer les rétrogradations et les progressions de leurs courses circulaires, dire quand elles se trouvent en conjonction, montrer lesquelles se font écran l’une à l’autre et évaluer les périodes au bout desquelles chacune se cache à nos yeux pour de nouveau reparaître (ce sont les phénomènes d’éclipses), provoquant ainsi l’effroi et fournissant des présages sur les événements à venir aux gens qui ne sont point capables de les prévoir grâce au calcul.

L’astronomie platonicienne est donc surtout un vaste programme de travail : aux astronomes géomètres, Platon fixe la tâche d’inventer des dispositifs géométriques capables de rendre compte de ces terribles complications. Les outils de base sont fixés : les mouvements essentiels (les seuls admissibles) sont circulaires, les vitesses doivent être régulières, les structures de cette formidable construction doivent être des sphères ou des bandeaux de sphères (on les appelle des orbites) et enfin, la terre est au centre de ce manège cosmique.

- Le traité Du ciel d’Aristote

Le traité qu’Aristote a consacré à l’astronomie a inspiré des centaines, peut-être des milliers, de commentaires, souvent énormes et fort savants, il s’intitule simplement *Traité du ciel*. Le philosophe y fait le bilan des connaissances, « améliore » encore le système des sphères planétaires au point d’en exiger 56 pour faire tourner la machine avec précision! Surtout, il veut présenter la véritable réalité du cosmos. Il ne s’agit pas seulement d’imaginer des cercles et des sphères géométriques commodes, comme le font les géomètres, mais de décrire le monde « en vrai ». Aristote soutient comme première thèse qu’en dehors de la sphère *ultime* qui est la frontière du monde, il n’y a *rien*, radicalement *rien*. N’allons pas imaginer qu’au delà, s’étende un espace vide ! Il n’y a pas d’espace, ni de lieu, ni de temps, c’est le néant, le non-être. La seconde thèse établit que la sphère ultime, animée par le *premier moteur* (où les théologiens de l’islam et de la chrétienté essaieront de reconnaître Dieu), fait tourner la sphère des étoiles fixes autour de l’axe du monde. La troisième thèse essentielle enseigne que l’intérieur du monde est divisé en deux régions : la région céleste qui va de la lune jusqu’aux étoiles (on la nomme *région supra lunaire*). Cette région où rien de naît ni ne meurt est parfaite, immuable ; elle est faite d’une matière inaltérable (l’*Ether* ou *corps premier*, par la suite souvent appelée *quintessence*) qui tourne éternellement, toujours égale à elle-même. La seule



division qu'on y rencontre est celle des sphères planétaires qui sont à la fois invisibles, sans poids et impossibles à traverser. Ces sphères matérielles sont parfois qualifiées d'*adamantine* (pour indiquer qu'elles sont comme du diamant). En dessous de la lune, s'étend la région *sub lunaire*, jusqu'à la terre, au centre du monde. Là, c'est tout l'inverse, les choses et les êtres naissent, grandissent, meurent, bougent en tout sens. L'astronomie s'occupe de comprendre ce qui se passe dans la région *supra lunaire*.

Ce modèle va dominer l'astronomie jusqu'au XVII<sup>e</sup> siècle, il sera adopté par la grande majorité des astronomes arabes, puis latins jusqu'à sa destruction par Copernic, Tycho Brahé, Kepler, Galilée etc.

- Ptolémée, géographe, musicien, mais surtout astronome.

Après l'œuvre d'Hipparque, il y a comme un très étrange *vide* dans l'histoire de l'astronomie. On utilise, on exploite les découvertes et méthodes précédentes sans y apporter d'amélioration notable. Au second siècle ap. JC., cependant, un achèvement splendide est accompli dans l'astronomie circulaire géocentrique ; ce couronnement exceptionnel est dû à Claude Ptolémée (vers 90-170 ap. JC.). Il travaille à Alexandrie où il rédige le plus marquant de tous les traités d'astronomie jamais conçus, la *Syntaxe mathématique* (connue ensuite comme l'*Almageste*, voir chap.8). Ce traité est d'abord un chef d'œuvre géométrique puisque l'auteur invente ou développe la trigonométrie sphérique (l'étude des angles et des triangles construits sur une sphère), ainsi qu'il convient pour étudier la voûte étoilée et les sphères planétaires.

L'œuvre de Ptolémée en astronomie a eu une influence comparable à celle des *Eléments* d'Euclide en géométrie, immense donc ! Elle sera critiquée et modifiée mais offrira une image du monde admise presque par tous et partout durant les quinze siècles à venir, aussi bien dans les pays de langue arabe que dans le monde latin.

## Les quatre Eléments et le cinquième

La physique est un terme dont le sens a beaucoup changé depuis sa naissance. Les savants dont il va être question ici, et qui furent nommés *physiciens*, avancèrent des thèses très générales concernant l'existence de l'Univers et de tout ce qu'il contient, aussi bien ce qui est vivant qu'inanimé, terrestre que céleste.

- Empédocle (490-435) et les quatre éléments

Quel succès ! Qui ne connaît, au moins l'expression *les quatre éléments* ? La théorie remonte à Empédocle d'Agrigente dont on ne sait pas bien d'où il l'a sortie. Pourquoi abandonne-t-il l'élément unique comme ses prédécesseurs ? Pourquoi pas trois, ou deux, ou cinq ?

Il est de toute façon remarquable de constater qu'Empédocle inspire ou touche à la fois, les pythagoriciens, les atomistes, les platoniciens et aussi Aristote qui confortera la thèse des quatre éléments.

- Démocrite (460-370) et Epicure (341-270): les atomes forment les mondes.

L'atomisme contemporain se plaît à reconnaître en Leucippe, Démocrite, Epicure puis Lucrèce ses lointains mais bien authentiques ancêtres. Lorsqu'il voulu réhabiliter la doctrine atomiste au XVII<sup>e</sup> siècle, le philosophe Pierre Gassendi s'appuya aussi sur ces même anciens. Il n'est donc absolument pas exagéré de soutenir que les théories atomistes de l'antiquité ont eu une influence primordiale et ont puissamment marqué l'histoire des sciences, de la physique en particulier.

Démocrite d'Abdère, le véritable fondateur de l'atomisme, naquit en 460. Sa théorie est fondée sur une proposition essentielle : l'Univers est formé d'atomes et de vide. Les atomes sont en nombre infini, ils sont indestructibles et impossibles à couper (*insécables*), ils n'ont pas de parties et sont tous de la même substance. On ne les voit pas, ne les sent pas, on *sait* qu'ils existent, voilà tout. Ils sont de dimension et de forme variable.

La cosmologie des atomistes est à la fois grandiose et déficiente : grandiose puisqu'ils n'hésitent pas à soutenir que l'Univers est infini et n'a pas de centre ; au sein de cet univers vide, des atomes se choquent en tous sens et lorsqu'un grand nombre d'entre eux se rassemblent en un vaste tourbillon, celui-ci s'entoure d'une sorte d'enveloppe qui devient la frontière d'un Monde en constitution.

- Aristote invente la science de ce qui change, la physique

La physique est-elle possible en tant que science ? Telle est bien la question à laquelle les grands courants de la pensée grecque, avant Aristote, semblent imposer une réponse négative. En effet, la physique, nécessairement, s'occupe de choses qui changent, qui bougent, qui grandissent etc. : des cailloux qui tombent, du feu qui consume, de l'eau qui gèle, de la plante qui croît et se fane

Aristote ne contourne pas l'obstacle et admet que la physique doit bel et bien être la science de *ce qui change*. Alors comment échapper à l'alternative du « tout changement »

contre le « pas de changement » ? En modifiant l'idée que l'on doit se faire de « être ». Un exemple fameux est celui-ci : un sculpteur taille un bloc de marbre qui donc « change » : ce bloc de marbre est –en un certain sens- un simple et grossier bloc de marbre, mais il est –en un autre sens- déjà une statue d'Aphrodite. La statue d'Aphrodite, durant cette opération *est* et *n'est pas* en même temps. Aristote dit qu'elle est « en puissance », elle n'est pas *absolument*. Quand elle sera terminée, elle sera *en acte*. Le changement qui s'opère ne condamne pas la statue au non-être. Une graine est semée : un arbre existe *en puissance* alors qu'elle grandit ; il n'est pas absolument, mais il n'est pas complètement privé d'existence. Bref, de tout ceci, Aristote tire la conclusion qu'une science de ce qui change est possible ; cette science est la physique et son champ est immense puisque, affirme-t-il, *ignorer le mouvement, c'est ignorer la nature*.

- Deux mouvements simples : le circulaire et le rectiligne

Aristote cherche quels peuvent être les mouvements simples et découvre qu'ils sont nécessairement associés à des trajectoires simples. Or, il en existe deux et deux seules : la ligne droite et la ligne circulaire. Ces deux là sont bien différentes. La ligne droite a un début et une fin, elle indique des directions contraires, elle n'est pas infinie (le monde étant limité, il n'y a pas de droite infinie) ; pour ces raisons, la ligne droite convient à la région du monde où les choses changent, s'opposent, ont un début et une fin : tel est le monde terrestre et ses environs, jusqu'à la sphère de la lune. L'astronomie nous montre que rien ne se passe ainsi au-delà, dans les cieux. Dans cette région *supra-lunaire*, c'est le mouvement circulaire qui règne. Tout ceci est très cohérent : la ligne circulaire est sans commencement ni fin, elle n'exige pas que l'on fasse demi-tour pour revenir à un point déjà rencontré. Cette trajectoire convient aux objets de l'astronomie, à la sphère des étoiles et à celles des planètes qui jamais ne meurent.

- La matière du ciel, le cinquième élément.

Qu'y a-t-il donc dans les cieux ? Une substance parfaite, adaptée au mouvement circulaire simple et parfait ; une matière inaltérable qui ne s'use pas et ne se transforme pas ; une substance qui bouge sans changer : il la nomme *corps premier* et parfois *éther*. Les auteurs par la suite la désigneront souvent par le mot *quintessence*, la cinquième essence ou encore le *cinquième élément*. C'est que, précisément les *quatre premiers éléments* constituent le monde *sub lunaire*, la terre et sa banlieue.

- « Sous la lune », les éléments se transforment

Les réponses apportées par Aristote à la diversité infinie de la matière réelle du monde sont beaucoup plus élaborées que chez aucun de ses prédécesseurs. Les quatre éléments sont associés à des *qualités premières* que sont le *sec*, *l'humide*, *le froid* et *le chaud*. Des transformations sont possibles d'un élément en un autre par modification des qualités (ainsi, par chauffage, le froid devient chaud et l'élément s'en trouve changé). L'entreprise aristotélicienne est si audacieuse, si ample, si riche qu'elle agira comme une sorte de rouleau compresseur quand elle sera connue et diffusée, écrasant les concurrentes et occupant presque tout le terrain praticable par une science de la nature.

Une thèse aristotélicienne forte finira par se révéler aussi vulnérable que le Talon d'Achille. Selon le philosophe de Stagire, la nature est si diversifiées et changeante que les sciences de la parfaite exactitude et de l'éternelle stabilité ne lui conviennent pas : les mathématiques ne peuvent pas faire bon ménage avec la physique ; autrement dit, il n'y a pas de place, selon Aristote, pour une physique mathématisée. On sait que, bien plus

tard, aux XVII et XVIII<sup>e</sup> siècles, l'essor de la physique classique se fera grâce au succès de la thèse inverse.

- Archimède, *Eureka*

Beaucoup d'historiens voient en Archimède (287-212) le plus grand savant de l'antiquité ; il ne fait pas de doute qu'il serait sur une des marches du podium si un classement de ce type existait. Il intervient en mathématiques, en astronomie, en optique, en mécanique et une bonne partie de ses œuvres nous sont parvenues, circonstance qui contribue évidemment à une grande renommée.

L'optique et l'astronomie, chacun le sait dans la Grèce classique, s'arrangent fort bien avec la géométrie et la théorie des proportions ; leurs objets (rayon de lumière ou astres) ont quelque chose d'idéal et parfait qui explique cette proximité. Il n'en va pas de même avec les objets ordinaires « autour de nous ». C'est une des thèses fortes d'Aristote. L'œuvre d'Archimède est une manière de démenti opposé à cette idée de l'inadéquation des mathématiques à la physique. Il va montrer que la mécanique permet des applications rigoureuses et performantes des mathématiques au monde matériel.

## LES SCIENCES DU VIVANT

L'hommage que Charles Darwin, l'inventeur de la théorie de l'évolution, rend à Aristote est impressionnant : “ Linné et Cuvier ont été mes divinités, écrit-il, mais ce ne sont que de simples écoliers en comparaison du vieil Aristote ”. Celui-ci peut en effet être reconnu comme le fondateur des *sciences naturelles* dans notre culture gréco-arabo-latine. Ce qui a souvent séduit dans cette partie de l'œuvre aristotélicienne est la constitution d'une science à partir de l'observation du monde sensible, à partir d'une véritable *enquête de terrain*.

- Qu'est-ce qui fait qu'un être est vivant ?

Qu'est-ce que *la vie* ? Qu'est-ce qui fait qu'un être vivant est vivant ? S'il existait une réponse claire à cette interrogation, *ça se saurait*. Les anciens ont étudié la chose : la doctrine de Platon était celle des âmes séparées, qui existent avant d'habiter notre corps et lui survivent, rendant possible le processus de réincarnation mais elle n'a pas convaincu Aristote qui conteste vigoureusement la théorie de son maître.

Pour expliquer la vie des « êtres animés » (plantes et animaux) Aristote se tient à l'écart de deux positions *simples* : la doctrine platonicienne des âmes séparées et une autre selon laquelle, la vie résulterait de l'arrangement des organes matériels, elle serait une combinaison mécanique d'éléments.

Pour lui, la matière, en elle-même, est incapable de s'animer, de devenir vivante. Il y faut quelque chose de plus, un *principe vital* qu'il baptise *eidōs*. Cette *sorte d'âme* est pour le corps tout entier comme la vue pour l'œil ; elle est une *fonction vitale* qui disparaît quand l'être vivant meurt. L'âme animale est l'ensemble des facultés qui font qu'un corps matériel convenablement disposé peut marcher, respirer, se reproduire, agir sur son milieu.

Un des principaux biologistes du XX<sup>e</sup> siècle, Ernst Mayr –emporté par son admiration enthousiaste- reconnaît dans l'*eidōs* d'Aristote, un équivalent au programme génétique de la science moderne.

- Classer les espèces, l'enquête d'Aristote

On connaît une *Histoire des animaux* d'Aristote et on sait qu'il y eut aussi une *Histoire des plantes*, perdue. Si on y ajoute les traités probables intitulés *les parties des animaux*, *la génération des animaux*, *le mouvement des animaux*, *la marche des animaux*, on conviendra que l'œuvre zoologique et botanique est considérable. Il traite d'anatomie comparée, des fonctions de reproduction, de locomotion, de sensation, à partir de sources variées, les témoignages des éleveurs, la littérature médicale, les récits de voyageurs etc. S'appuyant le plus possible sur des observations personnelles, Aristote s'intéresse aux mœurs des animaux, à l'influence des climats, de leurs habitats, de leurs maladies.

Aristote défend l'idée d'une nature organisatrice qui cherche à réaliser la perfection ; ainsi, la nature attribue toujours aux animaux des organes dont ils sont capables de se servir, car elle ne fait rien en vain ni de superflu.

- Préformation, épigénèse, parties des animaux.

Une controverse de 2000 ans fut entretenue, sinon inaugurée, par Aristote : les uns, à la suite d'Hippocrate, pensaient que les animaux sont complètement préformés dans la semence parentale. Contre eux, il défend l'idée d'une formation progressive des organes au cours du développement embryonnaire et donc de l'édification graduelle du fœtus ; c'est la théorie de l'*épigénèse*. Aristote pense la nature à la fois comme parfaite et comme « bricoleuse », ce qui est sans doute difficile à concilier mais offre un cadre de pensée très riche et très souple. La nature en général, c'est-à-dire le monde, est éternel et parfait ; disons plutôt qu'il *tend à la perfection*. Ceci est surtout vrai dans notre monde terrestre où les choses naissent, se développent, vieillissent et meurent ; la nature *arrange* la matière pour qu'elle adopte des formes de mieux en mieux : les parties des animaux se font ainsi, elles ne sont pas *préformées une fois pour toute*.

- Les grands médecins, les asclépiades descendent des Dieux

En Grèce ancienne, on est médecin de père en fils, ou en fille même si c'était plus rare. Hippocrate, le plus célèbre des médecins dans toute l'histoire de cette discipline ne fait pas exception à la règle. Sa célébrité universelle est due au « serment » qui porte son nom et que doivent prêter les jeunes médecins embrassant la carrière. Ce grec du cinquième siècle avant J.C. est fils de médecin, petit-fils de médecin. Ses deux fils sont médecins et enseignent à leur tour la médecine à leurs enfants. On s'est d'ailleurs souvent demandé pourquoi Aristote ne fut pas médecin, lui dont le père et la mère l'étaient. On disait de ces médecins ou de ces dynasties médicales qu'ils étaient des *Asclépiades*, des descendants du Dieu de la médecine Asclépios.

Un trait caractéristique tient au fait que le médecin hippocratique est non seulement un praticien, mais aussi un théoricien. Contre les charlatans qui se mêlent de médecine, il doit s'appuyer sur la connaissance des lois générales de la nature pour comprendre la santé et la maladie. Les théories physiques concernant les éléments primordiaux, comme le feu, l'air, l'eau et l'air ou les qualités premières comme le sec, l'humide, le froid et le chaud sont au programme de la formation médicale. Une thèse forte soutient que

l'homme, constitué de ces éléments primordiaux, est une image, un microcosme, de l'univers tout entier, le macrocosme. La *théorie des quatre humeurs* (voir le paragraphe sur Galien) appartient à ce genre de spéculation mais il semble qu'elle ne soit apparue que dans un texte du genre d'Hippocrate.

La pensée d'Hippocrate exerça une immense influence sur la médecine pendant 20 siècles, admirée ou critiquée, mais toujours source d'inspiration.

- Galien, médecin des gladiateurs et des empereurs

Avec Hippocrate, Galien (129-201) est l'autre géant de la médecine de l'antiquité. Grec lui aussi, il vécut cependant surtout à Rome à une époque où celle-ci dominait le monde et donc la Grèce. Il est médecin des gladiateurs de Pergame, sa ville natale, située dans la Turquie actuelle, puis de l'élite romaine, y compris l'empereur Marc-Aurèle et son sinistre fils Commode le mal nommé. Son œuvre est énorme, plusieurs centaines d'ouvrages où il traite de médecine bien sûr, mais aussi de philosophie, d'histoire et de littérature. Jeune, il se rend à Alexandrie où l'on peut étudier des squelettes humains. On dit qu'il emploie jusqu'à 20 scribes pour transcrire ses paroles.

Sa fidélité intellectuelle à Hippocrate est sans faille et le pousse même à défendre *mordicus* que l'anatomie hippocratique est une source infaillible de vérité.

Il y a donc le Galien théoricien, mais aussi le Galien praticien...et quel praticien ! Il pousse aussi loin que possible l'étude anatomique, se référant à Hippocrate, mais observant et expérimentant lui-même : il multiplie les dissections mais, ne pouvant le faire sur des corps humains, il met les animaux à contribution, parfois morts, d'autres fois vifs. Les porcs, les singes, et même les éléphants dit-on.

L'autorité de Galien fut immense, au point que certaines « erreurs » ou « fausses pistes » devinrent des vérités que les successeurs eurent le plus grand mal à réfuter : la communication directe qu'il avait cru repérer entre les ventricules droit et gauche du cœur en est le meilleur exemple.

Cette œuvre immense a irrigué le monde arabe où elle fut traduite, commentée, exploitée, puis le monde latin, dans lequel le *galénisme* resta la doctrine médicale dominante jusqu'au XVI ou XVII<sup>e</sup> siècle.

## ESPACE TEMPS ARABE

C'est par abus de langage et commodité que l'on parle de moyen-âge arabe : en effet, les perses, les turcs, les berbères, les égyptiens, les andalous sont inclus dans cet ensemble alors qu'ils ne sont pas arabes ; les juifs ou les chrétiens qui travaillèrent sous les califes de même. Mais la langue arabe unifie ces peuples divers et la science comme la philosophie est quasi entièrement produite, de Tabriz à Cordoue en arabe. L'Islam est évidemment, à partir du VII<sup>e</sup> siècle, une référence commune dans cet ensemble, soit comme facteur de discorde, de guerre et de ségrégation, soit comme force unificatrice et sachant organiser la cohabitation intellectuelle avec les juifs et les chrétiens de ces régions. Le moyen-âge latin concerne géographiquement les états chrétiens « romains », de l'Irlande au sud de l'Italie et de l'Espagne au fur et à mesure de la *reconquista* ; vers l'est on ira jusqu'en Pologne et aux frontières de l'empire byzantin. Là encore, les oppositions internes sont vives et souvent guerrières. Cependant une langue commune aux lettrés, le latin, unifie largement les développements scientifiques et permet aux idées de circuler, d'être commentées, critiquées, améliorées. Le « moyen-âge » byzantin est une notion un peu impropre puisqu'elle recouvre en fait l'entièreté de l'existence de cet empire.

Le moyen-âge a été tenu longtemps par les occidentaux pour une période de ténèbres pour la raison, d'obscurité et de barbarie. Telle est l'image que nous en a donné le siècle des lumières et qu'a renforcée le XIX<sup>e</sup> siècle. Les citations sont légions où l'on apprend que les médiévaux sont coupables « d'une pratique barbare de la science », que les érudits d'alors « s'appliquent à des études pires que l'ignorance ». On s'apitoie sur le sort « d'un esprit raisonnable obligé de lire les 21 in-folio incompréhensibles d'Albert Le Grand ». Deux arguments principaux alimentent ce jugement : le premier est que le moyen-âge serait arabisé et que cette influence arabe aurait corrompu, stérilisé, enlaidi la pensée et paralysé la science. Le second est que le moyen-âge, tant arabe que latin ou byzantin fut immergé dans la théologie, dans l'un ou l'autre des grands monothéismes. Cette immersion aurait mis les sciences sous la dépendance de la révélation divine et des dogmes des églises, les condamnant à l'impuissance et à la stagnation.

Ces jugements ont été très largement réfutés et les études médiévales du XX<sup>e</sup> siècle ont apporté une moisson extraordinaire de découvertes de théories et d'inventions scientifiques médiévales.

- Le monde arabe

Alors que l'occident chrétien connaît une longue période de stérilité philosophique et scientifique, les pays de langue arabe sont le théâtre d'une « transition des études » complexe mais très puissante. L'immense réservoir de connaissance mathématiques, astronomiques, physiques, médicales du monde hellénique va nourrir l'activité intellectuelle des savants « arabes », activité d'une magnifique fertilité durant environ sept siècles. Il y a trois voies principales de cette « transition » ou « appropriation » : d'Athènes vers la Perse et de la Perse vers Hârran, une deuxième d'Alexandrie vers les monastères chrétiens du Moye-Orient et une troisième d'Alexandrie vers la Syrie et Bagdad. Ensuite, ces savoirs se répandent et se transforment à travers l'ensemble des empires du monde musulman, de Bagdad à Cordoue.

- Le mécénat à grande échelle

Les grandes dynasties qui se succèdent, dirigeant tout ou partie du monde arabo-musulman sont principalement les omeyyades, les abbassides, les Seljukides, les almohades, les ayyubides et les mongols. D'une façon ou d'une autre, elles favorisent ou permettent le développement des activités scientifiques. De grandes bibliothèques voient le jour dès le VII<sup>e</sup> siècle, les grandes traductions des textes grecs, persans, syriaques commencent sous les omeyyades. La forme habituelle d'organisation des sciences arabes fut celle du mécénat, souvent du fait de princes ou même des califes. Avec les quatre califes al-Mansur (754-775), al-Mahdi (775-785), Harun ar-Rashid (786-809) et al-Ma'mun (813-833), cet encouragement se fait à grande échelle. Le mécénat s'est répandu largement ; on en trouve un bon exemple avec le calife de Cordoue al-Hakam II (961-976). Nous verrons l'effort considérable (plus tardif cependant) pour construire et entretenir de remarquables observatoires astronomiques.

Les grands savants de l'Islam ont généralement été distincts des théologiens et des religieux. A côté de quelques hommes au savoir encyclopédique, comme Ibn-Sina (Avicenne, m.1037) , al-Farabi (m.950), al-Kindi (m. vers 873) et Ibn-Rushd (Averroès, m. 1198), qui furent géomètres, astronomes, médecins, philosophes, la plupart se spécialisèrent dans telle ou telle branche du savoir.

- La *translatio studiorum* : transmission, traduction ou appropriation ?

Les traductions des textes scientifiques grecs vers l'arabe furent très nombreuses, mais réalisées sur la longue durée, parfois avec des intermédiaires (le syriaque notamment) et moins systématiques que l'on ne l'a souvent décrit.

Quoiqu'il en soit, assez vite, les savants arabes disposèrent de plusieurs œuvres de Platon (*La République*, le *Timée* ...), et bien sûr d'Aristote. Celui-ci fut si hautement considéré qu'il était désigné sous le nom de *Philosophe* ou du *Premier maître*. « A quelques exceptions près, écrit A. Djebbar, les physiciens, les mathématiciens et les astronomes antérieurs au XIII<sup>e</sup> siècle, ont travaillé dans un cadre conceptuel aristotélicien ». Les grandes œuvres scientifiques n'échappèrent pas à leur curiosité, parmi lesquelles le principal traité d'astronomie de Ptolémée (nommé l'*Almageste* la grande), les *Eléments* d'Euclide, plusieurs traités d'Archimède, de Héron d'Alexandrie, des médecins comme Galien etc. L'art de la traduction peut d'ailleurs être considéré comme une science et les savants de l'Islam furent à l'origine de véritables écoles et théories de la traduction.

- Effondrement de la science et de la philosophie en occident

La partie occidentale de l'empire romain sombre en un siècle. Les barbares déposent Romulus Augustus, le dernier empereur romain en 476. Du point de vue religieux, le bouleversement est moindre qu'on pourrait le croire puisque les divers peuples barbares sont largement christianisés. Leur christianisme connaît, bien sûr et comme en orient, son lot d'hérésies multiples et d'habituelles controverses théologiques dont les conséquences peuvent être extrêmement graves. D'une manière générale, et pour des siècles, l'occident se détourne des études scientifiques et philosophiques, après qu'il ait donné naissance à un homme de génie isolé, Anicius Manlius Severinus Boethius, connu sous le nom de Boèce. Au cours de la longue décomposition du royaume de Clovis, l'activité scientifique est au point mort, sinon dans les îlots de culture que sont certains



monastères, en Irlande notamment. Puisqu'ils sont rares et précieux, on doit mentionner quelques cas de production scientifique et philosophique : Bède le Vénérable qui composa un *Traité de la nature* au début du VIII<sup>e</sup> siècle et surtout Jean Scot Erigène (fils d'Irlande) qui reprit, au IX<sup>e</sup> siècle, les travaux de Boèce et fut, plus tard, une source essentielle pour les grands scolastiques Albert le Grand et Thomas d'Aquin. On rapporte aussi que Charlemagne se faisait enseigner l'astronomie et le calcul par son secrétaire, le moine breton Alcuin.

- Boèce, le père de la logique en Europe.

Boèce (480-524) baigna dans la culture grecque ; il étudia à Athènes et Alexandrie puis devint ministre de l'empereur Théodoric en 510. Accusé de conspiration en faveur de Byzance, il fut condamné à mort. C'est en prison, avant d'être exécuté, qu'il écrivit la *Consolation de la philosophie*. Il y conçoit une double conciliation : entre les philosophies de Platon et d'Aristote d'une part, entre cette philosophie et la théologie chrétienne d'autre part. Ce programme aura une énorme influence en Occident jusqu'au XVII<sup>e</sup> siècle. Boèce traite en profondeur de la science de la logique, au point qu'on l'a reconnu comme *le maître de la logique en Occident*. Il adapte en latin les traités mathématiques grecs de Nicomaque et écrit des textes de géométrie où l'on reconnaît la probable présence des éléments d'Euclide. Il meurt sans successeur laissant un vide que rien ni personne ne viendra combler.

#### SEPT SIECLES DE SCIENCES ARABES

- Mathématiques

Les mathématiques arabes connaissent une période brillante qui va du VII<sup>e</sup> au XIV<sup>e</sup> siècle. Si l'assimilation des connaissances grecques et orientales fournissent un socle fondamental à leurs travaux, les mathématiciens arabes (en fait souvent Persans) vont explorer des domaines absolument nouveaux, à la fois sur le terrain pratique (architecture, commerce, optique etc.) et en élaborant des théories profondes qui dessinent l'avenir de cette science.

Les *Eléments* d'Euclide sont admirés mais soumis au feu d'une critique rigoureuse. La théorie des parallèles et le problématique cinquième postulat sont l'objet d'âpres discussions. Al-Gauhari au IX<sup>e</sup> siècle, puis Thabit ibn Qura, Ibn al-Haytham, al-Tusi et Ibn Al-Hayyam (XI<sup>e</sup> siècle) cherchent à démontrer ce postulat en modifiant la définition de deux droites parallèles. Ils inventent des pistes qui, plus tard seront poursuivies par les premiers découvreurs des géométries non-euclidiennes.

Le *Précis sur le calcul de al-jabr et al-muqabala* du mathématicien al-Khawarizmi (VIII<sup>e</sup>-IX<sup>e</sup>) peut être considéré comme la première pierre de la science algébrique (qui en tire son nom puisque *al-jabr*, devenant *algèbre* désignera cette forme de *calcul général* fait sur des termes éventuellement inconnus). Il eut une grande influence sur les mathématiques des latins du Moyen Age. A partir de situations concrètes (partages, mesures, héritages), al-Khawarizmi élabore des égalités (en fait des équations) qui permettent de découvrir les valeurs de l'inconnue pour lesquelles telle ou telle égalité est vraie. Il donne les résolutions des équations du second degré et leurs justifications géométriques ; à la fin du X<sup>e</sup> siècle Thabit ibn Qurra poursuivra ces travaux. La première *opération générale* est dénommée *al-jabr* (le complément) ; elle permet de supprimer des termes dans un membre de l'équation en « le faisant passer » dans l'autre membre .

La première théorie des équations est donc née chez al-Khawarizmi et ses successeurs.

Un homme absolument hors du commun, Umar al-Khayyâm, va donner à l'étude des équations un formidable développement. Il fut l'un des principaux philosophes, astronome et mathématiciens des pays d'Islam qui, pourtant, en connurent beaucoup. Né dans le Khorassan (à l'est de l'Iran actuel, la Perse d'alors), il a longtemps travaillé à Ispahan où il dirigea l'observatoire du sultan Malik Shah. Son œuvre d'algèbre géométrique sera poursuivie par Sharif al-Din al-Tusi son successeur ; son influence s'étend bien au-delà puisque Umar al-Khayyâm a inspiré ou au moins intéressé des mathématiciens latins du XVII<sup>e</sup> siècle, comme Saccheri ou Wallis.

Il faut aussi mentionner la trigonométrie, la mise au point des chiffres.

Il est souvent admis que c'est Gerbert d'Aurillac (futur pape Sylvestre II) qui fut le premier, vers 970, à décrire pour les occidentaux le système arabo-indien de numération. En 1130, l'anglais Adélarde de Bath publie les *Algorithmes du nombre des indiens*.

- Astronomie

La grande bibliothèque créée par al-Mansur, premier calife de la dynastie, lors de l'érection de la cité atteint son apogée avec al-Mamun, elle se fait bientôt connaître sous le nom de *dar al-Hikma*, ou *Maison de la sagesse*. Son organisation fait d'ailleurs penser à celle de la *Bibliothèque d'Alexandrie*. Comme elle attire des savants et philosophes d'origines (et de religions) diverses, les travaux de traduction y tiennent naturellement une place importante. Les manuscrits y sont rassemblés et livrés à des équipes de chercheurs et d'érudits qui comparent, analysent, recopient, traduisent en arabe et surtout commentent les textes issus pour la plupart des traditions philosophiques et scientifiques grecques. Ce travail se poursuit pendant environ deux siècles.

La pratique de l'Islam constitue –pour ses adeptes- l'une des motivations pour cultiver l'astronomie puisqu'elle donne les moyens de déterminer les dates du ramadan, calculer l'heure des cinq prières quotidiennes, fixer la direction de La Mecque dans un empire aux dimensions considérables. Certains historiens y voient une des spécifications essentielles de l'astronomie en pays d'Islam.

Al-Ma'mun entreprit la construction de deux observatoires, l'un, en 829, dans le quartier de Shamasiya, à Bagdad et l'autre, Qasiyun, près de Damas.

Les successeurs d'al-Ma'mun poursuivront cette politique et les observations dues aux astronomes arabes iront en s'améliorant et en s'enrichissant dans les siècles suivants. Le catalogue d'étoiles fixes dû à al-Battani, aux environs de 880, comme son évaluation de l'inclinaison de l'axe terrestre (23° 35') témoigne de ces progrès.

L'énorme succès de l'astrolabe ne se démentira pas jusqu'aux XVII, voire XVIII<sup>e</sup> siècles. C'est Gerber d'Aurillac (le *pape de l'an mille*) qui introduisit cet instrument dans le monde latin, à partir des traités qu'il étudia en Catalogne.

Pour l'empereur Frédéric II, pour les rois Louis IX ou Henri III, la grande terreur du XIII<sup>e</sup> siècle a un nom, sinon un visage : le grand Khan mongol. Vers 1250, le petit fils de Gengis Khan est Hulagu dont les armées, poursuivant leurs conquêtes en Europe orientale et envahissant la Syrie, semblent devoir venir au contact direct avec le monde chrétien.

Dans l'imaginaire de ce monde, le mongol est la barbarie incarnée, l'antéchrist, le mangeur d'homme, le fléau de Dieu. C'est pourtant cet homme, Hulagu, qui fait construire, au milieu du siècle, le plus bel observatoire astronomique encore jamais conçu.

Nasir al-Din al-Tusi, l'un des plus grands savants de l'Islam ; né dans la ville de Tus, en Perse. Sa renommée de savant est si grande que le grand Khan l'appelle auprès de lui lors de l'invasion de la Syrie. Il est là lors de la prise de Bagdad en 1258 et, un an plus tard, il persuade Hulagu de l'utilité de construire un grand observatoire qui est effectivement érigé à Maragha, près de la ville actuelle de Tabriz.

Après Maragha, on doit encore signaler une nouvelle édification à Tabriz, sur ordre de Rashid al-din, vizir de Ghazan Khan. Mais le déclin est bien là, inexorable et cette grande tradition d'observation brille de ses derniers feux, remarquables, à Samarkand où, en 1420, le futur roi de Perse, Ulugh Beg, fait construire un impressionnant observatoire où s'assemblent des savants eux aussi de grande valeur comme Mas'ud al-Kashi et al-Rumi. L'assassinat d'Ulugh Beg par l'un de ses fils, en 1449, sonne dramatiquement le glas de cette admirable expérience. L'observatoire de Samarkand, le dernier, avait aussi été le plus grand et le mieux équipé de tous ceux qui furent érigés dans le monde musulman depuis l'époque l'al-Ma'mun.

- Les sciences du monde sublunaire

Nombreux ont été les savants arabes à s'occuper d'optique. Deux d'entre eux occupent une place essentielle dans la réalisation de ce grand tournant qui fait de l'optique la science de la lumière. Il s'agit d'Ibn Sahl (seconde moitié Xe siècle) et d'Ibn al-Haytham (dit Alhazen 965-1040).

Il s'appuie aussi sur de très nombreuses expériences et on lui doit bon nombre de dispositifs optiques, comme les lentilles qui seront à l'origine des lunettes grossissantes, ou les sphères transparentes qui le mettent sur la voie de la théorie de l'arc-en-ciel. Son instrument le plus remarquable est la *camera obscura* qui sera redécouverte par les savants latins plus tard : il faisait passer la lumière par un minuscule trou fait dans un mur ; l'image est alors projetée, inversée sur le mur opposé.

Les mu'tazilites (un courant de théologiens philosophes plutôt favorables à la science 8<sup>e</sup>-10<sup>e</sup> siècles) font revivre l'atomisme.

Les travaux et découvertes en botanique dans le monde arabe se rencontrent d'un bout à l'autre des royaumes et califats, toutefois les principaux auteurs viennent surtout d'*al-Andalus*. Les splendides jardins de Cordoue et de Grenade servent notamment pour la pratique de greffes, de transplantations, d'acclimatation des plantes lointaines.

Il faut encore mentionner d'importantes activités aux frontières de l'alchimie et de la chimie.

#### LE DECLIN RADICAL

Un fait général. Le grand potentiel de développement des sciences, d'origine grecque, vers ce qui sera la science moderne avorte brusquement vers le XIV<sup>e</sup> siècle dans les pays d'Islam. Voici une grande question. Certains historiens y voient une situation normale : « Le fait est que l'exercice créateur de la connaissance de la nature prit fin dans la

civilisation islamique de même qu'il avait pris fin dans le monde grec. Il n'y a rien de mystérieux dans ce fait de la vie prémoderne. » (Floris Cohen, *Les raisons de la transformation et de la spécificité européenne*, p. 59). Il ajoute cependant : « Dans le cas islamique, où plusieurs événements régionaux, comme une série d'invasion successives et le repliement sur elle-même de la société islamique qui s'ensuivit, furent la cause que les valeurs coraniques qui y étaient omniprésentes commencèrent à être perçues comme incompatible avec la continuation de l'exercice de la connaissance de la nature ; ni le type de coloration qu'elle avait acquise, ni les supports institutionnels qui avaient fait que l'âge d'or avait perduré, ne furent suffisants pour endiguer le déclin » (*id.*)

Je ne partage pas vraiment cette thèse de l'extinction naturelle.

- LES RELATIONS ENTRE LES RELIGIONS ET LES SCIENCES

## LE PREMIER ESSORT DES SCIENCES EUROPEENNES

Deux processus de transmission et de transplantation de l'héritage grec sont à retenir : l'un eut pour médiatrice la civilisation islamique, grâce au mouvement de *translatio studiorum* des XIII<sup>e</sup> et XIV<sup>e</sup> siècles qui partit de Tolède (et aussi de la Sicile) ; l'autre, centré en Italie, grâce à un retour aux sources originales préservées dans leur grande majorité à Byzance et libérées lors de la chute de la cité en 1453.

- Effondrement de la science et de la philosophie en occident

La partie occidentale de l'empire romain avait sombre en un siècle. Les barbares déposent Romulus Augustus, le dernier empereur romain en 476. Du point de vue religieux, le bouleversement est moindre qu'on pourrait le croire puisque les divers peuples barbares sont largement christianisés. Leur christianisme connaît, bien sûr et comme en orient, son lot d'hérésies multiples et d'habituelles controverses théologiques dont les conséquences peuvent être extrêmement graves. D'une manière générale, et pour des siècles, l'occident se détourne des études scientifiques et philosophiques, après qu'il ait donné naissance à un homme de génie isolé, Anicius Manlius Severinus Boethius, connu sous le nom de Boèce. Au cours de la longue décomposition du royaume de Clovis, l'activité scientifique est au point mort, sinon dans les îlots de culture que sont certains monastères, en Irlande notamment. Puisqu'ils sont rares et précieux, on doit mentionner quelques cas de production scientifique et philosophique : Bède le Vénérable qui composa un *Traité de la nature* au début du VIII<sup>e</sup> siècle et surtout Jean Scot Erigène (fils d'Irlande) qui reprit, au IX<sup>e</sup> siècle, les travaux de Boèce et fut, plus tard, une source essentielle pour les grands scolastiques Albert le Grand et Thomas d'Aquin. On rapporte aussi que Charlemagne se faisait enseigner l'astronomie et le calcul par son secrétaire, le moine breton Alcuin.

- Boèce, le père de la logique en Europe.

Boèce (480-524) baigna dans la culture grecque ; il étudia à Athènes et Alexandrie puis devint ministre de l'empereur Théodoric en 510. Accusé de conspiration en faveur de Byzance, il fut condamné à mort. C'est en prison, avant d'être exécuté, qu'il écrivit la *Consolation de la philosophie*. Il y conçoit une double conciliation : entre les philosophies de Platon et d'Aristote d'une part, entre cette philosophie et la théologie chrétienne d'autre part. Ce programme aura une énorme influence en Occident jusqu'au XVII<sup>e</sup> siècle. Boèce traite en profondeur de la science de la logique, au point qu'on l'a reconnu comme *le maître de la logique en Occident*. Il adapte en latin les traités mathématiques grecs de Nicomaque et écrit des textes de géométrie où l'on reconnaît la probable présence des éléments d'Euclide. Il meurt sans successeur laissant un vide que rien ni personne ne viendra combler.

- La *libido sciendi* déferle en occident.

Assez brusquement, l'ambiance et les conditions intellectuelles changent aux XII<sup>e</sup> et XIII<sup>e</sup> siècles. On assiste à un déferlement d'informations scientifiques et philosophiques, du à la découverte, absolument massive, en quelques décennies, de plusieurs siècles de travaux arabes. La prise de Tolède en 1085 est un événement majeur en ce sens. Les espagnols conquièrent une partie d'*al-andalous*, c'est-à-dire le califat de Cordoue. Une multitude de textes, de traités d'astronomie, de médecine, de mathématiques, de physique sont soudain disponibles. La science arabe et, à travers elle, la science grecque

envahit les milieux érudits latino phones, d'autant plus avides qu'ils étaient démunis. D'une certaine manière, le vaincu (arabe) s'empare culturellement du vainqueur (les latins). Aristote, en entier, mais dans ses versions commentées, interprétées, modifiées par les grands savants de l'Islam (Ibn Rushd dit Averroès, Ibn Sina dit Avicenne...) devient de ce fait un auteur moderne. On dit souvent que la pensée d'Aristote domine et même étouffe tout le moyen-âge. C'est assez vrai de la logique et de la rhétorique aristotéliennes, mais pour le reste, sa philosophie naturelle, la science aristotélienne, c'est faux. Que l'on songe : les thèses physiques d'Aristote arrivent en occident vers le XII<sup>e</sup> siècle où elles suscitent l'enthousiasme, mais aussi des attaques sévères des gardiens de la tradition théologique. Au XIV<sup>e</sup> cette physique est contestée par des savants modernes, indépendants et audacieux (Buridan, Heytesbury... voir chapitre 9 et 14). Il faudra (ou il suffira de) deux siècles pour détruire l'influence d'Aristote. Une domination somme toute assez éphémère!

Le mouvement de traduction est lui aussi formidable et en quelques générations, tout ce corpus gréco-arabe devient latin, donc lisible dans tout l'occident. Ensuite, on assiste à la création des deux principaux *ordres mendiants* chrétiens, les dominicains (1217) et les franciscains (1226). Ils mettront leurs plus remarquables intellectuels au service des études scientifiques, logiques, philosophiques (en plus bien entendu des études théologiques). Enfin, et ce n'est pas le moindre facteur de bouleversement, des institutions d'un type nouveau (jamais il n'y en eu auparavant) voient le jour : les universités ! D'abord à Paris et très vite Oxford puis Salamanque, Montpellier, Toulouse, Naples, Padoue. Elles rassemblent des foules d'enseignants, d'étudiants, de visiteurs ; elles associent les franciscains et les dominicains, elles ont leurs propres lois et franchises. Ces universités deviennent des lieux de production de savoir, de recherche, de confrontation. Pour toutes ces raisons, il n'est pas erroné de juger que la *libido sciendi*, le désir de savoir est désormais –et pour toujours- intensément réveillé dans le monde latin. Où était le centre de tout ceci ? A Paris, dit-on souvent en jugeant que, succédant à Bagdad, la capitale française devient capitale de l'empire invisible du savoir. Vous oubliez Oxford, répondent facilement les anglais, et il est vrai que cette université tient la dragée haute à la Sorbonne et la compétition est extrêmement vive entre deux institutions sensiblement aussi actives et puissantes l'une que l'autre.

- Les grandes traductions

S'il fallait en citer un parmi les *traducteurs de Tolède*, on choisirait Gérard de Crémone. Il est né vers 1114 et travaille à Tolède à partir de 1167 avec des chrétiens arabes et des juifs érudits. Le bilan est impressionnant ; Gérard et son équipe donnent 71 traductions majeures : géométrie avec les *Eléments* d'Euclide revisités par Ishaq, astronomie, médecine, la *Physique* d'Aristote commentée par Averroès. On a cru, jusqu'en 1904, que la traduction de Gérard avait été perdue. A cette date, on a pu prouver que l'auteur, alors inconnu, d'une version assez répandue des *Eléments* d'Euclide était bien Gérard de Crémone.

## UNE COMMUNAUTE DE LETTRES.

- Les universités

Au XIII<sup>e</sup> siècle. Elles sont soumises à la juridiction papale mais jouissent d'une grande autonomie par rapport aux évêques, rois et seigneurs. C'est un espace de liberté du savoir qui est créé (la *libertas academica*). La genèse de ces institutions est complexe, issue des Ecoles, certaines religieuses, d'autres princières, d'autres privées, avec des chartres et des droits différents...peu importe ici.

Il ne s'agit pas d'aligner des dates et une liste, mais de comprendre qu'il se passe un événement essentiel, exceptionnel et fondateur, dans un intervalle de temps extrêmement court. Les détails sont infiniment délicats, mais le tableau général est d'une clarté éblouissante.

Bologne (1158), Paris (1200), Oxford (1167), Montpellier (1220), Valencia (1170), Cambridge (1209), Salamanque (1218), Padoue (1222), Naples (1224), Toulouse (1229), Sienna (1240), Rome (1245), Coimbra (1290), Lleida (1297), Avignon (1303), Orleans (1306), Pise (1343), Prague (1347), Perpignan (1350), Cracovie (1364), Vienne (1365), Heidelberg (1385), Cologne (1388), Budapest (1389) etc.

Débat sur le concept d'Université. Le cas de l'Université Al Quaraouiyine en 877 et al-Azhar en 988.

Quoiqu'il en soit :

XII<sup>eme</sup> siècle : 2 universités

XIII<sup>eme</sup> siècle : 13 universités

XIV<sup>eme</sup> siècle : 21 universités

XV<sup>eme</sup> siècle : 29 universités

Quelques caractéristiques : la notion de « nations » dans ces universités : des sortes de corporations internes qui associent des étudiants de régions ou pays distincts : ex. à Bologne, on a les Lombards, Toscans, Romains et aussi les *Ultramontani* : Français, Picards, Bourguignons, Normands, Catalans, Hongrois, Polonais, Allemands, Espagnols, Provençaux, Anglais, Gascons, puis les Portugais et les Savoyards).

Nombreuses : ex. vers 1400, Paris compte 4000 étudiants. Oxford 1700 et Cambridge 1300.

- Les lettrés itinérants

Le monde intellectuel médiéval est un monde en mouvement qui sillonne l'espace géographique sans s'inquiéter des frontières. Hugue de Saint Victor (début XII<sup>e</sup>) naît en Saxe, étudie à Hamersleben, s'établit à Paris. Thomas d'Aquin naît en Italie, près de Naples, suit Albert le Grand à Paris, puis à Cologne ; Roger Bacon, Duns Scot, Guillaume d'Ockham sont en Angleterre, en France, en Allemagne, en Italie, Jean de Sacrobosco (fin XII<sup>e</sup>, vers 1250 ?) est à Oxford, à la Sorbonne etc.

Point de méthode : une idée général subit des études qui la corrigent et presque toujours selon le principe du balancier. Donc, la mobilité universitaire du moyen-âge subit ces aléas.

Voir les travaux de Jacques Verger , « La mobilité étudiante au moyen-âge », Persée, *Histoire de l'éducation*, 1991, vo 50.

« Nul ne songe à nier que la mobilité géographique des hommes ait été un aspect très importants de la vie des universités médiévales... (Il faut) y introduire les nuances et les distinctions... »

Un point important : dès le XIIe siècle, il y a des rixes et affrontements et « il faut protéger les étudiants étrangers ».

Frédéric Barberousse (1158) : Sa sollicitude pour « tous ces écoliers qui voyagent pour étudier... eux qui, pour l'amour de la science, se sont exilé , de riches, se sont fait pauvres, s'épuisent en effort et exposent leur vie à tous les dangers » (cité par Verger, p.68).Donc, les « études » sont une activité qui vise à constituer l'Europe en s'opposant à des comportements *a priori* hostiles.

Certes, on trouve aussi dans ce milieu universitaire des préjugés nationaux : Jacque de Vitry, au XIIIe jugeait ainsi : « Les anglais sont buveurs et ridicules, les français, mous, vaniteux et efféminés, les allemands furieux et obscènes, les Normands vains et orgueilleux, les poitevins traîtres, ceux de Bourgogne brutaux et sots, les bretons légers et inconstants, les lombards fourbes, avarés et lâches, les romains bagarreurs et emportés, les siciliens arrogants et cruels, les flamands excessifs, prodigues, goinfres, mous comme le beurre... » (Verger, p. 88)

Mais ceci n'est pas dominant :

La langue d'enseignement et de culture est partout la même, le latin. Le contenu global des études est commun. Un grade obtenu ici, était valable ailleurs.

Une intégration, une reconnaissance mutuelle, un prestige partagé, une expérience qui trempe le caractère, un réseau d'amitié et de solidarité etc.

« On devine qu'il y a là une donnée fondamentale pour comprendre bien des aspects des mentalités et des structures de sociabilité des élites occidentales, tant ecclésiastiques que laïques à partir de la fin du moyen-âge ». la mobilité géographique jouait plutôt en faveur de la stabilité sociale » (id)

Au XIIIe, paris et Bologne sont de loin les deux centres principaux qui rayonnent sur l'occident tout entier et même sur l'Orient latin.

Au XIV et XVe siècles, la mobilité est moins spectaculaire. Raisons : il y a plus d'Universités à proximité, les « malheurs des temps » (guerres, pestes etc.) réduisent la sécurité des voyages, le renforcement politiques des états joue aussi. Toutefois, en volume absolu, le phénomène ne diminue pas. Il est intéressant de noter que les « marges » fournissent de gros contingents de voyageurs : Scandinavie, Pologne, Bohême, Hongrie).

- Les ordres mendiants



Voir Duhem (L'aube du savoir, les deux chapitres consacrés aux Franciscains et aux dominicains.) et mon cours sur l'astron. au moyen-âge.

Les ordres mendiants, surtout les Franciscains et les Dominicains, ont joué ici un rôle très important ; ainsi, des maîtres qui viennent d'être cités, seul Burley<sup>1</sup> n'en fait pas partie, il est séculier (séculier : prêtres, clergé qui vit « dans le siècle », parmi les fidèles), les quatre autres étant franciscains. Ces ordres ont été créés, et très vite reconnus par la papauté, au début du xiii<sup>e</sup> siècle, avec un système de formation autonome. Les études, jusqu'à la théologie, avaient lieu dans des *studia* propres à l'ordre, les meilleurs étudiants étudiant la théologie dans un *studium generale*. A l'université de Paris deux chaires de maîtres régents étaient réservées aux dominicains, et une aux franciscains, ce qui, au moins à Paris, a été à l'origine de plusieurs conflits, d'une part entre les mendiants et les séculiers, et c'est la fameuse « querelle des mendiants », d'autre part, entre les deux ordres. Comme leurs maîtres étaient particulièrement réputés, et qu'ils pouvaient être envoyés d'un *studium* à l'autre, les ordres ont beaucoup contribué à la mobilité universitaire.

Dominicains : Dominique de Guzman (espagnol) fonde l'ordre en 1215. Albert le Grand, Thomas d'Aquin mais aussi Savonarole (1498), Giordano Bruno (1600)

Franciscains : François d'Assise (vers 1208), Roger Bacon, Dun Scot, Guillaume d'Occam,

Thomas d'Aquin<sup>2</sup> en est l'exemple emblématique. Il naît en 1224 ou 1225 près de Naples ; en 1239 il commence des études à l'université de Naples ; il entre chez les dominicains en 1244 et est étudiant d'Albert le Grand à Paris de 1245 à 1248, puis il le suit à Cologne de 1248 à 1252. Il revient à Paris en 1252 comme bachelier sententiaire, est nommé maître en théologie en 1256, puis maître régent jusqu'en 1259 ; il retourne en Italie pour enseigner à Naples, puis comme lecteur dans un couvent d'Orvieto, enfin comme maître régent dans le *studium* pontifical de Rome. En 1268-1269 il est à nouveau maître régent à Paris. Il retourne en Italie en 1272 pour enseigner dans le nouveau *studium generale* de Naples, puis meurt en 1274 en se rendant au concile de Lyon. Cette apparente errance n'était pas exceptionnelle chez les intellectuels les plus brillants, même séculiers.

- Le mouvement *humaniste* (XIV, XVe)

Il n'est pas déterminé par les universités, mais il s'y associe. Il a un caractère plus profane et met l'accent sur des matières comme la rhétorique, les langues classiques, la philosophie naturelle etc. Il joue autant sur la sociabilité, la constitution de réseaux. On se met à fréquenter plusieurs universités.

L'Italie (Bologne, Padoue, Rome) ont le rôle principal.

UNE COMMUNAUTE SCIENTIFIQUE EUROPEENNE ?

---

<sup>1</sup>. Sur Gauthier Burley, voir J. Ottman, R. Wood, *Walter of Burley. His life and works*, *Vivarium*, XXXVII n° 1, Leiden, Brill, mars 1999, p. 1-23.

<sup>2</sup>. Pour une introduction à Thomas d'Aquin, voir J.-P. Torrell O.P., *Initiation à saint Thomas d'Aquin. Sa personne et son œuvre*, Fribourg-Paris, éd. du Cerf, coll. « Vestigia 13 », 1993.

D'après Jean Celeyrette, « La notion de communauté scientifique aux XIII<sup>e</sup> et XIV<sup>e</sup> siècles »

Les historiens admettent aujourd'hui que, du fait de la mise en place des universités, le xiii<sup>e</sup> siècle latin a vu la naissance d'une nouvelle « classe sociale », celle des intellectuels<sup>3</sup>. Est-il possible de parler d'une communauté à l'intérieur de laquelle les thèses soutenues quelque part sont partout connues et discutées<sup>4</sup> ?

- Le contexte institutionnel

Les universités se sont structurées en facultés correspondant aux grands groupes de disciplines, la faculté des arts étant la faculté préparatoire à des études plus spécialisées dans les autres facultés (médecine, droit civil, droit canon, théologie), et en nations regroupant les étudiants et les maîtres selon leur origine géographique.

- La notion de science

Si l'on veut cerner la notion de communauté scientifique au Moyen Age, il me faut d'abord préciser de quelle science il s'agit. Qu'appelle-t-on « science médiévale » ?

Pour éviter les anachronismes et les ambiguïtés, le mieux est de partir du *De Ortu Scientiarum*<sup>5</sup> – de l'origine des *scientie* (je garde pour le moment le mot latin) –, en fait une classification des *scientie*, un ouvrage écrit sans doute à la demande du général des dominicains par Robert Kilwardby (milieu xiii<sup>e</sup>), et dont le succès est attesté par le nombre de manuscrits existants.

Le *De Ortu Scientiarum* présente à côté de la *scientia divina* (théologie et études bibliques), la *scientia humana*. Celle-ci comprend sous l'intitulé « philosophie » les trois disciplines du *trivium* (grammaire, logique, rhétorique), puis la philosophie pratique (éthique, économie, politique), enfin, la partie la plus noble, la philosophie spéculative, qui comprend la métaphysique, les mathématiques (géométrie, astronomie, perspective ou optique, musique, arithmétique), et la *scientia naturalis*, c'est-à-dire l'étude des *libri naturales* d'Aristote. Ainsi, c'est la philosophie spéculative qui trône au sommet des connaissances humaines, et dans cette philosophie spéculative la position prééminente est occupée par la science naturelle. Il n'en était pas ainsi dans les classifications antérieures, notamment dans le *Didascalicon* d'Hugues de Saint-Victor<sup>6</sup> (début xii<sup>e</sup>) qui avait, jusqu'au traité de Kilwardby, le statut d'une autorité. Cette nouveauté correspond à l'introduction dans l'enseignement universitaire, peu avant la parution du *De Ortu Scientiarum*, des *libri naturales* d'Aristote, éclairés par leurs commentaires arabes, essentiellement une partie du *Shifa'* (la *Guérison*) d'Avicenne, puis les commentaires d'Averroès. Ces nouveaux enseignements, après avoir été interdits, en tout cas à Paris, deviennent, à partir des années 1240, le couronnement de l'enseignement de la faculté des arts. A partir de ce moment, les *libri naturales*, essentiellement le *De anima*, la

---

<sup>3</sup>. D'une littérature particulièrement abondante il faut au moins faire ressortir : J. Le Goff, *Les Intellectuels au Moyen Age*, Paris, éd. du Seuil, 1985 et A. de Libera, *Penser au Moyen Age*, Paris, éd. du Seuil, 1991.

<sup>4</sup>. Je remercie Max Lejbowicz qui a bien voulu lire une version préliminaire de ce texte et me suggérer des améliorations toutes pertinentes.

<sup>5</sup>. R. Kilwardby, O.P., *De Ortu Scientiarum*, éd. A. G. Judy, O. P., Londres-Toronto, The British Academy-The Pontifical Institute of Mediaeval Studies (Auctores Britannici Medii Aevi IV), 1976.

<sup>6</sup>. H. de Saint-Victor, *L'Art de lire. Didascalicon*, intr. trad. et notes de M. Lemoine, Paris, éd. du Cerf, coll. « Sagesses chrétiennes », 1991. La traduction de M. Lemoine a été faite à partir de l'édition du *Didascalicon* procurée par C.-H. Buttmer, Washington, 1939.

*Physique, Du ciel et du monde, De la génération et de la corruption, Les Météorologiques, Des animaux* sont considérés comme les seuls livres susceptibles d'éclairer l'esprit sur l'homme et le monde physique dans lequel il vivait<sup>7</sup>.

La *scientia* (traduction du grec *épistémé*) médiévale relève donc des domaines décrits par la classification de Kilwardby (1215,1279) dominicain, arch. de Cantorbery, Cardinal. De plus, elle répond aux prescriptions des *Seconds analytiques* d'Aristote. Si bien que la meilleure traduction qu'on en puisse donner est à peu près « connaissance démonstrative », c'est-à-dire une connaissance universelle. Inversement, l'alchimie par exemple, parce qu'elle repose sur des expériences, n'est pas considérée comme une *scientia* ; c'est malgré tout un savoir, moins certain qu'une *scientia*, mais auquel, dans les raisonnements des philosophes de la nature, il est parfois fait référence. La médecine et les différents droits posent des problèmes particuliers.

Il faut observer que les diverses *scientie* que j'ai citées sont très inégalement représentées, en nombre et en qualité, dans les manuscrits universitaires médiévaux.

Ainsi, par rapport à ce qu'on constate dans le monde arabe, l'intérêt pour les mathématiques, au moins pour les mathématiques grecques, est faible. A l'université de Paris, la situation est un peu différente à Oxford, seuls les premiers livres des *Eléments* d'Euclide sont étudiés ; quant aux œuvres d'Archimède, seuls des fragments en sont connus, ou en tout cas compris. On ne connaît guère qu'un commentaire aux *Eléments* d'Euclide, dont il est vrai la fortune a été considérable, celui de Campanus de Novare (vers 1260). Les mathématiciens d'envergure sont peu nombreux, parfois même non universitaires, et relativement isolés : au xiii<sup>e</sup> siècle Léonard de Pise (Fibonacci), Jordanus de Nemore, sur qui aucune donnée biographique n'est connue, Campanus de Novare ; au xiv<sup>e</sup> siècle Jean de Murs, qui semble être resté maître ès arts, et surtout Nicole Oresme qui constitue une exception, car c'est le seul universitaire prestigieux qui ait produit des ouvrages originaux de mathématiques. La modestie de la présence latine dans l'histoire des mathématiques doit pourtant être relativisée car les mathématiques dont il vient d'être question sont uniquement celles qui relèvent de la tradition gréco-arabe. En revanche, le Moyen Age latin s'est illustré dans un autre domaine, celui des mathématiques du mouvement, en liaison donc avec les études sur le mouvement faites ou non dans le cadre de commentaires au livre VII de la *Physique* d'Aristote.

## Théologie

Reste le problème de la théologie. Son statut de science est revendiqué par les théologiens si on prend en compte le fait que tout commentaire des *Sentences*, l'œuvre qu'un étudiant en théologie doit écrire pour accéder à la maîtrise, commence par la question : la théologie est-elle une science ; et la réponse doit être positive. Quels sont alors ses rapports avec la philosophie ?

Une tradition critique ancienne illustrée notamment par Pierre Duhem<sup>8</sup> veut opposer les deux disciplines du fait que les crises les plus importantes qui ont marqué les débuts de l'université, les célèbres condamnations de 1270 et surtout 1277, ont été expliquées par

---

<sup>7</sup>. Voir à ce sujet L. Bianchi et E. Randi, *Vérités dissonantes. Aristote à la fin du Moyen Age*, Fribourg-Paris, éd. du Cerf, coll. « Vestigia 11 », 1993, ch. II : « Loquens ut naturalis », p. 39-70.

<sup>8</sup>. P. Duhem, *Le Système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, Paris, Hermann, 1913-1959, vol. IV.

un conflit entre la faculté des arts et la faculté de théologie, le fameux « conflit des facultés » dans le cadre duquel se seraient opposées la foi des théologiens et la raison des philosophes.

La critique actuelle ne reprend plus cette explication simpliste. Je cite ici ce que dit de Libera<sup>9</sup> dans sa dénonciation de ce *topos* :

Si l'on entend par « philosophie » la pratique de l'argumentation, les théologiens médiévaux ont fini par philosopher autant [de Libera ajoute : « voire davantage »] que les philosophes de « métier », [si bien que] « les modèles historiques fondés sur une partition institutionnelle stricte [la faculté des arts et la faculté de théologie] révèlent leur totale inadéquation.» [Car] « le problème central de la pensée médiévale n'est pas un conflit de la raison et de la foi où chacun, par simple décision disciplinaire ou adhésion passive à sa fonction supposée, trouverait automatiquement sa place – les philosophes du côté de la raison, les théologiens du côté de la foi : en tant qu'universitaires, les uns et les autres travaillent et pensent de la même manière, le cursus d'enseignement, les méthodes de travail étant identiques d'une faculté à l'autre.

J'ajoute que, parfois, les problèmes posés eux-mêmes sont communs : ainsi, la question de l'intensification des qualités, l'*intensio*, est traitée à la faculté des arts dans des commentaires à la *Physique*, ou à la *Métaphysique* d'Aristote, et à la faculté de théologie dans les commentaires des *Sentences*<sup>10</sup>.

Le véritable clivage entre les deux disciplines passe entre des rationalités distinctes, car, ajoute de Libera, « qu'elle s'adonne à la philosophie ou à la théologie, l'université médiévale est le lieu de la raison ». On voit alors se dessiner, au moins théoriquement, une population composée essentiellement des philosophes de la nature et des théologiens, qui se caractériserait par son activité spéculative et rationnelle, activité qui s'exerce dans le cadre de l'enseignement universitaire. Mais peut-on dire pour autant que cette population constituait une communauté ? Dans le cadre de leur activité intellectuelle, jusqu'à quel point y avait-il contact entre les maîtres, d'une, voire des diverses universités ? Avant de répondre plus précisément, il faut rappeler que, outre l'unité de la religion et celle de la langue, l'enseignement médiéval universitaire, en tout cas dans les facultés des arts et de théologie, se caractérisait par l'unité des cursus, les programmes d'enseignements étant à peu près partout les mêmes, les différences n'étant que de détails.

- La *disputatio*

L'exercice de base de l'enseignement, en tout cas au niveau supérieur, indissociable de la recherche, était la *disputatio*. Elle était organisée dans les moindres détails par les statuts. Pour de Libera<sup>11</sup>, « le régime de la *disputatio* est l'élément fédérateur de toutes les attitudes philosophiques [j'ajoute : et théologiques] du Moyen Age ».

Une question disputée était en général structurée de la façon suivante. Après l'énoncé de la question étaient exposés les arguments d'un adversaire théorique (l'*opponens*) s'opposant à la solution de l'auteur (le *respondens*). Puis étaient présentées des

---

<sup>9</sup>. De Libera, *Penser au Moyen Age*, op. cit. in n. 1, pp. 152-155.

<sup>10</sup>. Dans ces commentaires, c'est traditionnellement le thème de la distinction 17 du livre I.

<sup>11</sup>. De Libera, *Penser au Moyen Age*, op. cit. in n. 1, p. 153.

distinctions permettant de préciser le problème posé, qui préparaient la démonstration des conclusions donnant la solution (ou *determinatio*) du *respondens*. Ces conclusions étaient en général suivies, mais parfois précédées, par la discussion et la réfutation de thèses adverses. La question se terminait par des réponses aux arguments de l'*opponens* présentés au début. Bien entendu ce schéma pouvait se complexifier avec des conclusions partielles, des sous-questions qui apparaissaient dans le cours de la solution et qui étaient à leur tour résolues, etc. C'était le cas, en particulier, à Oxford. Mais ce qui était toujours présent, c'était la présentation des arguments de l'*opponens*, et la discussion des thèses adverses. Comme ces disputes étaient publiques et qu'elles pouvaient se tenir en présence de ceux qui soutenaient les thèses réfutées, ceux-ci ne se privaient pas d'intervenir, d'où l'ambiance souvent agitée décrite par tous les chroniqueurs.

Un exemple particulièrement intéressant de questions disputées était celui des questions quodlibétiques (*quod libet* : ce que l'on voudra). Elles avaient été instaurées et codifiées à la faculté de théologie, à Paris en 1250, et à Oxford en 1272, et elles impliquaient l'ensemble de la faculté, et non seulement un maître. Elles se déroulaient en deux sessions, Avent et Carême, au cours desquelles chaque enseignant de la faculté pouvait poser au maître soutenant la dispute la question de son choix, et présenter ses arguments ; dans la rédaction finale, ceux-ci étaient intégrés dans les arguments de l'*opponens*. Le maître devait répondre à la question avec l'aide de ses bacheliers, devant l'ensemble de la faculté. Inutile de dire que la question posée et les premiers arguments avancés étaient destinés à mettre le maître en difficulté. On voit d'ailleurs les questions quodlibétiques des divers maîtres se répondre d'une session à l'autre, parfois avec le même intitulé.

On comprend qu'un tel système imposait des échanges nourris entre les maîtres, et suscitait une considérable effervescence intellectuelle.

- La mobilité

Il s'agit là de la caractéristique peut-être la plus spectaculaire du monde universitaire médiéval. D'une part, aux *xiii<sup>e</sup>* et au *xiv<sup>e</sup>* siècles, les universités étaient encore peu nombreuses et l'étudiant allait de préférence auprès d'un maître autant que possible renommé, et dont il se sentait proche parce qu'il venait de la même région, voire de la même ville ; ainsi, à l'université de Paris, la plus prestigieuse, la nation anglo-allemande comprenait des maîtres et des étudiants daces (danois), écossais, anglais, allemands, etc. Mais de plus, quand le maître se déplaçait dans une autre université, et ces déplacements étaient fréquents, l'étudiant le suivait. Ainsi, au *xiii<sup>e</sup>* siècle et au début du *xiv<sup>e</sup>* siècle, des étudiants faisaient une partie de leur formation dans une université comme Oxford, et la complétaient à Paris, et des maîtres formés à Oxford faisaient des allers-retours entre Oxford et Paris ; c'est le cas par exemple de Richard Rufus, Roger Bacon, Jean Peckham, Duns Scot, Gauthier Burley, maîtres particulièrement éminents.

- La situation au *xiv<sup>e</sup>* siècle

Ainsi, du *xii<sup>e</sup>* siècle à la fin du *xiii<sup>e</sup>* siècle, l'évolution vers la constitution d'une communauté intellectuelle répartie entre un petit nombre d'universités dominées par l'université de Paris, et se déplaçant de l'une à l'autre semble incontestable.

Mais au *xiv<sup>e</sup>* siècle de nouvelles universités sont créées, le réseau universitaire se densifie. Surtout, on constate que l'identité des universités les plus anciennes s'affirme.

Par exemple, l'enseignement à Oxford se différencie de celui de Paris et, sans doute au moins partiellement dans la suite des travaux de Robert Grosseteste, met davantage l'accent sur les mathématiques et la logique qu'à Paris.

Il faut sans doute aussi souligner le rôle des condamnations universitaires. Quelle que soit la réalité, discutée, de leur pouvoir répressif, la critique, à la suite de de Libera, s'accorde pour dire qu'en condamnant certaines propositions extraites de leur contexte, les autorités ecclésiastiques et universitaires ont attiré l'attention sur elles et amené les maîtres à réfléchir à des théories cohérentes avec ces propositions, théories que personne n'avait antérieurement soutenues. De Libera parle ainsi des condamnations comme d'un « opérateur historique [...] qui transforme un énoncé en thèse », ce qui évidemment rend la condamnation contre-productive<sup>12</sup>. Bianchi est plus réservé<sup>13</sup>. Or ces condamnations, qui étaient en général des interdictions d'enseigner, étaient propres à une université, et même si elles étaient connues ailleurs, elles n'ont pas pu y avoir la même influence intellectuelle. Ainsi, les débats, qui furent loin d'être uniquement institutionnels entre mendiants et séculiers dans la seconde moitié du xiii<sup>e</sup> siècle, sont propres à Paris. Même la condamnation parisienne de 1277 n'est reprise que très partiellement à Oxford (30 articles contre 219), l'université intellectuellement et institutionnellement la plus proche de Paris. Enfin, on sait que Thomas d'Aquin a été atteint par certains articles de la condamnation de 1277, même si on admet aujourd'hui que les 219 articles de la condamnation visaient des maîtres de la faculté des arts.

Peut-on dire pour autant que la communauté scientifique qui s'est constituée au xiii<sup>e</sup> siècle, s'est dissoute au xiv<sup>e</sup> ? Les indices en sens contraire sont suffisamment nombreux pour qu'on puisse répondre par la négative. Par exemple, on a fait plus haut allusion à une forme originale de mathématique, propre semble-t-il au monde latin, qui s'est d'abord développée au début du xiv<sup>e</sup> siècle à Oxford. Il s'agit des discussions logiques et physico-mathématiques mertonniennes (du nom du collège de Merton de l'université d'Oxford), portant sur le continu, le point, l'infini, le mouvement. Ces travaux débutent avec le *Traité des rapports* de Thomas Bradwardine (1328), suivi de nombreux textes dont ceux de Richard Kilvington, de Jean de Dumbleton, et surtout de Richard Swineshead ; ce dernier aborde des problèmes mathématiques d'une extrême sophistication, dont la résolution correcte nécessiterait aujourd'hui le recours à des équations différentielles. Ces textes sont très vite connus à Paris. Nicole Oresme dans son *Traité des rapports de rapports* prolonge le traité de Bradwardine, et les deux ouvrages sont largement cités dans les commentaires à la *Physique* des contemporains.

Un témoignage particulièrement intéressant va dans ce sens, c'est celui de la collection d'Etienne Gaudet. Cette collection se compose de neuf manuscrits écrits pendant les années 1350-1360 par un étudiant parisien identifié comme Etienne Gaudet<sup>14</sup>, devenu plus tard maître en théologie. Dans cette collection, un des manuscrits<sup>15</sup>, composé d'une vingtaine de cahiers, rassemble les textes scientifiques étudiés au collège de Sorbonne dans les années 1350. On y trouve un grand nombre d'ouvrages anglais de logique,

---

<sup>12</sup>. De Libera, *Penser au Moyen Age*, op. cit. in n. 1, p. 193.

<sup>13</sup>. L. Bianchi, *Censure et liberté intellectuelle à l'université de Paris. xiii<sup>e</sup>-xiv<sup>e</sup> siècles*, Paris, Les Belles Lettres, 1999, p. 57.

<sup>14</sup>. Z. Kaluza, *Thomas de Cracovie. Contribution à l'histoire du collège de la Sorbonne*, Wrocław-Varsovie-Cracovie, Gdansk-Ossolineum, 1978.

<sup>15</sup>. C'est le manuscrit BnF 16621 décrit dans P. Glorieux, « Jean de Falisca. La formation d'un maître en théologie au xiv<sup>e</sup> siècle », *Archives d'histoire doctrinale du Moyen Age*, n° 33, 1966, p. 23-104.

mathématiques et philosophie naturelle, annotés par Etienne Gaudet, dont des œuvres de Gauthier Burley, de Roger Bacon, de Jean de Dumbleton, le traité des rapports de Bradwardine, des extraits de questions sur le mouvement de Richard Swineshead, et des traités parisiens, dont le *Traité des rapports de rapports* de Nicole Oresme, etc. Ce manuscrit montre clairement à quel point à Paris, au milieu du xiv<sup>e</sup> siècle, la vogue des textes anglais mathématico-logiques était grande.

En ce qui concerne les universités italiennes, les travaux anglais de logique et de philosophie naturelle y ont été introduits au milieu du xiv<sup>e</sup>. Dans cette transmission, un rôle important semble avoir été joué par les franciscains, notamment à la suite d'une instruction de Benoît XII, qui oblige les franciscains non anglais à accomplir un lectorat à Oxford ou Cambridge<sup>16</sup>.

- Liberté et censure

Reste la question de la liberté intellectuelle, et donc de la censure, qui donne lieu aujourd'hui encore à de nombreuses discussions entre les spécialistes.

Même si des maîtres ont déploré l'absence de liberté dans les cas où ils étaient contraints d'adopter, ou de renoncer, à une position, et c'est le cas du célèbre Godefroid de Fontaines qui affirme que tout chercheur a besoin de liberté<sup>17</sup>, celle-ci, dans l'état actuel de nos connaissances, ne figurait pas dans les statuts régissant le fonctionnement de l'université. Elle ne fait pas l'objet d'une revendication *a priori* par l'intellectuel, dont tous les efforts tendent seulement à la recherche de la vérité. Evidemment cette vérité ne peut s'opposer à la foi, si bien que toute recherche mettant directement la foi en question est exclue : personne n'a jamais soutenu la soi-disant doctrine de la double vérité condamnée en 1277. En revanche des difficultés surviennent dans le cas des recherches qui pourraient amener certains, philosophes insuffisants, à mettre la religion en danger au vu de propositions contraires à la foi, démontrées rigoureusement à partir des prémisses aristotéliennes. Faut-il alors renoncer par prudence à une telle recherche ? Bien entendu, certains le font ; mais les meilleurs ne le font pas, et ils le justifient en disant que la foi n'est pas menacée du fait que ce sont les prémisses qui sont fausses.

En fait pour notre sujet la question est plutôt : y avait-il des thèses officielles que les maîtres se devaient de soutenir ? A ce sujet il est clair que la promotion papale des ordres mendiants a correspondu au désir de contrôler plus étroitement l'activité intellectuelle, philosophique et théologique, et la volonté d'instaurer une forme de censure préalable paraît ici incontestable<sup>18</sup>. Lors de leurs chapitres, les Dominicains, comme les Franciscains ou les Augustins imposaient dans leur ordre telle ou telle position. Ainsi, les Augustins en 1287 imposent que dans l'ordre les thèses de Gilles de Rome, condamnées en 1277, soient défendues. En 1286, le chapitre dominicain impose à ses membres, sous peine de suspension, de promouvoir les thèses de Thomas d'Aquin supposées atteintes par la condamnation de 1277 ; inversement, le chapitre

---

<sup>16</sup> W. Courtenay, « The early stages in the introduction of Oxford logic into Italy », A. Maieru (éd), *English logic in Italy in the xivth and xvth centuries*, Bibliopolis, Naples, 1982.

<sup>17</sup> G. de Fontaines, *Quodlibet VII. Question n° 18*, cité par L. Bianchi, *Censure et liberté intellectuelle...*, op. cit. in n. 15, p. 85.

<sup>18</sup> L. Bianchi, *Censure et liberté intellectuelle...*, op. cit. in n. 15, p. 30-32.

franciscain de Strasbourg de 1282 n'autorisait l'exposé des thèses thomistes qu'accompagné des critiques du *Correctoire* de Guillaume de La Marre.

Toutefois avant de se hâter de conclure, il faut regarder de plus près les effets à moyen terme de ces recommandations et condamnations.

- Conclusion

L'existence d'une communauté scientifique dans le monde latin aux xiii<sup>e</sup>-xiv<sup>e</sup> siècles ne fait pas de doute. La seule question disputable est celle de l'espace de liberté dont elle jouissait, du fait notamment du nombre particulièrement élevé de condamnations de divers types pendant cette période. Mais quelle a été leur efficacité ?

Si bien que je considère aussi que « l'idée d'une répression continue se heurte à l'évidence d'une production scolastique énorme, indéfiniment variée, sans cesse expérimentale »<sup>19</sup>, dont l'importance est le témoignage dans la communauté scientifique d'un extraordinaire appétit de connaissance qui l'amène à rechercher la vérité scientifique partout, y compris chez les infidèles. Cet appétit peut susciter des comportements intolérants, des polémiques, et même amener certains à prendre le risque, qui malgré tout n'était pas nul, de perdre leur statut privilégié d'universitaire ; cela a été le cas, il est vrai exceptionnel, de Nicolas d'Autrecourt condamné en 1346-1347 après son rejet des principes de la physique aristotélicienne. Mais à mon avis cela ne met pas fondamentalement en cause le remarquable dynamisme de la communauté scientifique médiévale.

#### UN EXEMPLE : LA SPHERE DE SACROBOSCO

Ce livre expose les fondements de l'astronomie pré-copernicienne, telle qu'elle était enseignée au Moyen Âge : synthèse de Ptolémée et de ses commentateurs arabes, il développe une cosmologie simple et cohérente. Pour cette raison, le « *De Sphaera* » fut aussitôt adopté par l'université de Paris, et dès le milieu du xiii<sup>e</sup> siècle par toutes celles du monde occidental. Abondamment copié, il fut tout naturellement le premier livre d'astronomie imprimé, dès 1472, à Ferrare. On compte au total pas moins de 65 éditions jusqu'en 1647, dont 30 éditions incunables. Ainsi, ce texte fut le manuel d'initiation à l'astronomie de tous les étudiants du début du XIII<sup>e</sup> à la fin du xvi<sup>e</sup> siècle. Et en plein xvii<sup>e</sup> siècle, après la parution du « *De revolutionibus* » de Nicolas Copernic (1543), qui rendait caduque la cosmologie de Ptolémée ; après celle de l'« *Astronomia nova* » de Johannes Kepler (1609), qui éliminait les cercles de la pratique astronomique, la « *Sphère* » de Sacrobosco est encore éditée et enseignée dans les écoles d'Allemagne, de France et des Pays-Bas. Une telle popularité s'explique non seulement par la conformité de l'exposé aux Anciens, mais également par une synthèse efficace et didactique de théories complexes. Le format réduit du volume (in-quarto de 45 pages) en fait le *vade mecum* des voyageurs instruits : les inventaires montrent qu'il fut la principale lecture des explorateurs portugais. De nombreux et interminables commentaires ont été faits du « *De Sphaera* », entre autres les annotations de Jacobus Martinus et d'Élie Vinet, ainsi qu'un complément, le « *Compendium in sphaeram* » de Petrus Valerianus.

#### Contenu de ce traité

L'ouvrage, très court et assez pauvre en idées neuves, est divisé en quatre chapitres. Le premier, après une définition de la sphère, traite de la forme sphérique de la Terre (dont il apporte de nombreuses preuves) et de sa place inamovible au sein de l'Univers sphérique, conformément à

---

<sup>19</sup>. *Ibid.*, p. 336



la cosmologie d'Aristote. Le deuxième traite des divers cercles de référence de la Terre et du ciel (écliptique, équateur, Zodiaque, Colures, méridien, horizon etc.). Le troisième décrit les levers et couchers des astres en divers lieux géographiques, évoque la place des signes du Zodiaque dans le ciel et la diversité de la durée des jours et des nuits selon les différentes zones de la terre. Enfin, le dernier traite de la théorie planétaire de Ptolémée. Il explique les orbites et les mouvements des planètes, ainsi que les éclipses du Soleil et de la Lune.

Il fut dès l'origine illustré de quelques diagrammes (le nombre s'en accrut au cours des éditions successives), dont un planisphère qui, quatre siècles durant, eut une fortune particulière de par sa prodigieuse diffusion dans le milieu étudiantin et, par voie de conséquence, dans le monde instruit. C'est une carte sommaire fondée sur un passage des « *Saturnales* » de Macrobie (vers 410 apr. J.-C.) qui comporte un monde hémisphérique divisé en sept zones climatériques, une conception des Grecs et notamment de Ptolémée. Cette carte montre la zone glaciale inhabitable ; la région tempérée sud inexplorée, potentiellement habitable ; une région torride équatoriale inhabitable ; la région tempérée nord où Europe, Asie et Afrique occupent le monde connu .