

Université du Québec à Montréal

FSM 3000
Histoire des sciences

Notes de cours
(Seconde version)

Louis Charbonneau
Département de mathématiques

1996

© Louis Charbonneau

Remerciements

Je remercie madame Annick St-Denis, monsieur Pierre Bouffard et madame Isabelle Grenier pour leur collaboration dans la mise en forme de ces notes. Je remercie aussi Jacques Lefebvre pour ses commentaires

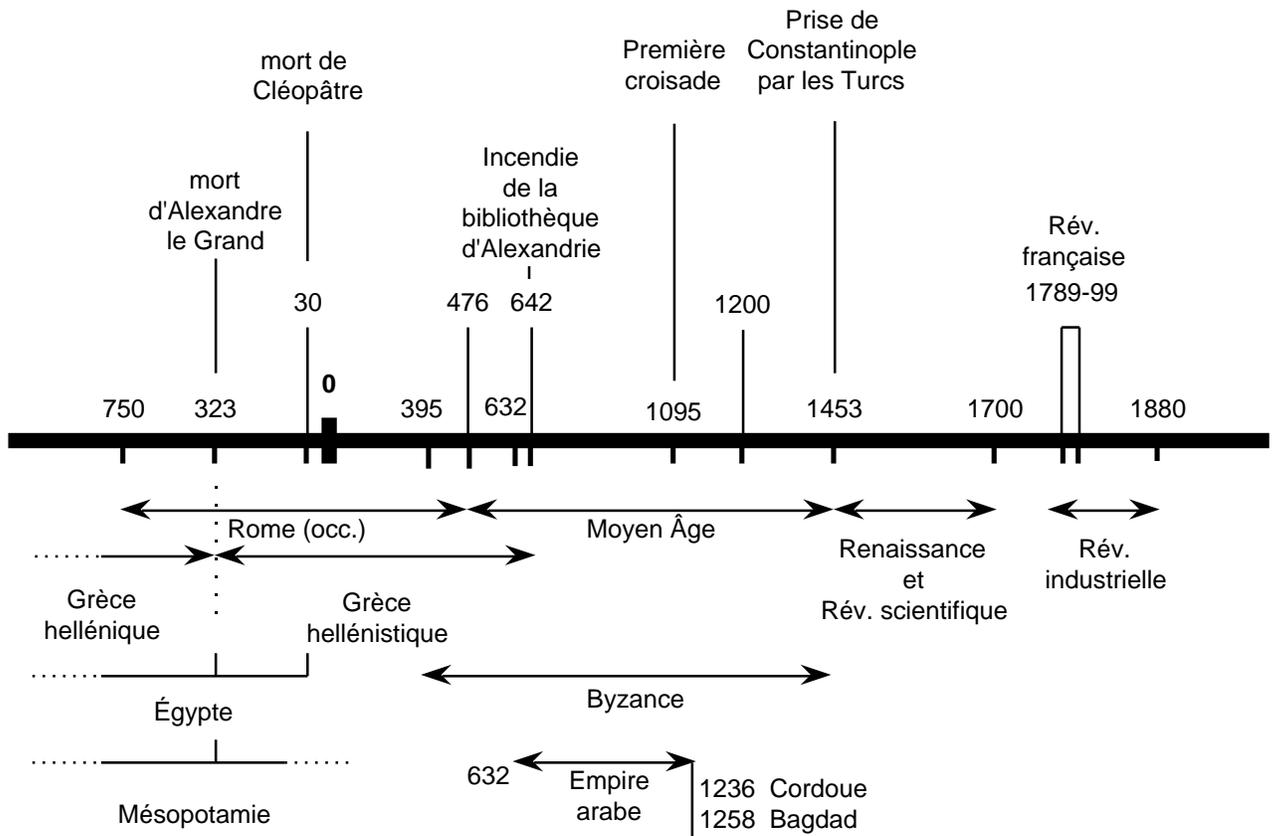
Mise en garde

La présente version des notes de cours du cours FSM 3000 Histoire des sciences est une seconde version qui est encore pleine de lacunes. Je demande aux étudiants du cours d'être indulgents. Je vous prie aussi de ne pas diffuser ces notes sous leur forme actuelle. Elles sont avant tout un outil pour vous aider à retirer le maximum du cours

INTRODUCTION

Voici quelques éléments d'histoire générale pour nous situer un peu dans le temps. L'homme étant ce qu'il est, c'est-à-dire un être fort complexe, il n'est pas surprenant que l'histoire des individus, et *a fortiori* des sociétés, soit elle-même très complexe. Nous ne chercherons pas à mettre de côté cette complexité. Néanmoins, il nous faut nous donner des repères et c'est le but de la ligne du temps ci-dessous. Les événements, et les dates qui y sont associées, ont été choisis pour leur l'importance dans les histoires que nous nous apprêtons à compter. De ces différentes dates, j'aimerais que vous en reteniez cinq.

Grandes périodes de l'histoire de l'Europe et du Moyen-Orient



- 3000 Sumer
- 1700 Babylone
- 750 Assyrie
- 606Chaldée
- 333 Alexandre
- 323 Séleucides

Cinq dates importantes

323 av. J.-C. : Mort d'Alexandre le grand

Alexandre le grand, fils de Philippe roi de Macédoine, a piqué l'imagination populaire du fait de sa jeunesse, de son amour quelque peu excessif de la vie, et surtout du fait de son empire qui allait de l'Égypte jusqu'aux berges du fleuve Indus. Génie politique, il a obligé ses soldats à prendre racine dans les contrées conquises. De la sorte il a contribué grandement au mélange de trois des plus grandes civilisations de son époque (excluant la Chine), soient les civilisations grecque, égyptienne et mésopotamienne. Il meurt en 323 avant J.C., à Babylone, âgé de 32 ans seulement.

Après sa mort, son empire est partagé entre ses généraux qui se donnèrent alors le titre de diadokhos, titre qui signifie «successeur». Deux royaumes issus de cette division de l'empire sont particulièrement importants : l'Égypte, dont le général Ptolémée devint le premier pharaon de la dernière dynastie (Cléopâtre étant le tout dernier pharaon), et la Mésopotamie sous la houlette du général Séleucide. Ces deux généraux continuèrent l'oeuvre de mélange des civilisations au profit de la civilisation grecque qui domine ainsi de plus en plus l'est du monde méditerranéen et du Moyen-Orient.

Alexandre marque une brisure dans l'évolution de la civilisation grecque. Pour bien marquer cette brisure, les historiens ont appelé la période qui précède la mort d'Alexandre la période hellénique. La période postérieure porte le nom de période hellénistique. Pour donner une idée des différences qui caractérisent et différencient ces deux époques, disons simplement pour l'instant qu'avant 323 av. J.C., le centre de la civilisation grecque se trouvait principalement en Grèce elle-même et dans les colonies grecques du sud de l'Italie. Avec Alexandre, et surtout son diadogue Ptolémée, le centre intellectuel se déplace vers Alexandrie, et ce jusqu'à la fin de l'empire romain. Qui n'a pas entendu parler de la grande bibliothèque d'Alexandrie, probablement la plus grande et la plus riche bibliothèque de l'Antiquité? Mais, au-delà de ces mouvements géographiques, il y a une modification des habitudes intellectuelles. Au cours de la période hellénique, les philosophes élaborent des systèmes très globaux: Pythagore, Platon, Aristote. À Alexandrie, les scientifiques se détachent de la philosophie et poursuivent seuls brillamment leur chemin. Les noms de la science grecque parmi les plus connus appartiennent à cette période. Pensons à Archimède, à Euclide, et, pour la médecine, à Galien.

476 : Fin de l'Empire romain d'occident

Comme nous le voyons sur la ligne du temps, le monde romain situe son origine en 750 av. J.C. Leur empire se terminera avec la destitution d'un dernier empereur en septembre 476 ap. J.C. Remarquez le «d'un». À cette époque, un autre empereur romain règne plus à l'est, à Constantinople, ville appelée autrefois Byzance, aux confins de l'Europe et de l'Asie. (Aujourd'hui cette ville se nomme Istanbul). C'est qu'à la suite de la mort de l'empereur Théodose en 395, l'empire est divisé en deux. La frontière est une ligne droite nord-sud qui passe en gros entre l'Italie et la Grèce. Cette division est importante car elle accentue la différence qui a toujours existé entre la partie occidentale de l'empire, dont la langue de

communication est plutôt le latin, et la partie orientale, dont la langue de communication est plutôt le grec. Lorsque l'empire d'occident s'écroule en 476, l'empire d'orient survit. Il survivra avec plus ou moins de bonheur jusqu'en 1453. Pensez-y! Encore près de mille ans...

Cette division du monde méditerranéen éloigne l'Occident de ses sources grecques. Il entraînera un isolement de ce qui deviendra l'Europe occidentale. D'une part les conditions de vie de cette région, avec son instabilité chronique, obligeront les gens à consacrer leurs efforts à survivre dans un contexte toujours hostile. L'éparpillement du pouvoir, dans un contexte de violence généralisée, se montre peu propice aux travaux de l'esprit. Les richesses intellectuelles de la Grèce antique échappent peu à peu aux Occidentaux.

632 : Mort de Mahomet, le fondateur d'un empire en croissance rapide

En 622, Mahomet fuit La Mecque. Ses efforts pour entraîner à sa suite les tribus de la péninsule arabique commencent à porter fruits. De fait, cette «croisade» continuera et même s'accroîtra après la mort du prophète. Jusqu'alors byzantine, Alexandrie est prise dès 642 par les mahométans. Au début du VIII^e siècle, toute l'Afrique du nord et même l'Espagne sont sous domination musulmane. À l'est, leur empire s'étend jusqu'à l'Indus, comme autrefois celui d'Alexandre.

Malgré des bavures, comme l'incendie de la célèbre bibliothèque d'Alexandrie, la poussée arabe amène une stabilité nouvelle qui favorise les arts et les lettres. Un peu rustres au départ, les arabes ne tardent pas à prendre conscience des richesses des civilisations qu'ils ont conquises. Les motifs religieux originellement à la base de leur élan se nuancent peu à peu. Bientôt, des écoles remarquables se développent dans les grands centres. On y étudie entre autres les textes grecs. Conséquence des Croisades (XI^e-XIII^e siècle), les Européens établissent des liens avec les Arabes à la frontière «franco espagnole». L'héritage grec redevient accessible aux Européens. Des traductions latines des grands textes grecs sont produites. Mais elles laissent souvent à désirer. Elles sont habituellement la dernière d'une série de traductions successives: du grec à l'araméen, à l'arabe, à l'hébreu et finalement au latin. Néanmoins, le XIII^e siècle mérite bien son nom de «Première Renaissance». Un mouvement qui trouvera son aboutissement dans la «vraie» Renaissance est enclenché.

1453 : Prise de Constantinople par les Turcs

Du XVI^e siècle jusqu'au début du XX^e siècle, l'empire ottoman couvre une partie de l'Europe de l'est et du Moyen-Orient. Cet empire est toujours d'actualité. Les séquelles de la domination turque en Bosnie et en Serbie nous sont rappelées quotidiennement dans les journaux. Historiquement cet empire est le véritable responsable de la fin de l'Empire romain d'orient, autrement dit de l'Empire byzantin. En 1453, le 29 mai, le sultan Mahomet II prend la ville après un pénible siège.

Les derniers vestiges de la puissance de Rome et de son empire disparaissent. La prise de Constantinople par les Turcs est donc un événement important. Mais son importance

dépasse le niveau politique. La fin de l'Empire byzantin marque le début d'une importante émigration des intellectuels byzantins vers l'Italie. Ceux-ci transportent avec eux des fragments de leurs bibliothèques qu'ils revendront aux mécènes italiens.

La connaissance du monde grec s'était faite jusque là principalement par l'intermédiaire de traductions de textes, eux-mêmes issus de traductions successives. Maintenant, les intellectuels d'Europe commencent à avoir accès à des textes qui, bien qu'ayant été copiés plusieurs fois, sont en grec, la langue originale de leur auteur. Le travail de comparaison entre d'une part les traductions des grands textes grecs et d'autre part les textes grecs originaux permettra le développement de la philologie. L'on deviendra de plus en plus critique face à la tradition. Ainsi se développera l'humanisme du XVI^e siècle. Progressivement, non seulement les humanistes comprendront-ils de mieux en mieux les grands penseurs grecs mais bientôt ils les imitent et les dépassent. La Renaissance est donc bien plus qu'un retour aux Grecs. Elle est aussi la naissance d'une nouvelle civilisation qui ne viendra à terme avec elle-même que dans ces dernières années du XX^e siècle. La Révolution scientifique, dont les gens du XVII^e siècle furent les acteurs et les témoins, constitue une des suites les plus remarquables de la Renaissance.

1789 : Révolution française

L'on peut dire que la Révolution française est aussi une séquelle certes plus éloignée, de la Renaissance. Pour les sciences, la Révolution française apporta un changement fondamental dans la place occupée par les scientifiques dans la société. Par voie de conséquence, l'enseignement de sciences évoluera profondément au cours des trois décennies qui suivirent la chute de la monarchie en France. Notons entre autres la création de véritables écoles scientifiques pourvues d'un corps professoral dont on attend à la fois un enseignement mais aussi de la recherche. Dans les écoles, les étudiants doivent faire appel à beaucoup plus que leur mémoire. Les cours magistraux sont suivis de sessions de travaux pratiques pendant lesquels les étudiants développent leurs capacités à résoudre des problèmes. De cette combinaison de l'enseignement et de la recherche découle la création d'une communauté scientifique de plus en plus grande et active. Les sciences connaîtront un développement remarquable aux multiples ramifications dans la société. Dès lors, les sciences seront vues comme des outils du progrès social. Une ère nouvelle s'ouvre pour les sciences. Nous y sommes encore.

Qu'est-ce qu'expliquer un phénomène ou Où sont les dieux ?

Au cours de notre périple à travers le temps, nous aurons souvent à parler des explications des phénomènes naturels données par les uns et les autres. Je crois donc à propos de nous attarder dès maintenant sur le sens que l'on peut donner à cette notion d'«explication des phénomènes naturels». Pour ce faire, je prendrai comme exemples quatre modèles cosmographiques.

L'action des dieux : Cosmographie égyptienne

Comme nous le voyons dans la figure 1, les dieux sont très présents dans la cosmographie égyptienne.¹ L'on y voit la terre entourée d'une grande masse d'eau, le Nil céleste. Sur ce fleuve, comme sur le Nil terrestre, des barques se promènent. La plus importante est celle du dieu Râ, le dieu Soleil. Cette barque entreprend chaque matin son périple diurne allant de l'est vers l'ouest. La nuit venue, la barque de Râ continue son trajet, mais elle est alors cachée aux yeux des hommes. Elle navigue néanmoins vers l'est et se trouvera à nouveau visible lorsqu'elle remontera le lendemain matin à l'est. Mais le Nil céleste contient aussi des animaux de toute sorte. L'un d'eux est le dieu-serpent Apopi. Parfois, il se dresse sur le chemin de la barque de Râ et tente de la faire chavirer. À mesure que l'eau pénètre dans la barque, l'intensité du Soleil diminue. Il y a éclipse de Soleil. Si la barque chavirait complètement, la terre serait alors plongée dans les ténèbres pour toujours. Quelle doit alors être la réaction des hommes qui, des berges, sont des témoins impuissants et, à raison, effrayés du drame qui se joue sur le Nil céleste ? Une façon de sauver Râ serait de faire peur au serpent Apopi. La réaction la plus naturelle, étant donné l'impossibilité d'agir physiquement, est de faire le plus de bruit possible dans l'espoir que le serpent soit effrayé par le vacarme. Aussi, lors d'une éclipse, tout le peuple d'Égypte se mettait-il à faire le plus de bruit possible, en criant ou en tapant sur des objets. Heureusement, cela marche toujours. Râ est sauvé. Le serpent retourne au fond du fleuve et la barque de Râ est vidée de son eau. Le dieu retrouve son éclat antérieur.

L'homme avant les dieux : Anaximandre

¹ De fait, il serait faux de prétendre que les Égyptiens se référaient à une seule cosmographie. De fait, ils développèrent de nombreux modèles de l'univers certains ayant cours concurrentement. La figure 1 est tirée de Tj. De Vries, *À la découverte de l'univers*, Paris-Bruxelles, éd. Sequoia, 1960.

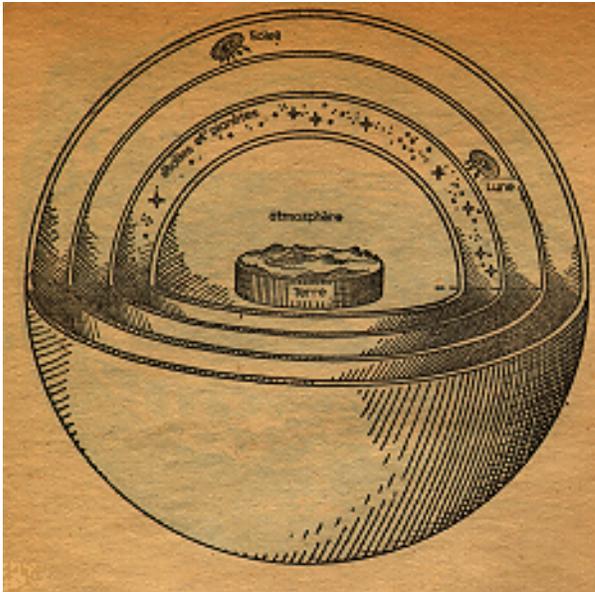


figure 2

changement... Et pourtant rien n'est changé.

Dans ce modèle, ce sont des raisons humaines qui «expliquent». Il fonctionne sans intervention extérieure.

Décrire sans expliquer : Ptolémée

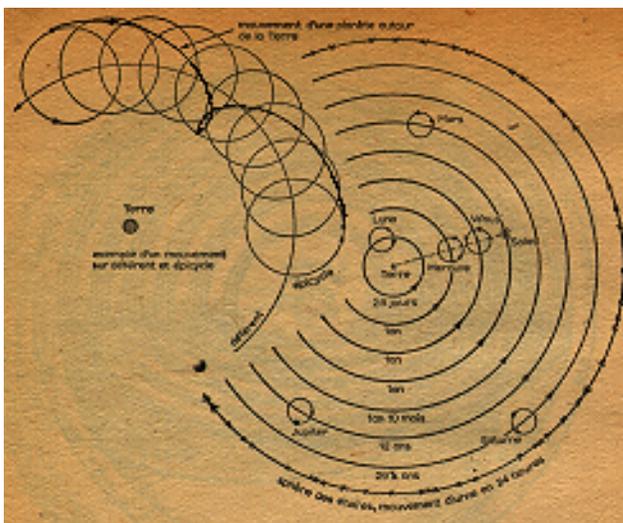


figure 3

d'Anaximandre. Le modèle d'Anaximandre décrit, pense-t-on, l'univers tel qu'il est. Celui

La figure 2 illustre le modèle cosmographique du grec Anaximandre. Comme on peut le constater, les dieux en sont absents. Au centre la terre est un cylindre fermé sur l'extrémité duquel habitent les hommes. Ce cylindre est entouré de sphères transparentes qui tournent à différentes vitesses. Sur ces sphères, il y a des corps² qui, étant percés, laissent voir leur feu intérieur. Dans ce modèle, la raison joue un rôle explicatif central. Par exemple, la terre est au centre de l'univers car il n'y a aucune raison qu'elle soit ailleurs. Les planètes sont sur des sphères car la sphère est le corps le plus parfait. Elle est pareille à lui-même lorsqu'on le fait tourner autour de son centre. Il y a

Le modèle du grand astronome grec Ptolémée, illustré dans la figure 3, décrit bien les principaux phénomènes astronomiques. Par exemple, en composant deux mouvements circulaires, celui d'un point sur un grand cercle et celui d'un autre point (la planète) sur un cercle centré sur ce premier point, il permet de décrire le mouvement quelque peu étrange de la rétrogradation des planètes. Ici, encore plus que dans le modèle d'Anaximandre, les dieux sont absents. De fait le niveau explicatif est différent de celui du modèle

² La forme et la nature de ces corps ne sont pas très bien décrites dans les textes que nous possédons.

de Ptolémée a des prétentions plus limitées. Il permet tout au plus de prévoir l'occurrence des événements astronomiques, comme par exemple la rétrogradation d'une planète. Mais le modèle n'explique pas vraiment, physiquement, le pourquoi de la rétrogradation. Les planètes ne décrivent probablement pas ces boucles que le modèle leur attribue.

D'un modèle mathématique à un modèle physique: Copernic et Newton

À bien des égards, le modèle de Copernic partage avec celui de Ptolémée cette indifférence par rapport à la physique. Mais le modèle de Copernic (figure 5) est plus «économique». Il génère les principaux phénomènes de lui-même, sans avoir recours à des suppositions artificielles au modèle. Ce qui va caractériser l'évolution du système copernicien, modifié par les Kepler, Galilée et finalement Newton, c'est l'intrusion graduelle de la physique dans le système. Le modèle ne sera pas seulement vu comme un moyen de prévoir les événements astronomiques. Il deviendra un moyen de prévoir de nouveaux phénomènes. Ici, l'importance donnée à l'expérimentation est un facteur central. Toute théorie, ou toute tentative d'explication d'un phénomène, doit nécessairement subir le test de l'expérimentation (dans le cas de l'astronomie, de l'observation). Cette exigence découle d'une attitude relativement récente. À titre d'exemple, disons simplement pour l'instant que l'expérience était pour Platon, à toutes fins utiles, inutile...

Que veut dire «expliquer» ?

Le mot expliquer change de sens selon les époques. Par rapport à des phénomènes naturels, ces changements sont l'expression de la nature évolutive des sciences et des exigences de ses discours. Dans le temps, ce que le «scientifique» cherche va varier. Ce sont ces différences d'approches qui nous intéresseront dans ce cours.

Sens du mot histoire.

Le terme «histoire» peut porter facilement à équivoque. A priori, selon le point de vue où l'on se place, deux significations sont attribuables à ce terme. Il y a en premier lieu l'«Histoire» avec un grand H. Je la définirai comme l'ensemble de tous les faits, de tous les événements, de toutes les actions, pensées, réactions, etc., associés à ces événements, et ce, depuis le début des temps. L'Histoire est donc absolument impalpable dans sa totalité, car elle a les dimensions de l'humanité prise en tant que corps vivant et entier. Les éléments qui la composent ne sauraient être tous connus et, à plus forte raison, la complexité des relations entre ces divers éléments ne peut faire l'objet d'une analyse complète et exhaustive.

Ainsi, l'Histoire, dans ce premier sens, constitue un corpus colossalement complexe. Elle possède des caractéristiques identifiables, la plus importante étant le rôle central du temps. Cette Histoire est absolue et vraie puisqu'une tranche de celle-ci correspond bien à l'état de l'humanité à une époque donnée. La structure de l'Histoire ne se manifeste toutefois pas entièrement à l'intérieur d'une telle tranche. Elle ne peut se révéler que dans la succession de celles-ci. Toutefois, la succession des tranches de l'Histoire doit-elle être analysée uniquement d'un point de vue de causes et d'effets? Ce serait là obliger les diverses tranches

successives de l'Histoire à se succéder selon un mode qui ressemble fort à de la prédestination. La liberté ne serait plus qu'un mythe. Cette question du rôle de la causalité montre que présupposer une structure à l'Histoire sous-entend en fait toute une attitude face à la vie et au monde. Inversement, toute attitude face à la vie implique une conception de l'Histoire. Poser la question de savoir laquelle des deux, notre attitude face à la vie ou notre conception de l'Histoire, a le plus d'influence revient à poser la question de l'oeuf et de la poule. La conception que les gens se font de l'Histoire à un moment donné influe nécessairement sur la tranche suivante de l'Histoire.

On peut se demander pourquoi cette diversité des conceptions de l'Histoire? La raison principale est sans doute que l'Histoire est pressentie à partir d'un nombre somme toute relativement réduit de documents. Pensons à l'Histoire comme à un iceberg dont la plus grande partie est submergée. Ce que nous savons avec certitude de l'Histoire correspond aux parties visibles de l'iceberg. Le travail de l'historien comporte deux facettes, d'une part la recherche de nouvelles parties visibles de l'iceberg et d'autre part la tentative de reconstruction, à partir de ce qui est visible, de la partie invisible de l'iceberg. Une telle reconstruction constitue «une histoire». Mais, bien sûr, les mêmes données peuvent mener à plusieurs reconstructions différentes. On voit donc qu'il nous faut parler d'une histoire et non pas de l'histoire.



Figure 6

La façon d'effectuer une reconstruction dépend de ce que nous pensons devoir être la logique interne de l'histoire qui nous intéresse. C'est pourquoi toute histoire n'est pas neutre. Elle est nécessairement le reflet de la pensée d'une personne, l'historien, et de la société dans laquelle il est plongé.

L'histoire découle donc d'un genre d'interpolation. Elle reflète nécessairement les idées et les vues de l'historien. Les histoires des sciences illustrent bien cela. On conçoit habituellement la science comme un système de connaissances développées à partir d'un processus où l'expérience, l'hypothèse et la théorie permettent par leur interaction de passer d'un certain nombre de données à une connaissance jugée supérieure à ce que l'on savait auparavant. L'existence d'une vérité absolue est sous-jacente à cette conception des sciences. La science évolue vers cette vérité absolue. Un historien des sciences faisant sienne cette conception construira une histoire dans laquelle sera mis en évidence cette marche vers la vérité. S'il pousse sa logique jusqu'au bout, il en viendra à ne considérer dans son histoire que les faits et les événements ayant participé à cette marche vers le

corpus de connaissances considérées aujourd'hui comme scientifiques. Pour cet historien, les élucubrations d'un alchimiste du XVI^e siècle n'auront d'importance que dans la mesure où elles auront amené la découverte d'un maillon faisant maintenant partie du corpus des sciences modernes.

Un autre point de vue, qui n'est d'ailleurs pas en opposition avec celui dont il vient d'être fait mention, veut que l'activité scientifique soit considérée et étudiée indépendamment des autres activités humaines. L'histoire qui en découle est appelée l'histoire interne. C'est essentiellement une histoire des idées repliée sur la discipline elle-même.

Une autre «école» d'historiens des sciences prend comme prémisse que la science est avant tout une activité sociale comme les autres. Leur histoire des sciences est construite dans le contexte des grands mouvements sociopolitiques de chaque époque. Cette école a produit des études fondamentales pour une meilleure compréhension de l'évolution des sciences. Cependant, ses historiens perdent de vue parfois les caractéristiques spécifiques à la science et particulièrement aux sciences dites exactes. Cette approche de l'histoire des sciences est appelée l'histoire externe des sciences.

CHAPITRE I : LE MIRACLE GREC

1.1 Quelques mots sur l'histoire de la Grèce et de ses colonies ainsi que sur l'histoire de l'Empire romain

La grandeur de la civilisation grecque n'a jamais reposé sur un pouvoir politique centralisé. Au contraire, le monde grec a toujours été morcelé entre plusieurs cités-états. Les cités-états se partageaient un territoire qui allait bien au-delà de la Grèce telle que nous la connaissons aujourd'hui. De grandes villes grecques, comme Milet et Samos d'où sont originaires Thalès et Pythagore, étaient situées sur les rives orientales de la mer Égée, sur les côtes occidentales de ce qui est aujourd'hui la Turquie (Anatolie). Ainsi, le monde grec entoure la mer Égée. Mais, vers 700 av. J.C., des colonies commerciales sont implantées ici et là dans le bassin méditerranéen, particulièrement sur les côtes de la mer Noire, dans le sud de l'Italie, en Sicile, sur les côtes de ce qui est aujourd'hui la France et l'Espagne, et, en Afrique du Nord, sur les côtes de l'actuelle Libye. C'est aussi l'époque des récits épiques comme celui d'Homère sur la guerre de Troie.

L'éparpillement du pouvoir politique entre de nombreuses cités est un facteur positif dans le développement de la pensée grecque. Même si un penseur est déclaré indésirable dans une ville et en est chassé, il a la possibilité de trouver refuge dans une autre cité où ses idées sont mieux comprises. Dès lors, la multiplicité des centres de pouvoir assure la coexistence des systèmes de pensée concurrents. Nous constaterons un phénomène similaire à la Renaissance alors que le principal pouvoir de l'époque, celui de l'Église, se verra contesté et que la carte religieuse et politique de l'Europe prendra l'allure d'une mosaïque.

Les villes grecques de l'Anatolie furent toujours en relation avec les grands empires qui se succédèrent en Mésopotamie. À partir de 550 av. J.C., les Perses entreprendront, sous la direction des rois Cyrus, Darius et Xerxès, des campagnes successives contre les Grecs. Le centre de l'activité intellectuelle grecque, qui était alors justement sur les côtes de la mer Égée, se déplace peu à peu vers les colonies du sud de l'Italie et de la Sicile. Ainsi, Pythagore, élève de Thalès à Milet, ira créer une importante école à Crotona, en Italie. Ce n'est qu'un siècle plus tard qu'Athènes, avec ses grands philosophes, Socrate (470-399), Platon (427-347) et Aristote (384-322), deviendra le centre intellectuel incontesté du monde grec.

Platon fut le maître d'Aristote qui fut lui-même le précepteur d'Alexandre. Cette filiation situe bien Alexandre dans le temps. Son empire accentuera l'influence grecque au Moyen-Orient. En fondant Alexandrie et en décrétant qu'elle est sa capitale, Alexandre indique bien son intention de ne pas se restreindre à une simple domination politique de vastes territoires par les Grecs. De fait, il cherche à asseoir son pouvoir. Aussi favorise-t-il le contact de ses soldats avec les peuples soumis. Par exemple, il fera en sorte que ses soldats restent sur les

terres conquises. Pour ce faire, il leur ordonne de prendre pour femmes des filles du pays et de fonder ainsi une famille.

La mort précoce d'Alexandre et la division de son empire entre les diadoques ne diminuera pas vraiment cette poussée de la civilisation grecque dans la région. Ptolémée en Égypte et Séleucos en Mésopotamie favorisent clairement la façon grecque de faire, tout en ne rejetant pas les acquis des grandes civilisations dont ils sont maintenant les maîtres. En créant le Muséum d'Alexandrie, Ptolémée prend les moyens pour atteindre son but. Que ce soit sous le règne des Ptolémée ou sous la domination romaine, le Muséum sera pour plus de six cents ans le centre intellectuel le plus actif du bassin méditerranéen.

La transformation de l'Égypte en une province romaine ne signifie pas la fin de l'influence grecque. De fait, la Grèce européenne était elle-même devenue une province romaine en 146 av. J.C. Cette conquête militaire avait eu pour conséquence une augmentation de l'influence grecque dans le monde romain. L'insertion d'Alexandrie dans le giron de Rome ne pouvait qu'accentuer cette influence. Ainsi la perte de l'autonomie politique correspond-elle en réalité à une expansion géographique de la sphère d'influence de la civilisation grecque. Dans les bonnes familles, les précepteurs furent le plus souvent des esclaves grecs. Néanmoins, même si cette influence touche surtout l'élite romaine, la langue du peuple reste le latin ou une langue locale. D'ailleurs, certains des points forts de la pensée grecque restèrent de tout temps étrangers au génie romain. Les Romains étaient essentiellement pratiques. Leurs réalisations en architecture le montrent bien. Toutefois, ils étaient réfractaires à la pensée spéculative. Aussi n'est-il pas surprenant qu'aucun nom romain ne soit associé à une importante découverte scientifique.³ Nous l'avons déjà dit, lorsque l'empire deviendra difficile à gouverner à la fin du III^e siècle, la division naturelle sera celle correspondant à la langue.

Liste des diapositives vues en cours:

- Migrations grecques (-1200, -1000)
- Villes et états grecs (vers -700)
- Expansion coloniale grecque (vers -750, -550)
- Poussée de l'empire Perse (vers -350)
- Alexandre le grand (-336, -323) et les royaumes des diadoques
- Empire romain et division de l'empire

1.2 Les grandes écoles grecques

Notre histoire commence dans une période faste de l'histoire de l'humanité. Le VI^e siècle avant J.C. a vu vivre plusieurs penseurs dont l'influence se fait encore sentir aujourd'hui. En Grèce, il y a Thalès et son élève Pythagore. En Perse, le grand prophète religieux Zoroastre (Zaratoustra pour les amateurs de Strauss...) commence à répandre ses idées sur

³ L'on retrouve quelques noms en sciences naturelles comme Plin l'Ancien (23-79) pour son *Histoire naturelle* ou Boetius (souvent écrit Boèce, 480-524) pour ses livres élémentaires d'arithmétique et de géométrie.

un dieu unique. En Inde, le prince Sidharta Gautama se retire pour mieux réfléchir sur la souffrance des hommes. Il deviendra bientôt connu sous le nom de Bouddha. En Chine, Confucius veut faire régner l'ordre par un retour aux rites d'autrefois. Son contemporain Lao-Tseu prêche une doctrine du «Non-agir». L'influence de tous ces penseurs se fait encore sentir aujourd'hui.

1.2.1 École ionienne : Thalès de Milet (-624, -546)

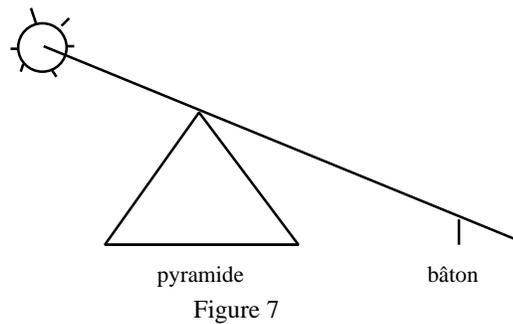
La légende veut que Thalès de Milet fut introduit aux secrets de l'univers par les prêtres égyptiens et les mages babyloniens. L'historien grec Hérodote raconte 150 ans après l'époque de Thalès, que ce dernier avait prédit l'année au cours de laquelle une éclipse totale du soleil devait se produire. Lorsque l'éclipse se produisit effectivement comme prévue, les Grecs furent remplis d'admiration pour Thalès. Toutefois, sachant que Thalès avait voyagé en Mésopotamie et que les Babyloniens avaient développé une méthode pour prévoir les éclipses à une année près, nous pouvons penser que le philosophe grec n'a fait qu'appliquer ce qu'il avait appris au cours de ses voyages. On attribua à Thalès les premières tentatives d'explication des phénomènes naturels sans se référer aux dieux. Il passa ainsi progressivement du mythe à la science.

1.2.1.a Cosmologie. L'élément fondamental : l'eau

La cosmologie de Thalès repose sur l'idée que l'eau constitue l'élément fondamental de l'univers. (Voir la figure 6) La Terre repose sur une masse d'eau qui, comme chez les Égyptiens et les Babyloniens, l'entoure de toute part. Les planètes sont ici aussi des barques, mais des barques qui suivent un trajet immuable, des barques qui n'ont rien à voir avec les dieux. L'eau est à la base de l'univers d'un autre point de vue. Toute matière est constituée d'eau. Le feu et l'air sont de l'eau évaporée. Les solides sont de l'eau condensée. L'eau céleste provient de la condensation de l'eau qui émane de la terre.

1.2.1.b Les mathématiques : au-delà de ce qui est accessible

Plus intéressant encore est le travail de Thalès en géométrie. La légende veut que, lors de son séjour en Égypte, on lui ait demandé de mesurer la hauteur d'une pyramide. Sans même monter sur la pyramide, Thalès s'exécuta. Sa méthode est fort ingénieuse. Elle consiste à mesurer l'ombre faite par un bâton et celle faite par la pyramide. Si l'ombre de la pyramide est 50 fois plus grande que celle du bâton, alors la pyramide est 50 fois plus haute que le bâton. (figure 7)



Cet usage de la proportionnalité est important à plusieurs égards. En premier lieu, elle illustre comment l'inaccessible peut devenir accessible. Plus précisément, il devient possible, par de tels raisonnements, de connaître sans avoir besoin du toucher, et cela tout en gardant un haut degré de certitude. Cette constatation peut nous paraître banale. Dans le monde antique, et particulièrement dans le monde grec, elle tient d'une véritable révélation. Pour les Grecs, l'homme entre en contact avec la nature par le moyen de ses sens. Or peut-on vraiment faire confiance à nos sens? Les illusions d'optique nous montrent assez bien que la vue nous trompe souvent. On ne peut davantage être certain de l'ouïe et encore moins du goûter, sans parler de l'odorat. Alors le seul sens fiable semble être le toucher. Nous verrons qu'Aristote base son explication du mouvement sur le toucher. Dès lors, le fait d'utiliser un raisonnement qui assure un degré de certitude équivalent à celui du toucher constitue une première brèche dans cette croyance voulant que le toucher soit le sens le plus sûr. La déduction se montre ici de fait plus efficace que le toucher. Cet enseignement ne tombera pas dans des oreilles de sourds.

1.2.1.c Pensée inductive et pensée déductive

La **pensée inductive** va du particulier au général. De quelques observations, elle induit des règles générales. Exemple: Les quatre premiers étudiants qui entrent dans la classe ont les cheveux roux; j'en déduis que tous les étudiants qui entreront par la suite auront les cheveux roux. L'on constate ici l'importance de multiplier les observations. Mais même lorsque le nombre d'observations est très grand, on ne peut être assuré que le principe général qui se dégage soit toujours vrai. La **pensée déductive** va du général au particulier. Ainsi, la loi de la gravitation de Newton se veut générale. Dès lors, je peux l'appliquer au mouvement d'un corps céleste particulier, un satellite par exemple. Exemple: dans la cosmographie d'Anaximèdre (-610, -546), un disciple de Thalès, le principe général est que la symétrie est importante et a une valeur d'explication. En conséquence, la Terre doit être au centre de l'univers car elle doit satisfaire le principe de symétrie. Si l'on constate que la Terre n'est pas effectivement au centre de l'univers, il faudrait alors renoncer au principe de symétrie comme principe universel.

1.2.2 Vers la démocratie (vers -500) : fin des mythes, importance de l'Agora pour le développement de l'idée de preuve (rhétorique et dialectique).

Vers 500 av. J.C., le régime politique des cités-états grecques se modifie. La démocratie⁴ s'installe progressivement dans plusieurs cités. Certaines cités demeurent fidèles à la royauté. D'autres tombent sous la coupe de tyrans. Mais, néanmoins, les idées démocratiques s'infiltrèrent un peu partout. La diversité des régimes politiques assure la survie de plusieurs systèmes philosophiques. Le dynamisme engendré par l'existence simultanée de ces systèmes est nourri par la dynamique intrinsèque à l'activité démocratique. En effet, pour recevoir le support des électeurs, le candidat à un poste électif doit convaincre ses électeurs que ses idées sont les plus aptes à lui permettre de bien remplir ses fonctions. Au fond, ce que le candidat propose à ses électeurs, ce sont des principes généraux qui, une fois appliqués, se montreront bénéfiques pour le bien commun. Pour convaincre les électeurs, il doit développer une argumentation que ses adversaires ne sauront pas attaquer avec succès. La structure logique devient donc très importante. Elle devient le support du discours. La démocratie amène la fin de la dictature des mythes. La conviction n'est plus donnée a priori. Elle découle d'une démonstration qui prend une forme discursive.

Les Grecs attribuèrent une grande importance aux discussions publiques. Ainsi, l'agora, la place du marché, devient dans une ville le lieu privilégié pour les grands débats. Raisonnements déductifs, démonstrations, logique. Qui penserait qu'ils se sont développés parmi les poules et les étals des bouchers?

1.2.3 École pythagoricienne : Tout est nombre (vers -500)

Pythagore de Samos (582 - 497 av. J.C.)⁵, élève d'Anaximandre et peut-être même de Thalès, marqua profondément la pensée grecque, et, après elle, la pensée occidentale. Pourtant, il est loin d'être un démocrate. Après avoir quitté les côtes de la mer Égée, il s'installe à Crotona, au sud de l'Italie, où il fonde une secte qui s'entoure de mystères. La secte prenant parti pour les aristocrates et contre les démocrates, elle est chassée de Crotona avec son chef vers 510 av. J.C.. Elle est par la suite l'objet de persécutions et disparaît complètement comme entité politico-religieuse vers 350 av. J.C.

1.2.3.a Cosmologie : esthétisme, Zeus au centre de l'univers.

Comme pour Anaximandre, la pensée des pythagoriciens donne une importance fondamentale à la symétrie et plus généralement à l'esthétisme. Dans cette cosmologie, le

⁴ En fait cette démocratie est limitée à une classe supérieure. Les marchands par exemple ne font pas partie de cette classe. Il en va bien sûr de même pour les esclaves. (Voir Ben-David)

⁵ Tous les auteurs ne s'entendent pas sur les détails de la vie de Pythagore. Certains vont même jusqu'à dire que Pythagore n'est pas un personnage historique et que seule la secte religieuse a vraiment existé.

principe de la symétrie est plus poussé que chez Anaximandre. Tout est organisé symétriquement autour du centre de l'univers. Il n'y a ni haut ni bas. Tout repose sur la figure parfaite par excellence, la sphère. La Terre elle-même est vue comme une sphère placée au centre de l'univers. Au centre de cette sphère brûle le feu central, résidence de Zeus, le premier parmi les dieux. Les planètes tournent autour de la Terre. Elles sont placées sur des sphères concentriques. La sphère extérieure est celle des étoiles. Au-delà brûle le feu extérieur. Dans la cosmologie des premiers pythagoriciens, les sphères émettent des sons qui sont en harmonie les uns avec les autres. La légende veut que seul Pythagore pût entendre cette musique des sphères. Ainsi il pouvait non seulement percevoir l'esthétisme géométrique de l'univers mais aussi associer ce dernier à un esthétisme sonore, musical. Il y a là un message : lorsque perçus sous un certain angle, des phénomènes sans liens apparents peuvent de fait présenter des analogies. C'est le devoir du pythagoricien de rechercher ces analogies secrètes qui dévoilent la vraie nature de l'univers. Le nombre est l'outil fondamental qui permet de mettre en évidence ces analogies. C'est pourquoi, pour un pythagoricien, «tout est nombre». (N.B. Le «nombre» doit être compris ici comme un nombre naturel ou rapport de nombres naturels. De tels rapports sont ce que nous appelons aujourd'hui des nombres naturels.)

1.2.3.b Tout est nombre : musique, arithmétique, astronomie, médecine.

Le nombre apparaît en musique par le biais des cordes vibrantes. Le son émis par une corde tendue qui vibre est fonction de la longueur de la corde. Les pythagoriciens remarquèrent que, lorsque deux cordes ont des longueurs qui sont dans un rapport simple, leurs sons respectifs sont harmonieux pour l'oreille. Ainsi, le rapport de 2 à 1 des longueurs correspond en musique à un intervalle d'une octave, le rapport de 3 à 2 correspond à une quinte et celui de 4 à 3 à une quarte. La musique des sphères devrait aussi se ramener à des rapports simples.

Les figures elles-mêmes sont caractérisées numériquement. Ainsi les triangles sont associés à la suite des nombres 3, 6, 10, etc., appelés nombres triangulaires. Un coup d'oeil à la figure 8 nous fait voir pourquoi. De même, la suite des nombres 4, 9, 16, etc. est associée au carré.

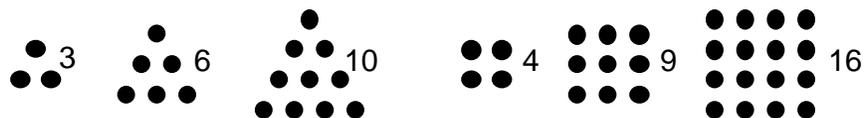


Figure 8

Les pythagoriciens ont ainsi développé une théorie des nombres figurés. Cette théorie est toutefois plus qu'une curiosité. Il semble que ce soit dans le cadre de celle-ci que furent faites les premières démonstrations mathématiques. Voyons un exemple. L'énoncé: Tout nombre carré est la somme de deux nombres triangulaires consécutifs. Un simple coup d'oeil sur la figure 9 nous permet de nous rendre compte de la véracité de cet énoncé dans le cas du nombre carré 16 qui est la somme des nombres triangulaires 6 et 10. Mais il

permet de voir qu'il est facile de généraliser le raisonnement à quelque nombre carré que ce soit.

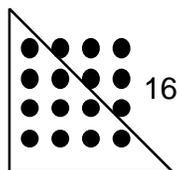


Figure 9

Il y a même des liens entre ces nombres figurés et la musique. Ainsi, les premiers nombres rectangulaires, 2, 6, 12 ont une correspondance avec les rapports consonants simples car 2 est associé au rapport de 2 à 1, l'octave, 6 est associé au rapport de 3 à 2, la quinte, 12 est associé au rapport de 4 à 3, la quarte.⁶

1.2.3.c Le vocabulaire pythagoricien aujourd'hui.

Plusieurs termes que nous utilisons aujourd'hui sont d'origine pythagoricienne. Ainsi en est-il du terme tonus. Il fut appliqué au corps lorsque les pythagoriciens établirent des analogies entre l'harmonie musicale et l'harmonie du corps. Un corps sain est un corps dont les différentes parties sont en harmonie les unes avec les autres. En musique, une pièce est habituellement écrite dans un certain ton, autrement dit dans une certaine gamme. Être dans le ton implique d'être en harmonie avec la pièce. Un corps qui a du tonus est un corps dont les différentes parties sont dans le ton les unes avec les autres. C'est un corps sain.

L'on pourrait établir des filiations similaires pour les mots tempérament et tonique. Pas surprenant que l'on croyait aux propriétés thérapeutiques de la musique.

Le mot anglais «figure», qui signifie chiffre, est aussi d'origine pythagoricienne. Il exprime simplement le lien entre les nombres et les figures géométriques discrètes.

Un autre mot d'usage courant mérite que l'on s'y arrête. Il s'agit du mot «théorie». Voici les explications données par Koestler (p. 33):

En reliant la musique à l'astronomie et l'une et l'autre aux mathématiques, l'expérience affective s'enrichit et s'approfondit par la vision intellectuelle. L'émerveillement cosmique et le plaisir esthétique ne vivent plus séparés de l'exercice de la raison : tout cela est en corrélation. Maintenant le dernier pas est franchi ; les intuitions mystiques de la religion sont intégrées aussi dans l'ensemble. Là encore, l'évolution s'accompagne de changements subtils dans le sens de certains mots clefs, tels que *theôria*, théorie. Le mot provient du verbe *theôriô*, considérer, contempler (*thea*, spectacle, *theôris*, spectateur, auditoire). Mais dans

⁶ Voir Koestler, Arthur, *Les somnambules*, Essai sur l'histoire des conceptions de l'Univers, Calmann-Lévy, 1960, p. 26.

l'usage orphique *theôria* en vient à signifier «état de fervente contemplation religieuse dans lequel le spectateur s'identifie au dieu souffrant, meurt de sa mort et ressuscite, de sa nouvelle naissance». Lorsque les pythagoriciens canalisèrent la ferveur religieuse en ferveur intellectuelle, l'extase rituelle en extase de découverte, la *theôria* devint peu à peu la «théorie» au sens moderne. Mais si les nouveaux théoriciens remplacèrent par l'Eureka les rauques invocations des mystères, ils n'oublièrent pas la source commune de ces deux sortes de cris. Ils savaient que les symboles de la mythologie et ceux de la mathématique étaient des aspects différents de la même Réalité indivisible.

Extase et connaissances : Savons-nous encore les associer avec une telle ferveur?

L'extase provoquée par la découverte des analogies numériques entre des phénomènes en apparence différents constitue une première. En effet, pour la première fois, la recherche d'explications passe par la mesure. Associer un nombre à une grandeur devient un processus nécessaire pour pouvoir mettre en évidence les analogies cachées. Pour les pythagoriciens, l'explication d'un phénomène passe par l'arithmétique. Les rapports numériques et les proportions sont au cœur du discours explicatif.

1.2.3.d La fin d'un rêve : Tout n'est pas nombre.

La secte des pythagoriciens fut chassée de Crotona par le parti démocratique. Elle se répandit dans tout le monde grec. Cet exil forcé eut un côté positif puisque les idées de la secte furent connues dans tout le bassin méditerranéen. Politiquement, elle disparaît vers 350 av. J.C. Cette disparition ne découle pas simplement d'actions politiques. Elle trouve aussi sa source dans une découverte qui vint saper les bases mêmes de leur système : «Tout n'est pas nombre».

Affirmer que «Tout est nombre» implique non seulement que tout est mesurable mais aussi que des grandeurs de même nature peuvent être mises en rapport les unes avec les autres en comparant leurs mesures.

Prenons deux segments A et B comme exemple. Pour chacun de ces segments, je peux trouver des unités de mesure telles que, si je les mesure par rapport à ces unités, les segments auront chacun une mesure entière. Une règle d'un mètre mesure 1 si l'unité de mesure est le mètre. Elle mesure 100 si l'unité de mesure est le centimètre. Etc. Par ailleurs, si j'utilise le pouce comme unité de mesure, la règle n'aura pas de mesure entière. Pour les pythagoriciens, mesurer la règle d'un mètre en employant le pouce ne présente aucun intérêt. Il leur faut utiliser des mesures qui sont entières et donc choisir une unité de mesure en conséquence. Cela ne présente habituellement aucune difficulté. Cependant, lorsqu'il s'agit de comparer deux segments l'un à l'autre, le problème se complique. Les pythagoriciens croyaient qu'il était toujours possible de trouver une unité de mesure qui mesurerait exactement deux segments, c'est-à-dire qui entrerait un nombre exact de fois dans chacun des segments. Ainsi, le rapport de deux longueurs pourrait toujours s'exprimer comme rapport de deux nombres entiers. Or voici qu'un membre de la secte découvrit qu'il est impossible de trouver une unité de mesure qui mesure exactement à la fois le côté d'un

carré et sa diagonale. Ces deux segments sont donc incommensurables. Pour les pythagoriciens, cette découverte est tragique. Le sol se dérobe sous leurs pieds.

La découverte de l'existence de segments incommensurables constitue non seulement un véritable cataclysme dans la secte, elle provoque la séparation complète de l'arithmétique et de la géométrie. Les Grecs n'arriveront jamais à transcender cette brisure. Certes l'arithmétique est comprise dans la géométrie (prendre tous les segments commensurables à un segment donné). Mais la découverte d'une paire de segments incommensurables montre que la géométrie a un domaine d'application plus large que celui de l'arithmétique. Aussi, à la suite de la chute des pythagoriciens, l'arithmétique prendra une forme purement géométrique chez les philosophes et les mathématiciens. L'arithmétique telle que pratiquée par les marchands sera vue quant à elle comme un domaine sans statut intellectuel, d'autant plus que les marchands étaient plutôt au bas de la hiérarchie sociale. La séparation entre la géométrie et l'arithmétique devint irréversible lorsque Zénon d'Élée énonça ses paradoxes (Achille et la Tortue, la Dichotomie). Ces paradoxes montraient l'incapacité de notre pensée à mener avec assurance des raisonnements impliquant l'infini. Or, pour établir une relation de type numérique entre la diagonale d'un carré et l'un de ses côtés, il faut faire appel à un processus infini. Les Grecs se trouvent ainsi piégés. La géométrie fera des progrès remarquables. L'usage des nombres deviendra marginal en géométrie. La mesure des grandeurs sera reléguée au second plan pour près de 1800 ans.

1.2.3.e Un ingénieur : Eupalinos et le tunnel de Samos.

Pour montrer les capacités remarquables des Grecs en ingénierie, voyons l'exemple d'un contemporain de Pythagore qui vécut aussi à Samos au temps où Pythagore y habitait encore.

Selon le grand historien grec Hérodote, Eupalinos est un ingénieur qui creusa un long tunnel destiné à amener l'eau jusqu'à la ville de Samos. Mais la localisation précise du tunnel avait été oubliée et plusieurs pensaient même qu'Hérodote avait inventé son existence ou avait simplement repris une légende. Toutefois, au début de ce siècle, le tunnel fut redécouvert. Long de plus de 900 mètres, il a été creusé par les deux bouts simultanément. Les équipes se sont rejointes à mi-chemin n'ayant dévié l'une de l'autre que d'un mètre environ. Hérodote avait raison. Il s'agit bien d'une merveille de l'ingénierie.

1.2.3.f Extension de la cosmologie pythagoricienne :

Philolaos (-480, ?),

Héraclide (-388, -315), Aristarque (-320, -250)

La cosmographie pythagoricienne telle que vue par l'astronome Philolaos (-480, ?) s'inspire de la cosmologie pythagoricienne primitive. (Voir la figure 10). Toutefois, la Terre, une sphère, n'est plus au centre de l'univers. Le principe de symétrie est-il ici mis de côté? Non. De fait, comme nous l'avons souvent répété, pour les pythagoriciens tout est nombre (entendre nombre naturel). Or, dans la mystique des nombres qu'élaborent les pythagoriciens, le nombre 10 est fondamental. Il est le troisième nombre triangulaire. Il devrait donc se retrouver dans la structure de l'univers. Philolaos suggère que l'univers soit

composé de 10 sphères. L'on ne connaissait alors que 7 corps mobiles : Lune, Soleil, Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne. Avec la sphère des étoiles, cela fait 8 sphères, en supposant que l'orbite de chaque planète se situe sur une sphère dont le centre est aussi le centre de l'univers. Il faut donc ajouter deux autres sphères pour en avoir 10. Aussi, la Terre doit quitter le centre de l'univers et être placée sur une sphère. Entre la Terre et le centre de l'univers, une autre sphère vient s'ajouter, la sphère de l'Anti-terre. Le centre de l'univers est occupé comme auparavant par le feu central, résidence de Zeus, à ne pas confondre avec le Soleil. L'Anti-terre a la particularité d'être toujours placée exactement entre la Terre et le feu central de sorte que, de la Terre, ce dernier n'est jamais visible.

L'astronome Héraclide, élève de Platon et donc postérieur à l'époque des pythagoriciens, reprendra l'idée pythagoricienne de voir la Terre comme une sphère. Il la situe à nouveau au centre de l'univers, le feu central ayant réintégré le centre de la Terre. Cependant, au lieu de faire tourner les sphères dans un mouvement de rotation de 24 heures, il fait tourner la Terre elle-même. Autre différence, les planètes tournent autour d'elle sauf pour Mercure et Vénus qui tournent autour du Soleil.

La combinaison des idées de Philolaos et d'Héraclide ouvre de nouvelles possibilités d'organisation du système planétaire. Aristarque explora ces nouvelles possibilités. Il en vint à proposer un système héliocentrique globalement similaire à celui proposé 1800 ans plus tard par Copernic. Malheureusement, Aristarque ne fit pas école. Ses idées furent plus ou moins oubliées jusqu'à ce que les astronomes de la Renaissance les dépoussièrent.

1.2.4 École platonicienne : le monde des idées, Platon (~-427, ~-347)

En 387 av. J.C., Platon, un temps militaire, un temps politique, fonde l'Académie, du nom du légendaire Academus à qui aurait appartenu autrefois le terrain sur lequel l'école est construite. Cette école, il faudrait plutôt parler d'université, connaîtra une très longue vie puisqu'elle ne sera fermée qu'en 529 ap. J.C. Ce fut le grand empereur byzantin Justinien qui ordonna de la fermer, donnant ainsi le coup de grâce au dernier centre du paganisme antique. Au-dessus de la porte de son école, Platon fait inscrire : «N'entre pas ici qui ne connaît pas la géométrie». C'est que le grand philosophe considère la géométrie comme un paradigme de connaissance. Pour comprendre pourquoi, voyons ce sur quoi repose la philosophie de Platon.⁷

1. Il y a des modèles absolus (Formes, Essences, Idées, Universaux) qui existent pour tout homme et à toute époque, indépendamment de l'opinion des hommes à leur sujet.
2. Ces formes sont non seulement des productions de la pensée. Elles existent aussi dans un monde indépendant de monde spatio-temporel.

⁷ Inspiré de Shapere, Dudley, *Galileo, A philosophical Study*, Chicago : Chicago Un. Press, 1974.

3. Le monde spatio-temporel est le domaine du devenir, du changement, du mouvement. De ce monde, nous ne pouvons avoir que des impressions, mais non des connaissances. On ne peut connaître que ce qui ne change pas, c'est-à-dire les formes, car la vérité est éternelle.
4. Les formes sont le principe explicatif des choses du monde spatio-temporel : de façon descriptive en ce sens qu'elles seules sont connaissables, de façon prescriptive en ce sens qu'un objet est d'autant plus parfait qu'il imite la forme à laquelle il doit correspondre.
5. La connaissance des formes ne peut pas être obtenue par l'expérience des sens mais plutôt par la raison. (La doctrine de la réminiscence et le mythe de la caverne: avant la naissance, l'âme était en contact avec le monde des Idées, après la naissance, elle oublie et se trouve enfermée dans un corps, un peu comme un homme enfermé dans une caverne qui, faisant dos à l'entrée, ne voit pas directement les objets extérieurs [les idées] mais seulement leurs ombres [le monde spatio-temporel].)

Autrement dit, en simplifiant, l'on peut dire que Platon croit en l'existence de deux mondes. Le monde spatio-temporel dont nous faisons partie, est continuellement en changement. Rien n'y est stable. Tout bouge, se modifie, se dégrade. Le monde des Idées (ou des formes) constitue un univers marqué au sceau de la stabilité. Tout y est éternel, parfait. A quoi sert de connaître un objet du monde spatio-temporel? L'objet, dont on connaît les caractéristiques à un moment donné, se déforme et se modifie continuellement. À l'instant suivant, il diffère de ce qu'il était à l'instant précédent. Par contre, les Idées peuvent, par leur permanence, faire l'objet de la connaissance. L'expérience et l'observation ont donc un rôle très secondaire dans la quête de la connaissance. La pensée seule est l'outil véritable de la connaissance.

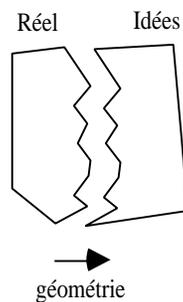


figure 11

Dans cette perspective, il n'y a *a priori* aucune raison de croire à l'existence d'un lien entre le monde spatio-temporel et celui des Idées. Platon croit qu'il y a tout de même un lien. Le monde réel se dégrade progressivement. Cependant, régulièrement, le monde des Idées vient s'accoler au monde réel pour lui redonner une structure. C'est un peu comme si une

matrice ou un moule venait redonner une forme à un bloc de gélatine qui commencerait à s'affaisser dès qu'il serait laissé à lui-même.

La géométrie appartient essentiellement au monde des Idées. Le cercle n'existe pas dans notre monde imparfait. Il est le lieu des points équidistants d'un point central appelé le centre du cercle. Les cercles que nous traçons ont tous une épaisseur. Les points réels qui le forment occupent une partie de la surface du plan sur lequel il est tracé. Ces points sont de plus à des distances légèrement différentes du centre. Le cercle réel ne correspond pas au cercle idéal. Toutefois, par la géométrie, nous pouvons connaître les propriétés du cercle. Ainsi, la géométrie permet d'établir un lien entre le réel et le monde des idées. Mais surtout, l'apprentissage de la géométrie constitue un moyen d'apprendre à se «souvenir» des objets géométriques idéaux. Il a un rôle pédagogique central. C'est pourquoi Platon a inscrit sa célèbre phrase au-dessus de la porte principale de son école.

Cinq remarques en terminant :

- a) Pour atteindre une véritable connaissance du monde des idées, le raisonnement déductif est l'outil par excellence.
- b) Comme nous l'avons vu, le cercle et la sphère sont des figures invariables par rotation autour de leur centre. Ils changent et ne changent pas à la fois. Platon accentue leur importance en astronomie. Inspiré par l'école pythagoricienne, il conçoit les planètes comme des êtres parfaits. Il est alors normal que les planètes aient des orbites circulaires à l'intérieur de sphères cristallines. Le dogme platonicien de la perfection des planètes et de leurs orbites se révélera un obstacle difficile à surmonter même pour les astronomes de la Renaissance.
- c) La géométrie est remodelée par les géomètres platoniciens pour lui donner une structure déductive. Cette structure, portée à son sommet par Euclide à l'époque hellénistique, demeure un modèle de théorie mathématique même aujourd'hui.
- d) La dichotomie entre l'arithmétique et la géométrie s'accroît avec Platon. Platon considère que toute connaissance doit être recherchée pour sa valeur intrinsèque et non pour son application pratique. L'arithmétique des marchands devient dans ce contexte un sujet à éviter.
- e) L'école platonicienne considère remarquable le fait, prouvé en partie par les pythagoriciens, qu'il n'y a que cinq polyèdres réguliers (le tétraèdre, l'hexaèdre [le cube], l'octaèdre, le dodécaèdre et l'icosaèdre). Les trois premiers représentent et le dernier représente les quatre éléments de base (le feu, la terre, l'air et l'eau) alors que le quatrième représente l'éther. Ces cinq polyèdres sont depuis appelés les solides platoniciens.

1.2.5 Aristote de Stagire (-384, -322)

Aristote est associé généralement à la philosophie. C'est qu'on oublie qu'il est aussi le premier grand biologiste.

Né à Stagire, non loin de la Macédoine, Aristote fera ses études à Athènes, à l'Académie de Platon.⁸ Il y sera considéré comme le plus brillant des disciples du maître. Néanmoins, il semble qu'il s'oppose à la dévalorisation de l'observation et à la valorisation, selon lui excessive, des mathématiques et de la raison pure. Aussi, à la mort de Platon, il quitte l'Académie pour voyager. C'est au cours de ces voyages qu'il commença ses observations sur les êtres vivants. En 342, le roi Philippe de Macédoine lui demande de devenir précepteur de son fils Alexandre. Il le restera jusqu'en 336, lorsqu'Alexandre succède à son père sur le trône. Alors que le jeune roi s'apprête à former un grand empire, Aristote retourne à Athènes où, l'année suivante, il fonde sa propre école, le Lycée.⁹ Après la mort d'Alexandre à Babylone en 323, Aristote quitte Athènes de peur d'avoir à subir les foudres des Athéniens qui supportaient mal la domination macédonienne. Il mourut une année plus tard.

Pour Aristote, les idées n'existent pas indépendamment du monde réel. Elles sont formées par l'esprit nourri par les expériences et l'observation. Tout se passe dans notre tête. Les idées résident en nous. Tout en reconnaissant la valeur de la pensée déductive, il donne à l'induction une place centrale. À la suite d'observations, on peut induire des lois générales. À partir de ces lois, il est alors possible de construire par la déduction un système explicatif du monde. Pour que ce système soit bien construit, il doit satisfaire aux exigences de la logique. Aristote en était tout à fait conscient. C'est pourquoi il énonça clairement les règles de la logique. Sa logique domina le monde de la pensée jusqu'au milieu du XIX^e siècle.

En redonnant à l'induction une place centrale, Aristote contrebalance l'influence de Platon. Malheureusement, Platon sera beaucoup plus connu qu'Aristote dans le monde antique. De fait, Aristote ne commencera à avoir une influence majeure en Occident que lorsque ses écrits seront portés à l'attention des Européens par les Arabes au début du XII^e siècle.

⁸ Informations biographiques tirées de : Asimov, Isaac, *Biographical Encyclopedia of Science and Tehcnology*, London, Sydney : Pan Books Ltd, édition révisée, 1975, pp. 17-18.

⁹ Le nom de Lycée vient du fait que l'école d'Aristote était située près du temple d'Appolon Lykaios (le dieu-loup).

1.2.5.a Mécanique

La mécanique aristotélicienne repose sur quelques principes. Elle a donc une structure déductive. Voici quelques-uns de ces principes:

1. L'infini actuel n'existe pas. Seul l'infini potentiel existe. Ainsi, une collection d'un nombre infini d'objets ne peut exister réellement. Certes on peut faire des collections aussi grandes que l'on veut. L'infini peut donc être potentiel. On peut s'en approcher. Mais on ne peut l'atteindre.
2. La matière première est pure potentialité.
Le changement (ou le mouvement) est une actualisation d'une potentialité.

La terre, un des quatre éléments fondamentaux, ne peut réaliser sa potentialité qu'en étant à sa place naturelle, le centre de l'univers. Un objet qui est composé principalement de terre tend aussi à réaliser sa potentialité. Puisque la Terre est au centre de l'univers, un tel objet tend donc naturellement vers le centre de la Terre. Il tombe.

Du point de vue strictement mécanique, le principe est : tout élément tend à occuper sa place naturelle c'est-à-dire celle où il est au repos.

Sur la Terre, tout objet est constitué de la combinaison des quatre éléments fondamentaux: la terre, l'eau, l'air et le feu. La position naturelle de la terre est le centre de l'univers, celle de l'eau est immédiatement au-dessus de la terre, celle de l'air est immédiatement au-dessus de l'eau et celle du feu est immédiatement au-dessus de l'air. Une roche s'enfonce dans l'eau parce qu'elle est constituée principalement de terre. La fumée s'élève dans l'air parce qu'elle est constituée principalement de feu.

3. Il existe deux types de mouvements:
Les mouvements naturels : Ceux qui correspondent à la réalisation d'une potentialité.
Les mouvements violents : Ceux qui ne correspondent pas à la réalisation d'une potentialité. Ces mouvements sont le résultat de l'action d'une force appliquée directement sur le mobile.
4. En chute libre, la vitesse est proportionnelle au poids. Plus un objet est pesant, plus il ira rapidement vers sa position naturelle de repos.
5. La vitesse est inversement proportionnelle à la résistance.

Ce principe a pour conséquence que le vide n'existe pas. En effet, puisqu'il n'y a aucune résistance dans le vide, la vitesse d'un corps y serait infinie. Or l'infini n'existe pas.

Appliquons ces principes à l'étude du mouvement d'un projectile. Je lance une balle avec ma main. Puisque le mouvement naturel d'une balle est d'aller vers le centre de l'univers et que tout mouvement violent implique la présence constante d'une force appliquée à l'objet, la balle que je lance devrait se diriger vers le centre de la Terre dès que ma main cesse de toucher la balle. Or, clairement, ce n'est pas le cas. En réalité, elle continue sa trajectoire dans la direction du mouvement de la main. Pourquoi? Aristote donne l'explication suivante. À partir du moment que la balle quitte la main, le déplacement de la balle dans la direction de son mouvement provoque derrière elle la création d'un espace où momentanément il n'y a pas d'air. Or, puisque le vide ne peut exister, l'air s'engouffre dans cet espace sans air. Ce mouvement de l'air provoque une poussée sur la balle qui continue son mouvement. Un nouvel espace sans air se forme alors derrière la balle. L'air s'engouffre dans l'espace vide et pousse la balle qui continue son mouvement. Et ainsi de suite... La résistance de l'air ralentissant la balle, ce mouvement en viendra à s'arrêter. À ce moment, la balle commencera à suivre son mouvement naturel et tombera vers le sol.

Dans ce raisonnement sur le déplacement d'une balle, on remarque que le mouvement violent, résultant des forces issues du mouvement de l'air derrière la balle, et le mouvement naturel ne se combinent pas. Le second vient après le premier. Pour Aristote, il n'y a donc pas de composition des forces. Lorsqu'il y a deux forces, l'une domine complètement l'autre de sorte que la force dominante doit d'abord s'épuiser avant que la seconde puisse agir.

1.2.5.b Cosmologie

La cosmologie aristotélicienne s'inspire partiellement de Platon. L'Univers, fini bien sûr, se divise en deux. D'une part, il y a la Terre, une sphère placée au centre de l'univers. Elle est entourée d'autres sphères. Sur chacune d'elles se trouve une planète. La première de ces planètes est la Lune. Au-delà de la sphère des étoiles résident les dieux.

Le monde sublunaire est imparfait. Les potentialités ne s'y réalisent jamais parfaitement. Le monde céleste, au-dessus de et y compris la sphère de la Lune, est par contre un monde parfait.

La Terre est immobile. Autour d'elle tournent les sphères des planètes et des étoiles. La perfection des corps célestes se manifeste dans leur mouvement qui est circulaire. Puisqu'il ne saurait y avoir de vide, les sphères se touchent les unes les autres. Ainsi la sphère des étoiles, qui tournent en 24 heures, entraîne par frottement la sphère de Saturne, qui entraîne celle de Jupiter, et ainsi de suite jusqu'à celle de la Lune qui, elle, tourne le plus lentement. Le mouvement de tous les corps célestes découle de celui de la sphère des étoiles. De fait, les conséquences de ce mouvement se font sentir jusque sur la Terre. En effet, le mouvement de la sphère lunaire provoque le mélange des quatre éléments fondamentaux. Sans l'action continue de cette sphère, les éléments se sépareraient progressivement et occuperaient à la longue leur place naturelle.

Les lois gérant le monde sublunaire ne s'appliquent pas au monde céleste. Ainsi, alors que les corps célestes se déplacent naturellement suivant des mouvements circulaires, les corps terrestres se déplacent naturellement en ligne droite. Cette conception dichotomique de

l'univers a de nombreuses conséquences. Les observations issues de phénomènes terrestres ne peuvent s'appliquer au monde céleste. Nos connaissances se limitent donc à notre voisinage immédiat. Adieu les lois tout à fait générales...

La cosmologie d'Aristote repose sur l'hypothèse que la Terre est une sphère immobile au centre de l'univers. Puisque le philosophe insiste sur l'importance de l'observation, il se doit de supporter son hypothèse par des observations. Voyons comment il s'en sort:

Immobilité de la Terre :

La Terre ne saurait être mobile. En effet, si la Terre tournait sur elle-même en 24 heures, ce mouvement de rotation provoquerait des vents violents qui dévasteraient sa surface. De même, ce mouvement de rotation aurait pour conséquence que, lorsqu'on lance un objet vers le haut, il ne retomberait pas exactement à l'endroit d'où on l'aurait lancé mais plutôt légèrement à l'arrière, puisque celui qui a lancé l'objet s'est déplacé, entraîné par la rotation de la Terre.

Ces raisonnements font voir comment le toucher, ou plus précisément le contact physique, joue un rôle important. Dès que le contact physique est rompu entre la Terre et un objet quelconque, que ce soit l'air ou un objet lancé, la relation avec la Terre est coupée. L'on ne sait pas ce qui se passe vraiment.

La sphéricité de la Terre :

Preuve a priori (Argument qui repose sur les principes qui sont à la base de la cosmologie aristotélicienne)

Tous les objets composés principalement de terre ont tendance à aller vers le centre de l'univers. Cette tendance est d'autant plus forte que l'objet est lourd. Il s'ensuit donc que, dans leur mouvement naturel vers le centre de l'univers, les gros objets déplaceront les plus petits. Les gros objets se retrouveront plus près du centre alors que les plus petits se trouveront plutôt en surface. La Terre, située nécessairement au centre de l'univers, prend donc une forme de plus en plus sphérique.

Preuve a posteriori (En accord avec les observations)

1. Lors d'une éclipse de Lune, l'ombre de la Terre sur la Lune a clairement la forme d'un disque. La Terre est donc une sphère.
2. Lorsque nous regardons le ciel en nous déplaçant, nous constatons que les étoiles qui sont à l'horizon derrière nous disparaissent alors que de nouvelles étoiles apparaissent à l'horizon devant nous. Ce phénomène ne pourrait se produire si la Terre était plate. En effet, si la Terre était plate, toutes les étoiles visibles à un endroit le seraient aussi d'un autre endroit. Par ailleurs, si la Terre est sphérique, l'observateur ne voit que ce qui est au-dessus de l'horizon. Or

l'horizon se déplace avec l'observateur. Certaines étoiles auparavant invisibles deviennent alors visibles. (figure 12)

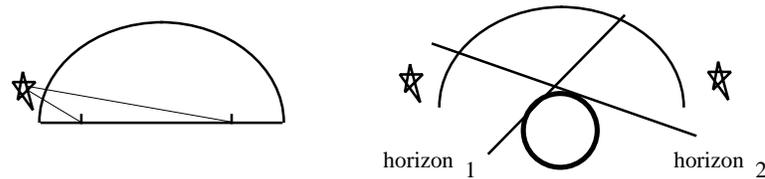


Figure 12

3. (Argument d'Adraste, un élève d'Aristote)
Lorsqu'on regarde un bateau s'éloigner du port, on voit sa coque disparaître sous l'horizon d'abord, puis la base du mat, et, progressivement, tout le mat. Dans l'hypothèse que la Terre soit ronde, cela correspond à ce qui devrait se passer. Toutefois, ce phénomène ne se produirait pas si la Terre était plate. Dans ce cas, le bateau deviendrait de plus en plus petit, mais il resterait complètement visible jusqu'à ce qu'il soit trop petit pour qu'on puisse en saisir la forme. Il est donc légitime de croire que la Terre est ronde.

1.2.5.c Physique (L'exemple de la lumière)

Pour Aristote, la lumière et les odeurs sont analogues au son dans leur façon de se répandre. Or les pythagoriciens ont montré que le son est une vibration. Il en résulte donc que la lumière et les odeurs sont aussi des vibrations. Cet exemple montre comment les analogies peuvent être fructueuses aussi bien que trompeuses.

1.2.5.d Histoire naturelle: description et classification

Aristote fut un grand observateur de la vie. Contrairement à ce qu'il a fait pour la mécanique et pour la cosmologie, il n'a pas réussi à donner à la biologie une forme plutôt déductive. La complexité des phénomènes vivants l'a obligé à faire part de ses observations sans pouvoir vraiment théoriser. Néanmoins, prenant conscience que chaque corps vivant forme un tout dont chacune de ses parties est intimement reliée à toutes les autres, Aristote en induit que l'univers est constitué de parties qui sont de même toutes reliées les unes aux autres. Vouloir étudier un phénomène en l'isolant ne devrait mener nulle part. Cette vision globalisante de l'univers est dite organique.

Aristote appelle la biologie, l'histoire naturelle, car, pour lui, le mot histoire signifie recherche. Il a écrit plusieurs livres d'histoire naturelle dont *Histoire des animaux*, *Des parties des animaux*, *De la génération des animaux*, *De l'âme*. La richesse des observations d'Aristote est remarquable. En étudiant les animaux marins, il constate que les baleines et les dauphins ont des poumons et respirent. Mais plus significatif encore, leurs petits naissent vivants et, comme foetus, ils sont reliés au corps de la mère par un cordon ombilical. Il en conclut que les cétacés ne sont pas des poissons mais des

mammifères marins. Son étude de la reproduction porte aussi bien sur les pieuvres que sur les papillons. Il montre entre autres que les chenilles correspondent à un stade du développement des papillons. Il montre aussi que certains animaux ont le sang rouge (nous savons que ce sont les vertébrés) alors que d'autre (les invertébrés) n'ont pas de sang rouge.

Classifier les êtres vivants constitue une tâche essentielle pour celui qui étudie la nature. L'exemple de la mise en évidence de la vraie nature des cétacés illustre bien l'importance de ce travail. Aristote classifie les être vivants en genres, espèces et *analogon*. Cette classification ne repose pas sur les mêmes critères que ceux utilisés depuis Linné au XVIII^e siècle.

Dans son livre *De l'âme*, Aristote traite des différents niveaux de vitalité. Il appelle cette étude la psychologie. L'âme est la forme, l'essence, d'un corps ayant la capacité de la vie. Il y a donc deux types de corps dans la nature : ceux qui n'ont pas d'âme, les corps inanimés, et ceux qui ont une âme, les êtres vivants. Mais tous les êtres vivants n'ont pas le même potentiel de vitalité. Il y a une hiérarchie dans la vitalité. C'est que celle-ci se manifeste à différents niveaux. Un premier niveau est celui de la capacité de se nourrir dans le but de croître et de se reproduire. Ce sont les caractéristiques de l'âme végétale. L'âme animale possède ce niveau de vitalité mais il y ajoute la possibilité de se mouvoir et de sentir. La sensation caractérise principalement l'âme animale. Le niveau supérieur de vitalité correspond à l'âme humaine. Cette dernière possède les caractéristiques de l'âme animale mais avec, en plus, l'intellect.

Cette hiérarchie des êtres va des êtres inanimés, au bas de l'échelle, à l'homme, tout au sommet de cette échelle. Chaque état de cette hiérarchie correspond à des potentialités de plus en plus riches. Un peu comme en mécanique, les interactions entre les différents êtres vivants s'expliquent par leur tendance à réaliser leurs potentialités naturelles.

L'idée de hiérarchiser les éléments formant l'univers sera poussée à l'extrême au Moyen Âge. Tout y sera hiérarchisé, la société, les domaines de connaissances, les objets et les êtres, de l'inanimé à Dieu en passant par les hommes et les anges.

1.3 Connaissance de l'homme : la médecine¹⁰

De tout temps les hommes ont été malades. De tout temps il y eut des gens pour tenter de les guérir. La médecine a été la première science expérimentale. C'est pourquoi je crois important de m'y arrêter brièvement.

1.3.1 Hippocrate de Cos (fl. vers -420; -460, -370)

Vous connaissez le serment d'Hippocrate que prononcent tous les médecins lorsqu'ils sont officiellement reçus à l'ordre des médecins. Hippocrate est considéré comme le père de la

¹⁰ Source: Claggett et Asimov.

médecine. Pourtant, un peu comme pour Pythagore, nous ne pouvons être certains que les oeuvres qui lui sont attribuées ont bien été écrites de sa main.

1.3.1.a L'expérience

Au corpus hippocratique correspond la démythification de la maladie. La maladie n'y est plus regardée comme une manifestation des dieux ou, plus souvent, des démons. La maladie est un déséquilibre du corps. Même l'épilepsie est perçue comme telle.

Pour savoir comment agir sur ce déséquilibre, il faut procéder à des expériences. C'est ainsi, sans doute, que l'école hippocratique en est venue à utiliser le pouls comme un indicateur de l'état d'une personne.¹¹

1.3.1.b Doctrine humorale

Le corps est en santé lorsqu'il y a équilibre de ses humeurs (liquide contenu dans le corps). Il y a quatre humeurs: le sang, la lymphe, la bile jaune et la bile noire. À chaque humeur correspond un organe qui le produit. Une présence trop importante de l'une de ces humeurs entraîne un changement dans notre état d'esprit. On trouve là l'origine d'expressions comme «être de bonne humeur» ou «être d'humeur maussade». La relation entre les humeurs et un état d'esprit peut être plus spécifique, comme l'indique le tableau suivant.

Humeur	Organe	Tempérament
sang	foie	sanguin
lymphe ou flegme	poumon	flegmatique
bile jaune	vésicule biliaire	bilieux
bile noire	rate	colérique

Ne sent-on pas la présence de Pythagore dans cette façon de voir les choses ?

La saignée, traitement remontant à la nuit des temps, tenait son efficacité de ce qu'elle favorisait le retour à l'équilibre des humeurs.

1.3.2 Érasistrate de Chios(-304, -250)

Médecin de la période hellénistique, Érasistrate fut médecin à la cour de Séleucos I, le général qui, après la mort d'Alexandre le grand, régna de la Mésopotamie jusqu'au fleuve Indus. Par la suite, il s'établit à Alexandrie. On dit qu'il pratiqua la vivisection sur des prisonniers. Peut-on voir là une conséquence de la séparation de la philosophie et de la science à l'époque hellénistique ?

¹¹ Tous les auteurs ne s'entendent pas sur ce point. Asimov attribue à Galien la paternité de cet usage.

1.3.2.a Sang et pneuma

Il fut un grand anatomiste. Sa familiarité avec le corps humain l'amène à remarquer que des veines, des artères et des nerfs entourent chaque organe. Il en conclut que ces trois systèmes nourrissent les organes. L'énergie provient de l'esprit vital, ou pneuma. Le pneuma vient des poumons et est transporté au coeur d'où il est distribué dans le corps par le système artériel. Le sang distribue la nourriture dans le corps. Il atteint les organes par le système veineux. Enfin, le système nerveux distribue l'esprit nerveux, sans doute relié à l'actualisation de la volonté.

Érasistrate tente toujours d'expliquer les fonctions des différents organes par des descriptions mécaniques. Ainsi, l'estomac est-il vu comme un organe qui broie les aliments et les réduit en minuscules particules pouvant être absorbées par le corps. Alors qu'il ne voit pas de lien entre le système artériel et le système veineux, il explique mécaniquement pourquoi, lorsqu'on coupe une artère, du sang s'en échappe. Dès que la coupure est faite, le pneuma s'échappe et le vide ainsi créé est instantanément comblé par le sang des veines voisines. Mû par cet esprit mécaniste, il rejeta la théorie des humeurs d'Hippocrate.

1.3.3 Galien de Pergame (130, 200)

Médecin de l'école des gladiateurs de Pergame, puis à la cour de l'empereur Marc Aurèle à Rome, Galien est, parmi les médecins de l'Antiquité, celui dont l'influence fut la plus durable. L'on se référera encore à lui bien après la Renaissance. Contrairement à Érasistrate, Galien ne put faire de dissections humaines. À son époque, on prohibait la dissection humaine. Galien dut de la sorte se contenter de disséquer des animaux et d'en appliquer les conclusions aux hommes. Il fut particulièrement connu pour sa théorie de la circulation des humeurs qui réhabilita celle d'Hippocrate, mais en intégrant le système d'Érasistrate. À la manière aristotélicienne, Galien construit un système explicatif qu'accepteront plusieurs médecins arabes et, suivant leur exemple, européens.

1.3.3.a La "circulation" du sang

Comme Érasistrate, Galien attribue au sang et au pneuma une importance centrale dans le fonctionnement du corps. Le sang est formé dans le foie à partir du chyle et du pneuma (les gaz) qui se trouvent dans l'intestin grêle. Il est transporté dans tout le corps par les veines. Entre autres, il est amené au ventricule droit du coeur. Là, par de minuscules pores dans la paroi entre les deux ventricules du coeur, le sang se charge d'un peu de pneuma qui provient du système artériel. De façon similaire, le sang peut aussi se charger de pneuma lorsque les deux systèmes se touchent. Le système artériel contient aussi du sang et du pneuma, mais avec une prédominance marquée du pneuma. Le sang entre dans le système artériel par les mêmes pores que celles qui permettent au pneuma de passer dans le système veineux. Le ventricule gauche du coeur et l'ensemble du système artériel sont la source de la chaleur du corps.

Les deux types de sang peuvent nourrir les organes. Le pneuma étant très léger, plus il est présent dans le sang, plus celui-ci est léger. On peut le constater lorsqu'on coupe une veine.

Le sang, mis soudainement au contact de l'air du pneuma, rougit et devient plus léger. Dans le corps, les organes seront nourris principalement, suivant leur nature, par l'un ou l'autre sang. Le foie utilise surtout le sang épais des veines alors que les poumons se nourrissent surtout du sang léger des artères. Le sang des artères nourrit aussi le cerveau qui, à son tour, forme le pneuma psychique. Celui-ci est distribué dans tout le corps par le système nerveux.

On ne peut vraiment parler de circulation du sang dans le système de Galien. Le sang se déplace dans le corps mais il n'est pas question de circulation c'est-à-dire de système circulatoire à mouvement «circulaire». Il faudra attendre Harvey au début du XVII^e siècle pour que l'idée de vaisseaux capillaires entre les deux systèmes soit développée et que le coeur soit perçu principalement comme une pompe.

1.4 LES MATHÉMATIQUES

1.4.1 Domination de la géométrie

Nous avons mentionné comment la géométrie s'est imposée comme unique langage des mathématiques grecques. Sous l'influence d'Aristote, la géométrie prendra une forme essentiellement déductive. Les propositions seront prouvées par des raisonnements logiques reposant sur d'autres propositions prouvées antérieurement qui, elles, ont été prouvées à partir d'axiomes et de postulats clairement énoncés.

1.4.2 L'école d'Alexandrie: Euclide (-325, ?), Archimède (-287, -212), Apollonius (-261, -190)

Les grandes oeuvres mathématiques grecques qui nous sont parvenues datent de la période hellénistique. Euclide a repris l'ensemble des connaissances géométriques de la Grèce hellénique et lui a donné une structure déductive très serrée. Les *Éléments* d'Euclide restent même aujourd'hui un modèle de structure déductive. Il faudra attendre la deuxième moitié du XIX^e siècle pour que des modèles logiquement supérieurs soient construits

La géométrie d'Euclide repose sur des axiomes obligeant tout objet géométrique à pouvoir être construit au moyen de la règle et du compas. Il y a là une claire influence platonicienne. D'ailleurs, le dernier livre des *Éléments* d'Euclide porte sur l'étude des cinq polyèdres platoniciens. Les limitations de la géométrie de la règle et du compas étaient bien connues des géomètres de l'époque platonicienne. Toutefois, il ne faut pas se surprendre de leur réticence à s'aventurer sur ces nouvelles terres. Ce seront des mathématiciens non philosophes qui exploreront cette nouvelle contrée. Apollonius et Archimède étudieront avec une intelligence remarquable les coniques (paraboles, ellipses et hyperbole) et d'autres courbes ne pouvant être construites uniquement à l'aide de la règle et du compas.

Archimède est aussi un ingénieur. Il s'éloignera parfois des canons platoniciens et aristotéliens. Il mélangera par exemple avec succès physique et mathématique. Après

avoir résolu le problème de la couronne du roi (eurêka!), il construira des machines de guerre très efficaces qui permettront au roi de Syracuse de résister longtemps aux armées du général romain Marcellus qui assiègent la ville.

Peu à peu, les mathématiciens d'Alexandrie reviendront à l'étude des nombres pour eux-mêmes et pour leur utilité en ingénierie. Ainsi, vers 300 après J.C., Diophante d'Alexandrie écrit une oeuvre remarquable qu'il intitule *Les livres arithmétiques*. Plusieurs considèrent aujourd'hui ce traité comme le premier traité d'algèbre. La géométrie en est absente, mais un symbolisme primitif y est exploité. La règle des signes (+ par - donne -, et - par - donne +) y est déjà énoncée.

1.5 LA TÊTE SE SÉPARE DU CORPS : L'ASTRONOMIE DE PTOLÉMÉE (vers 150 ap. J.C.)¹²

1.5.1 Les problèmes reliés aux mouvements des astres.

Ptolémée est le plus important astronome d'avant la Renaissance. Son livre, *Almageste*¹³, aura une influence majeure aussi bien chez les Arabes que chez les Européens, y compris Copernic.

Afin de mieux saisir l'importance des travaux non seulement de Ptolémée mais aussi des astronomes de la Renaissance, comme Copernic et Kepler, arrêtons-nous brièvement sur les problèmes que tout astronome doit aborder.

Les astronomes cherchent à créer des modèles. Ces modèles doivent permettre de retrouver les phénomènes astronomiques déjà observés. Un modèle est d'autant plus intéressant qu'il permet d'aller au-delà de ces observations en fournissant des outils de prédictions efficaces. Nous avons déjà présenté plusieurs modèles cosmologiques. Ils permettaient de donner un aperçu de certains phénomènes astronomiques. Toutefois, au niveau des prédictions, leur bilan est plutôt mince. Ils sont essentiellement qualitatifs et non quantitatifs. Pour saisir la richesse d'un système astronomique, il nous faut être un peu plus précis sur les phénomènes à expliquer ou à prédire.

1.5.1.a Mouvements apparents du Soleil, des planètes et des étoiles.¹⁴

i- Mouvements du Soleil

¹² Cette section est inspirée de Kuhn, T.S., *The Copernican Revolution*, Harvard Univ. Pr., 1957. Pour les figures, vous référer aux photocopies à part.

¹³ Le véritable titre est *Grande Synthaxe mathématique*. Le titre *Almageste* vient de ce qu'en grec le mot grand est *Megale* (Penser à mégalomane). Or on disait aussi *Megiste*. Pour parler du livre, souvent on le nommait simplement par ce premier mot: le Megiste, ou, en arabe al Megiste.

¹⁴ Pour cette section, voir les figures données au cours.

- a) Le Soleil traverse le ciel en 1/2 jour environ. L'hiver, il est visible moins longtemps que l'été.
- b) Il ne traverse pas toujours le ciel de la même façon. L'hiver, il monte moins haut au-dessus de l'horizon que l'été. Ainsi, l'ombre d'un gnomon à midi n'est pas la même tout au long de l'année (fig. 2).
- c) Cette variation de l'ombre diffère aussi selon la latitude où l'on se trouve.

ii- **Mouvements des étoiles et du Soleil**

- a) Les étoiles se déplacent en bloc et reviennent à la même place toutes les 24 heures environ.
- b) Leurs mouvements sont particuliers, selon qu'on regarde vers le nord, le sud, l'est ou l'ouest (fig. 6 et 7).
- c) Au crépuscule et à l'aurore, on peut voir en même temps le Soleil et les étoiles les plus brillantes de la voûte étoilée. On peut alors situer le Soleil par rapport aux autres étoiles. Au cours de l'année, le Soleil n'est pas toujours à la même place sur ce fond. Il se déplace lentement vers l'est à travers les constellations du zodiaque (fig. 9).

iii- **Mouvements apparents des planètes.**

Sept étoiles mobiles : les planètes

En examinant quotidiennement la voûte étoilée, on remarque 7 "étoiles" qui changent progressivement de position par rapport aux autres étoiles fixes. Ces "étoiles" sont le Soleil, la Lune, Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne.

Les orbites des planètes sont toutes approximativement dans le même plan

Les planètes ne s'éloignent jamais de plus de 8° de l'écliptique (zodiaque).

Les temps de translation varient, mais ils sont en moyenne constants

Chaque planète parcourt le zodiaque en entier en un temps qui lui est propre. L'intervalle de temps mis par une planète pour revenir à une position donnée varie d'une fois à l'autre de façon presque imprévisible. Par ailleurs, la moyenne de ces intervalles de temps (temps de translation) est constante (Exemple : En moyenne, la lune revient à un même point du zodiaque tous les 29 1/3 jours, mais le temps entre chaque retour peut varier jusqu'à 7h. de cette moyenne en plus ou moins).

Les planètes inférieures: Mercure et Vénus

Mercure et Vénus ne s'éloignent jamais beaucoup du Soleil.

Le mouvement de rétrogradation des planètes

Les mouvements apparents des planètes, sauf ceux du Soleil et de la Lune, sont entachés d'une autre irrégularité, la rétrogradation (fig. 15).

- a) Les rétrogradations se font à des intervalles à peu près réguliers, mais pas toujours aux mêmes endroits dans le ciel.
 - b) Pour les planètes Mars, Jupiter et Saturne, elles se font lorsque
 - i) la planète est en opposition avec le Soleil (donc la planète, la Terre et le Soleil sont alignés, dans cet ordre),
 - ii) l'intensité lumineuse de la planète est alors à son maximum. Donc on peut croire qu'elle est plus près de la Terre qu'à d'autres moments.
- iv- Le modèle des 2 sphères. (figure 11 et les sphères armillaires vues en classe)
- 1- Les étoiles sont placées sur la sphère extérieure. Celle-ci fait un tour complet en 24 heures environ.
 - 2- Le Soleil se déplace entre la sphère des étoiles et la Terre (elle-même une petite sphère au centre de la sphère des étoiles). Vu de la Terre, le Soleil est perçu comme étant sur la sphère des étoiles.
 - 3- L'image du Soleil sur le fond étoilé décrit en un an un grand cercle. Ce cercle est l'écliptique. Il fait un angle de $23 \frac{1}{2}^{\circ}$ avec l'équateur de la sphère des étoiles.

Ce modèle permet de prévoir les mouvements apparents du Soleil sur la sphère des étoiles : l'heure de son lever, sa course pour quelque jour que ce soit, sous quelque latitude que ce soit. (Fig. 11 et 14, la démonstration faite en classe)

Pour les mouvements des planètes, le modèle ne permet de faire aucune prédiction. Rappelons que la cosmologie aristotélicienne (fig. 16) tente de retrouver approximativement ces mouvements par le frottement entre les sphères. Mais il ne réussit guère à reproduire la diversité des mouvements planétaires.

1.5.2 Les solutions proposées par Ptolémée

1.5.2.a Le modèle ptoléméen

i- Description du modèle

Le modèle de Ptolémée ne concerne véritablement que les planètes et le Soleil. En ce qui a trait aux étoiles, il s'en tient au modèle des deux sphères. Pour décrire le mouvement des planètes, il a recours à la combinaison à deux mouvements circulaires. Chaque planète est située sur un petit cercle, appelé épicycle, dont le centre est lui-même placé sur autre cercle, appelé déférent, centré près du centre de l'univers. Idéalement, les deux cercles ont chacun une vitesse angulaire constante. Selon les rapports des vitesses angulaires des deux cercles et selon les rapports des rayons des cercles, la planète décrira une trajectoire particulière.

Dans la figure 19b, l'épicycle tourne à une vitesse angulaire trois fois plus grande que la vitesse angulaire du déférent.

Ptolémée est assez clair sur les objectifs qu'il s'est donnés:¹⁵

Nous croyons que le but que l'astronome doit s'efforcer d'atteindre est le suivant : démontrer que tous les phénomènes du ciel sont produits par des mouvements circulaires et uniformes. (...) Nous étant fixé la tâche de prouver que les irrégularités apparentes des cinq planètes, du Soleil et de la Lune peuvent être toutes représentées au moyen de mouvements circulaires uniformes, parce que seuls ces mouvements sont appropriés à leur nature divine... nous sommes en droit de regarder l'accomplissement de cette tâche comme le but ultime de la science mathématique basée sur la philosophie.

L'on voit donc que Ptolémée fait sienne la dichotomie entre le monde terrestre et le monde céleste. L'influence platonicienne et aristotélicienne est claire. Aristote lui donne la structure globale du monde. Platon lui donne la justification de traiter purement idéalement les planètes. Il n'y a pas de physique impliquée ici. Les êtres célestes font partie du monde des idées. Nous pouvons les connaître par la géométrie. Mais leur nature nous est inaccessible.

ii- Explications des mouvements apparents des planètes ?

Les orbites des planètes sont toutes approximativement dans le même plan

Le système ne reproduit pas ce phénomène de lui-même. Cependant, on peut disposer les plans des orbites de sorte qu'ils forment avec le plan de l'écliptique un angle d'au plus 8° . Mais il s'agit là d'une décision de celui qui détermine les paramètres du système. Ce choix vise à faire en sorte que les prédictions du système correspondent aux observations. Cette correspondance est tributaire du degré de précision que s'impose celui qui fixe ces paramètres.

Les temps de translation varient, mais sont en moyenne constants

Voir les figures 20 - b) et c). Le système reproduit de lui-même une variation des temps de translation. La moyenne des temps de translation est le temps pris par le déférent pour faire un tour complet autour de la Terre. Il y a des paramètres à fixer pour chacune des planètes: rayons du déférent et de l'épicycle, rapport des vitesses angulaires, position du centre de l'univers.

Les planètes inférieures: Mercure et Vénus

Voir la figure 21. Le système ne reproduit pas ce phénomène de lui-même. Il faut lui imposer que le centre de l'épicycle d'une planète inférieure, le centre de la Terre et celui du Soleil soient à tout moment colinéaires.

Le mouvement de rétrogradation des planètes

¹⁵ *Almageste*, Livres II et III. Cité par Koestler, 1960, p. 79.

a) Intervalle entre les rétrogradations

Voir les figures 19 b) et 20 a). Le système reproduit par lui-même le phénomène de rétrogradation. Toutefois, selon le système, le temps entre les rétrogradations est toujours le même. Le temps et la position entre deux rétrogradations sont déterminés par le rapport des vitesses de rotation de l'épicycle et du déférent. L'étalement de la rétrogradation est fonction du rapport des rayons du déférent et de l'épicycle.

b) Particularités pour les planètes Mars, Jupiter et Saturne:

- i) Pour qu'au moment de la rétrogradation la planète soit nécessairement en opposition avec le Soleil, il faut imposer des contraintes aux paramètres de la planète.
- ii) En choisissant adéquatement le sens de rotation de l'épicycle par rapport au sens de rotation du déférent, les boucles de l'orbite se font vers le centre du déférent, en l'occurrence la Terre. Alors, l'intensité lumineuse de la planète devrait sembler plus intense vue de la Terre. Dans la figure 19, si l'épicycle tournait dans l'autre sens, les boucles se feraient vers l'extérieur.

iii- Mouvements non décrits par le système ptoléméen

a) Comme nous l'avons dit ci-dessus, selon le système, les intervalles de temps entre les rétrogradations devraient être égaux. Ce n'est pas le cas en réalité.

b) En réalité, les planètes inférieures n'atteignent pas toujours la déviation maximale prévue par le système. (Voir la figure 21 a).

c) Le temps pris par le Soleil pour aller d'un équinoxe à l'autre (équinoxe: moment où le Soleil est à l'un des points communs à l'équateur céleste et à l'écliptique. Il y a deux équinoxes: l'équinoxe du printemps, l'équinoxe d'automne). La vitesse angulaire du Soleil est légèrement plus rapide en automne et en hiver qu'au printemps et en été. Autrement dit, le temps pris par le Soleil pour aller de l'équinoxe d'automne à l'équinoxe du printemps est moins long que celui pris pour aller de l'équinoxe du printemps à l'équinoxe d'automne. Or, puisque le Soleil n'a pas de rétrogradation, il ne devrait pas avoir besoin d'un épicycle. Dans ce cas les temps entre les équinoxes devraient être rigoureusement égaux.

iv- Mécanismes correctifs

Des mécanismes correctifs ont dû être développés pour tenir compte de ces mouvements. Ils introduisent toutefois des incongruités dans le système. Par exemple, pour l'inégalité des temps entre les équinoxes, Ptolémée ajoute au Soleil un épicycle mineur dont le rayon est très petit par rapport au rayon du déférent. La figure 22 b montre qu'en égalant la vitesse angulaire de l'épicycle à celle du déférent, mais dans le sens opposé, le Soleil met plus de temps à aller de l'équinoxe d'automne à l'équinoxe du printemps que pour compléter son

périple de l'équinoxe du printemps à l'équinoxe d'automne. De fait, l'orbite du Soleil est alors un cercle dont le centre est déplacé du côté de l'été.

La figure 24 illustre un autre mécanisme correctif. Il s'agit de déplacer légèrement le centre du déférent de sorte qu'il ne soit pas confondu avec le centre de la Terre, centre de l'univers. Le centre du déférent peut tourner si nécessaire autour de la Terre. (Voir l'illustration de l'orbite ovale de Mercure qui accompagne les figures des cosmologies égyptienne et grecques.) Ainsi, dans le modèle de Ptolémée, chaque planète tourne autour d'un centre qui lui est propre et qui est toujours différent du centre de la Terre qui se confond avec le centre de l'univers.

1.5.3 Pourquoi, après Ptolémée, l'astronomie se fige-t-elle pour 1400 ans?

Le système de Ptolémée donne une bonne description qualitative du mouvement des planètes. Cependant, un système parfois complexe d'épicycles (4 ou 5 épicycles) est associé à chaque planète. Certaines irrégularités ne sont pas expliquées et d'autres nécessitent des artifices. L'adéquation entre les tables d'observations et les calculs théoriques laisse à désirer. On ne peut calculer la distance des planètes à la Terre. Conceptuellement, ce système n'est pas très économique.

Au fond, Ptolémée n'a pas rempli le mandat qu'il s'était donné. Le seul fait de devoir décentrer les déférents (voir figure 8) constitue une entorse au plan originel. Il est donc naturel de penser que les astronomes auraient dû continuer à travailler. Pourtant, ce ne fut pas le cas. Pourquoi ?

L'arrêt de l'activité créatrice des astronomes est d'autant plus surprenant que les Grecs avaient des connaissances précises et remarquables. Ainsi, Érastosthène (-276, -196) avait mesuré la circonférence de la Terre (probablement entre 37 000 et 40 000 km alors que la valeur actuelle est 40 120 km). D'autre part, Hipparque (-190, -120) avait mesuré la distance de la Terre à la Lune (30 1/4 diamètres terrestres, ce qui est à peu près juste). Les Grecs savaient que le Soleil n'était pas une planète comme les autres. Ainsi, les planètes inférieures ne s'en éloignent jamais. Les systèmes d'Héraclide et d'Aristarque ont pris en considération ce dernier phénomène et lui ont trouvé une explication simple. Pourquoi les astronomes n'ont-ils pas repris ces modèles?

Une première réponse vient de ce que Ptolémée fut probablement le dernier grand astronome de la fin de l'Antiquité. À partir du deuxième siècle, le nombre de grands géomètres est très réduit. Or il fallait être très versé en géométrie pour pouvoir construire adéquatement un modèle géométrique qui soit relativement conforme aux observations. Mais il y a plus. On peut voir aussi, dans cette stabilisation de l'astronomie, les conséquences des influences aristotéliennes et platoniciennes qui domineront le monde intellectuel jusqu'à la Renaissance. En attribuant aux astres une nature idéale, Ptolémée, fidèle à ses maîtres, sépare complètement notre monde du monde céleste. La tête (les idées) est séparée du corps (l'expérience). L'astronomie n'est plus tributaire de la physique. Pour l'étude des corps célestes, les expériences et les observations perdent leur importance, même pour un aristotélien. Les modèles à saveur physique, comme le modèle des sphères d'Aristote, resteront primitifs. Le modèle sophistiqué de Ptolémée restera purement

géométrique et idéal. La Terre imparfaite ne saurait se déplacer parmi les corps célestes parfaits. Sa position au centre de l'univers devient ainsi une véritable prison intellectuelle.

1.6 CONCLUSION

1.6.1 La rationalité

Le miracle grec est avant tout le miracle de la rationalité. La nécessité et la capacité d'expliquer en des termes purement humains les phénomènes naturels marquent la pensée des premières grandes écoles. Les systèmes évolueront vers une forme de plus en plus déductive où les lois de la logique joueront un rôle régulateur.

1.6.2 L'observation : le rapport au réel

La dynamique entre la pensée inductive et la pensée déductive sera court-circuitée par Platon. La dictature du monde des idées provoque une dévalorisation de l'expérience et de l'observation comme outils de connaissance. Platon renforce la dichotomie entre la géométrie et l'arithmétique, entraînant une dévalorisation de la mesure. La pensée mathématique grecque devient pour longtemps purement géométrique, sans intrusion du numérique. Un exemple d'influence de la pensée platonicienne est le système astronomique de Ptolémée. Certes Ptolémée doit sauver les apparences. Il se voit contraint d'assurer une certaine adéquation entre le modèle idéal et les observations. Mais le modèle reste idéal, géométrique. Il n'est aucunement physique.

Aristote, disciple de Platon en ce qui a trait à sa cosmologie, s'éloigne des méthodes de son maître lorsqu'il s'agit de connaître notre monde terrestre. L'expérience et surtout l'observation prennent chez lui et ses disciples une grande importance. Toutefois la gestion des observations laisse à désirer. Le maître et les disciples se contenteront souvent de fort peu d'observations avant d'induire des lois générales qui serviront de base à leur système explicatif.

L'influence de Platon l'idéaliste et celle d'Aristote l'observateur vont par la suite continuer à se combiner et à s'opposer. Jusqu'à la fin de la Révolution scientifique, nous assisterons à une oscillation entre ces deux influences. L'oscillation se résoudra par le développement d'une nouvelle approche, la tradition mécanique, dont Galilée et Descartes sont les premiers maîtres.

1.6.3 Les systèmes

Les systèmes globaux construits par les penseurs grecs ne cesseront d'impressionner. Ils ont l'ambition d'expliquer l'ensemble des phénomènes de l'univers. Leur structure déductive les rend particulièrement vivifiants pour l'esprit. À les fréquenter, on a le sentiment de toucher une certaine vérité, ou du moins de s'en approcher.

Le miracle grec

40

Le système d'Aristote est sans doute le plus riche. Il a toutefois un tendon d'Achille. La vision organique qui le sous-tend implique l'existence d'un réseau de liens entre toutes les parties du système. Dès lors, lorsque les bases expérimentales du système et ses prédictions seront prises en défaut, tout le système s'écroulera. Le système est un géant aux petits pieds. Il impressionne, mais le faire trébucher n'est pas trop difficile... si on sait où l'attaquer