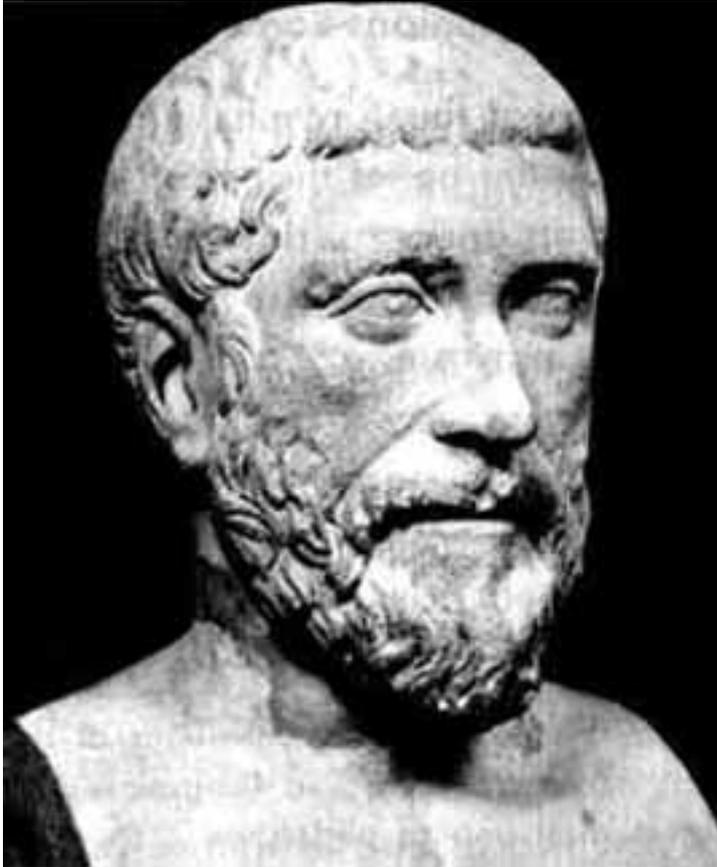


## 2em cours

### Pythagore



**Pythagore de Samos (569 à 500)**

- Samos est un île sur la côte turque, pas loin de Millet.
- Pythagore est probablement élève de Thalès et d'Anaximandre. Il voyage en Égypte, est captif à Babylone, retourne à Samos puis, après des longs voyages, se fixe finalement à Croton (Italie du Sud), où il fonde une école. L'on y étudiait philosophie, mathématiques, sciences naturelles et l'on pratiquait des rites tenus secrets.
- On lui attribue (bien évidemment) le théorème de Pythagore (Euclide, Livre I proposition 47).
- Peut-être c'est lui qui a suggéré le premier que la terre est une sphère.
- Pour les Pythagoriciens, le monde est organisé autour d'un feu central autour duquel tournent 10 sphères de cristal, séparées par des intervalles harmonieux : Anti-Terre, Terre, 7 planètes, étoiles fixes. Les astres renvoient la lumière du feu central.

Le grand mérite de Pythagore est avoir compris l'importance des mathématiques, ou bien, dans son langage, « des nombres ».

Pythagore part d'une observation cruciale. En musique, il y a un ordre simple des intervalles : il y a des relations simples entre les longueurs des cordes qui sonnent de façon harmonique :

Octave (Do/Do):  $1/2$

Dominante (Do/Sol):  $2/3$

Terza: (Do/Mi):  $3/5$

Quarta: (Do/Fa):  $4/5$

**Exercice** : Cherchez une guitare, sonnez un La (deuxième corde libre) et un Mi (deuxième corde, 7ème position). Mesurer la longueur de la corde libre (le La) et la longueur de la corde qui sonne le Mi. Quelles sont les deux longueurs que vous trouvez ? Que trouvez vous ?

C'est sur ses rapports entre nombres simples qu'est fondée la musique!

*Donc, derrière la musique, il y a les **nombres** !*

C'est une très belle observation. Le génie de Pythagore est de l'avoir généralisé d'une façon étonnante:

- Idée centrale de Pythagore : il y a un ordre caché derrière toutes les choses, et cet ordre est un ordre numérique.

En forme de slogan :

Tout est "nombre".

« L'essence des choses est le nombre », écrit Pythagore. Le monde a un ordre, qu'on peut mesurer, énumérer.

Cette découverte a une influence énorme sur la naissance de la Science. Et aussi sur toute l'histoire de l'humanité. On peut même dire que la science est née au moment où Pythagore fait cette observation fondamentale et fait une hypothèse importante : comme on a compris les lois de base de l'harmonie musicale en termes de nombres, alors on doit pouvoir comprendre les lois de tout, en termes de nombres. C'est à dire, les mathématiques : *Il doit y avoir des lois mathématiques derrière tout.*

C'est peut être la plus étrange, surprenante, improbable et utile des intuition que l'humanité à jamais eu. Et c'est Pythagore qui l'a eu.

On ne peut pas encore dire qu'une vraie science a commencé. (Des vraies mathématiques, oui, elles sont déjà là). Mais Pythagore a lancé l'idée.

Son école n'était pas du tout scientifique. C'était plutôt une religion, ou bien une secte (une secte est une religion petite; une religion est une secte grande.) De ce point de vue, Pythagore est plus archaïque qu'Anaximandre. L'une des nouveautés majeures de la pensée de Anaximandre, la capacité d'accepter la pensée de son maître et en même temps de la critiquer, n'est pas acquis par l'école pythagorique.

En effet, on y vénérât le maître, et on pratiquait tout sorte d'étranges rituels. Les idées de Pythagore étaient vénérées. Si Pythagore l'a dit, c'était vrai. L'expression (latine) pour indiquer cette révérence est *Ipse dixit* (« il l'a dit »). Cette expression était attribuée au Pythagoriciens.

La secte de Pythagore est devenue une secte très puissante, qui a dominé la vie politique des colonies grecques de l'Italie du sud pour longtemps. Elle a été détruite par des guerres, mais le savoir des Pythagoriciens, s'est répandu dans le monde grec, et a eu une forte influence sur Platon, et sur toute la civilisation occidentale.

Dans l'école, on étudiait les propriétés des nombres.

Voilà un exemple, pour vous donner la saveur de cette mathématique:

Pythagore divise les nombres en classes : *pair* et *impair* est la division la plus importante. Une autre classe importante : nombres "triangulaires", "carrés", ...

Des représentations utilisées pour les nombres sont les suivantes.

"Pair":

● ● = 2

● ●  
● ● = 4

● ●  
● ●  
● ● = 6

● ●  
● ●  
● ●  
● ● = 8

"Impair":

● = 1

●  
● ● = 3

●  
● ●  
● ● = 5

●  
● ●  
● ●  
● ● = 7

"Impairs":

$$\bullet = 1$$

$$\begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \bullet \end{array} = 3$$

$$\begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \bullet \bullet \end{array} = 5$$

$$\begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \\ \bullet \bullet \bullet \bullet \end{array} = 7$$

"Triangulaires":

$$\bullet = 1$$

$$\begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \bullet \end{array} = 3$$

$$\begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \bullet \\ \bullet \bullet \bullet \end{array} = 6$$

$$\begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \bullet \\ \bullet \bullet \bullet \\ \bullet \bullet \bullet \bullet \end{array} = 10$$

"Carrés":

$$\bullet = 1$$

$$\begin{array}{c} \bullet \bullet \\ \bullet \bullet \end{array} = 4$$

$$\begin{array}{c} \bullet \bullet \bullet \\ \bullet \bullet \bullet \\ \bullet \bullet \bullet \end{array} = 9$$

$$\begin{array}{c} \bullet \bullet \bullet \bullet \\ \bullet \bullet \bullet \bullet \\ \bullet \bullet \bullet \bullet \end{array}$$

$$\bullet \bullet \bullet \bullet = 16$$

Pythagore obtient des résultats comme:

« Les différences des carrés sont les impairs:»

Voilà la démonstration graphique :

$$\bullet = 1$$

$$\circ \circ$$

$$\bullet \circ = 4 = 1 + 3$$

$$\circ \circ \circ$$

$$\bullet \bullet \circ$$

$$\bullet \bullet \circ = 9 = 4 + 5$$

$$\circ \circ \circ \circ$$

$$\bullet \bullet \bullet \circ$$

$$\bullet \bullet \bullet \circ$$

$$\bullet \bullet \bullet \circ = 16 = 9 + 7$$

Compris ?

Vous pensez que cela est trop simple? Vous allez voir comment cette propriété des nombres va jouer un rôle important beaucoup plus tard. Gardez-là bien à l'esprit.

## Platon



**Platon, Athènes (427-347)**

Disciple de Socrate, voyage en Orient, en Italie et en Egypte. De retour à Athènes vers 377, il fonde son école, dans les jardins d'*Academos* (d'où vient l'expression moderne « académie ») où il enseigne pendant 40 ans.

C'est considérer l'un des plus grands philosophes de tous les temps. De lui, il nous reste un large nombre de ses livres (43), la plupart écrit sous la forme de dialogues.

Il n'apporte rien directement aux mathématiques, et peu directement à la science. Mais dans ses écrits, il donne une grande importance aux mathématiques (121 passages dans ses textes font référence aux mathématiques).

Un autre élément d'importance pour la science est le suivant. Dans un livre de Platon (*Le Phédon*) nous avons la première énonciation arrivée jusqu'à nous, qui dit clairement que la terre est une sphère. Voilà le texte, écrit sous la forme d'un dialogue :

*« Néanmoins rien ne m'empêche de dire quelle idée on m'a donné de la forme et des différents lieux de la terre.*

*— Eh bien, dit Simmias, je n'en demande pas davantage.*

*— Eh bien donc, reprit-il, je suis persuadé pour ma part que tout d'abord, si la terre est de forme sphérique et placée au milieu du ciel, elle n'a besoin, pour ne pas tomber, ni d'air ni d'aucune autre pression du même genre, mais que l'homogénéité parfaite du ciel seul et l'équilibre de la terre seule suffisent à la maintenir ; car une chose en équilibre, placée au milieu d'un élément homogène, ne pourra ni peu ni prou pencher d'aucun côté et dans cette situation elle restera fixe. Voilà, ajouta-t-il, le premier point dont je suis convaincu. »*

(Après ça, Platon dit plein de bêtises : que l'air est comme un lac, et il y a d'autres êtres qui sont dehors le lac...)

Mais l'importance de Platon pour la science va bien au de là de ça. Une de ses idées centrales en effet est que :

La connaissance on la trouve avec un long processus de **discussion** et de **dialogue**. Donc la connaissance est **cachée, mais trouvable**. La façon d'y arriver est par le discours rationnel. Le dialogue, la discussion.

Il y a un passage très beaux dans un lettre de Platon (septième lettre), qu'on peut lire même aujourd'hui comme le programme de toute la recherche scientifique à venir, le code méthodologique fondamental de la science :

*« Après un grand effort, après avoir amené en contact et fait frictionner les unes avec les autres des noms, des définitions, des observations, et autres données obtenues avec les sens, dans la course d'un scrutin, et d'une analyse fait avec gentillesse par des hommes qui procèdent par des questions et des réponses, sincèrement, sans fin caché, ... après tout ça, voila qu'avec une lumière improvisée, la compréhension brille! Et cela à propos de n'importe quel problème. Et on a arrive à une intelligence qui rejoint les limites ultimes des pouvoirs de l'homme. »*

C'est comme un document programmatique de la science à venir: il y a presque tous les éléments essentiels de la recherche scientifique :

- La vérité n'est pas évidente,
- mais on peut la trouver ;
- les bases de la connaissance sont les *observations* et les données sensibles,
- mais aussi la *réflexion rationnelle*: définitions, noms...
- la façon de procéder, pour arriver à la connaissance est par la *discussion*,
- entre hommes qui cherche *sincèrement*, et pas avec des fins cachés.
- si on suit cette direction, la connaissance arrive (*fois dans l'efficacité de la raison humaine*)
- quand elle arrive, l'impression est de *clarté* et de *compréhension*
- ce parcours nous amène aux limites du *pouvoir* de l'homme.

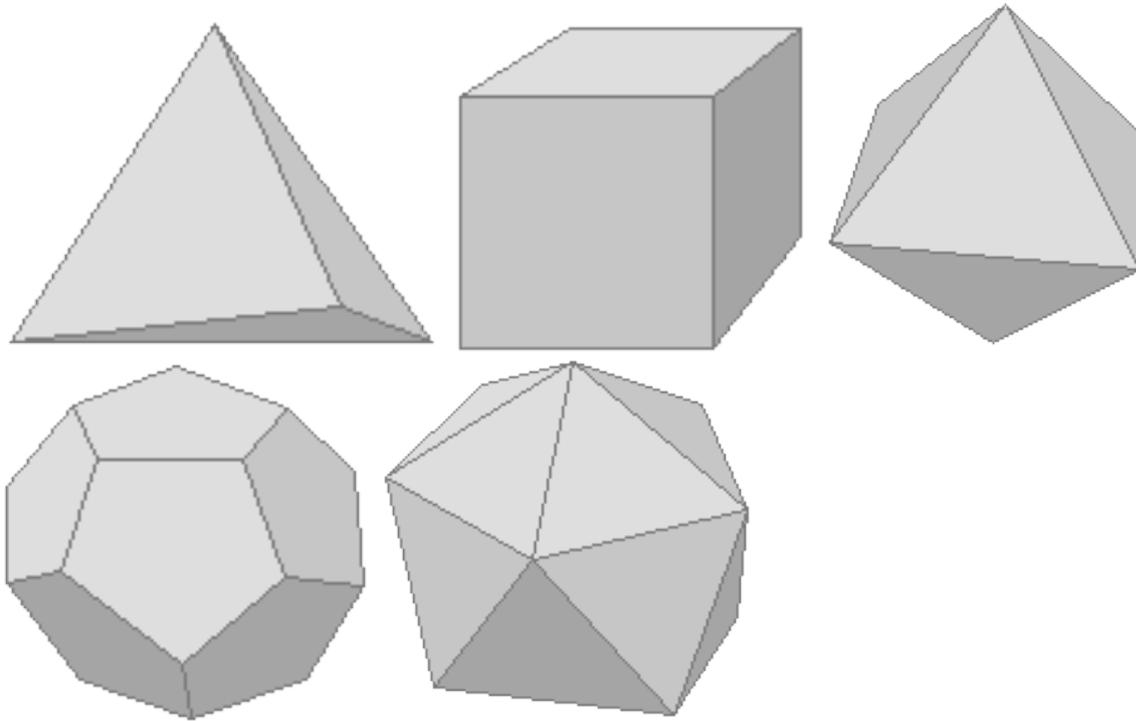
De tout ça on ne voudrait aujourd'hui changer qu'une chose: remplacer "homme" avec "homme et femme".

Une autre idée très important de Platon est que la vérité est mathématique. C'est l'idée Pythagoricienne, comme nous avons vue, *mais Platon la libère de tout mysticisme* de Pythagore. Dans son école, sur la porte d'entrée, il fait écrire; "que personne n'entre si elle ne connaît pas la géométrie". C'est une affirmation très forte: si on ne connaît pas la géométrie, on ne peut rien comprendre, ce n'est pas la peine de chercher d'apprendre la philosophie.

Platon pense qu'il y a un monde différent de notre monde, qui est un monde fait de vérités absolues et éternelles. Ce monde est un monde de mathématiques. De formes parfaites. Notre monde serait une pale reflet du vrai monde. Donc, ce que nous voyons n'est qu'un écran imparfait de quelque chose d'autre. Cet autre monde, on peut y arriver, par la pensée. C'est l'intuition que nos idées usuelles, notre vision du monde quotidien est à abandonner.

Celle-ci est la base de la recherche scientifique. La discussion, rationnelle, unie à l'observation de la nature, est la façon d'y arriver.

Platon cherche aussi de donner une contribution directe à la science des ses temps. C'est sa théorie des solides platoniques. L'*aperion* d'Anaximandre était évolué, via Anaxagore et puis Démocrite, dans la théorie atomique : le monde est fait d'un petit nombre d'*atomes* élémentaires, avec des formes différentes. Platon apprend par les mathématiciens qu'il y a des formes solides très régulières (les « polyèdres réguliers ») comme le *Tétraèdre*, le *Cube*, le *Octaèdre*, le *Dodécaèdre*, et l'*Icosaèdre* :



et qu'il y a un théorème de Math qui dit que ces 5 solides sont les seuls solides réguliers possibles. Platon a donc une très belle idée : les types d'atome fondamental sont 5, et ont la forme des polyèdres réguliers !

Théorie très belle. Mais fausse.

- Une théorie très belle, n'est pas nécessairement vraie !

- Pourquoi la théorie de Platon ne marche pas ? Retournons un moment à Anaximandre. Il avait suggéré que les lois naturelles gouvernent comment les choses changent dans le temps.

C'est ça, en effet qui va marcher. Les mathématiques ne sont pas si utiles pour décrire l'état des choses à un moment donné. Elles décrivent comment les choses *changent dans le temps* : le *mouvement*.

Finalement, Platon pose un problème formidable aux mathématiciens et aux astronomes qui sont dans son école. Il leur pose la question : « est ce que c'est possible de décrire les mouvements des astres dans le ciel de façon mathématique précise ? Est-ce possible de décrire les étranges mouvements des *Planètes* en terme, par exemple, de cercles simples ? Nous allons voir que c'est la bonne question.

Encore un fois, Platon ne trouve pas des bonnes réponses, mais il pose des très bonnes questions, et indique des très bonnes règles pour arriver à la connaissance.

## Aristote



**Aristote de Stagire (384 – 322)**

Né à Stagire près du Mont Athos, élève de Platon, il fonda un école, appelée le « Lycée ». (Donc le nom «lycée» des écoles modernes. Le nom venait du fait qu'il y avait à proximité le temple d'Apollon *Lykeios*. On ne sait pas si *Lykeios* fait référence au loup, animal sacré à Apollon, ou bien à la région Lycie, où selon la tradition, Apollon était né).

Aristote est beaucoup plus "réaliste" que Platon et proche à une interprétation plus naturaliste du monde. Il abandonne l'idée de Platon d'un monde des idées, et son intérêt est la nature, aussi bien que la logique de la pensée humaine. Ce sont les intérêts qui seront depuis les intérêts de l'Occident entier. Ces travaux sont les plus anciens traités inspirés à un esprit constamment scientifique.

Aristote est l'un des plus grands penseurs de l'humanité. Avec lui, la connaissance devient précise. Il donne des définitions précises, éclaircit les problèmes, discute tout, écrit sur tout. Il écrit par exemple un extraordinaire traité de logique, qui est encore aujourd'hui la base de toutes les études de logique.

Il donne des arguments tirés d'observation pour la rotondité de la Terre annoncée par Pythagore, et de laquelle déjà Platon était convaincu.

Il parle souvent dans ses livres des penseurs précédents à lui et dont nous connaissons la pensée de beaucoup d'autres penseurs grâce à lui.

Il écrit un Traité du ciel, sur l'astronomie, et un traité de physique, qu'il appelle "Physique". (Ce n'est pas le titre d'Aristote qui vient du nom de la discipline : c'est le contraire. La Physique s'appelle ainsi à cause du titre du livre d'Aristote.)

Il développe une science du mouvement élaboré, mais non mathématique. Il fait beaucoup d'observations précises et détaillées, par exemple sur les planètes, les animaux, les plantes ...

La *cosmologie* d'Aristote est très importante. L'image du monde qu'il construit va rester pour longtemps l'image occidentale prédominante du monde. Elle est la suivante : D'abord, la terre est sphérique. Aristote a beaucoup d'éléments en faveur de ça. (Attention ! L'idée qu'au Moyen Age les gens pensaient que la terre est plate est une idée fausse. L'idée que Christophe Colomb a eu des difficultés à se faire donner des bateaux pour aller en Chine en voyageant vers l'Est, parce que ses contemporains pensaient que la terre était plate, est aussi complètement fausse. Personne avec un peu de culture au Moyen âge pensait à une terre plate. L'argument contre le projet de Colomb d'arriver en Chine en voyageant vers l'Ouest était que la terre est trop grande pour cela. Colomb pensait que la terre était plus petite. C'est lui qui se trompait en pensant que la Terre était plus petite de ce qu'elle est vraiment.)

Donc, la terre est sphérique, pour Aristote. Il y a des sphères autour de la terre. Les sphères tournent. Et amènent avec eux les astres. L'ordre est le suivant:

Lune, Mercure, Venus, Soleil, Mars, Jupiter, Saturne, Ciel des étoiles fixes.

L'univers est fini. Dehors il n'y a *rien*.

Le mouvement. Il y a deux principes, pour Aristote : la matière et la forme. Tout mouvement est un passage d'une potentialité à un acte, la réalisation de quelque chose qui était déjà dans la chose "en puissance". Il étudie les causes du mouvement et fait la distinction entre différents types de causes. Par exemple entre la cause finale et la cause efficiente. Par exemple, la porte s'ouvre. Cause finale : parce que je veux passer de l'autre côté, donc je l'ai ouverte. La cause de l'ouverture de la porte est mon passage (qui se passe après). La cause efficiente est ma main qui pousse la porte. Aristote dit que c'est plus intéressant d'étudier les causes finales que les causes efficientes. Cela va devenir un obstacle à la science des siècles suivants, qui va repartir seulement quand l'attention se recentre sur les causes efficientes.

Pour Aristote, il y a deux mouvements naturels: vers le haut et le bas, et le mouvement de rotation. Le mouvement de rotation est propre aux astres du ciel. Le mouvement en terre est vers le haut et le bas. Il y a quatre éléments sur la terre: feu, air, eau, terre, qui cherchent toujours d'aller vers leur "lieu naturel": en haut l'air et le feu, en bas la terre et l'eau. Ces éléments retournent vers leur lieu naturel après qu'on les ait déplacées.

Les cieux sont fait d'une autre substance, appelé l'éther. C'est plus parfait que les substances d'ici en bas. Les astres se déplacent d'un mouvement parfait, qu'on peut comprendre de façon mathématique exacte, comme un mouvement de sphères. Aristote lui même ne développe pas cette théorie mathématique, mais il pense qu'elle doit exister. Donc c'est avec Aristote qu'une recherche scientifique précise et structurée se met en place.

La science est une physique qualitative. Très belle et complète. Pour des siècles, elle a été utilisée comme base conceptuelle par les scientifiques.

Aristote donne aussi une grande impulsion à la science pour d'autres raisons:

- il a toujours une approche *rationnelle* à la compréhension du monde
- il donne toujours une grande importance à l'*observation* de la nature pour comprendre le monde.
- il donne grande valeur à la *précision* "scientifique". Il insiste sur l'importance d'un *langage précis*, capacité de ne pas tomber dans les confusion du à un langage imprécis. Cela sera très important pour la science.
- il fait le premier *modèle* géographique précis *cosmologique*. En développant se modèle, la vraie science va naître.
- Mais Aristote va aussi influencer l'histoire de la science dans une autre manière très importante: Aristote est appelé en Macédoine par le roi Philippe, pour être l'éducateur d'un jeune prince: Alexandre de Macédoine. Nous allons voir ce que cela va apporter...

## Alexandre



**Alexandre de Macédoine (356, 323)**

Alexandre de Macédoine, ou Alexandre le Grand, (356, 323) a changé l'histoire du monde. Son passage a aussi joué un rôle de grande importance dans la naissance de la science.

Alexandre a été le protagoniste d'une très grande entreprise; venu d'un petit royaume du nord de la Grèce, il part avec une armée et conquiert tous les grands empires du temps: l'Égypte, la Perse (Babylone). Il arrive dans la terre que aujourd'hui est l'Afghanistan. Il descend jusqu'à l'Inde, dans la vallée du fleuve Indus. Il rentre à Babylone.

Mais Alexandre n'était pas seulement un grand guerrier. Il était un rêveur. Il était rempli d'idées immenses. Il voulait unifier les peuples du monde dans une seule grande civilisation. Il voulait créer une civilisation universelle. Il était élève d'Aristote, et donc profondément influencé par le grand et nouveau savoir rationaliste Grecque.

Alexandre est convaincu par les idées d'Aristote, et il devient porteur de l'idée du *pouvoir de la connaissance*. Le pouvoir de l'approche *rationnel* aux problèmes. Alexandre part pour son immense aventure, non seulement avec des guerriers, mais avec des astronomes, des mathématiciens, des philosophes, des ingénieurs, des historiens, des géographes. Il amène le savoir avec lui. Dans un certain sens, il amène tout l'esprit Grec avec lui, et le diffuse dans le monde. Cet esprit représente une nouveauté frappante par rapport aux siècles de civilisation précédents.

*La nouveauté est l'idée même de changement*: le savoir peut changer et être accru continuellement. Les grandes civilisations étaient statiques. Elle cherchait la stabilité avant tout. Le savoir était un savoir traditionnel, accumulé avec grande lenteur dans les siècles. Avec la préoccupation de ne rien changer. L'esprit grec est une immense révolution par rapport à ça. La vérité n'est ni révélée, ni connue, ni impossible à atteindre. Elle est seulement cachée, pour notre intelligence à découvrir.

La force de cette nouveauté culturelle Grecque était *déjà* en train de se répandre partout dans le monde ancien avant Alexandre. Des savants Grecs, des médecins grecs, des géomètres,

étaient déjà dans toutes les courtes royales des grands empires anciens. Mais avec Alexandre, c'est une explosion.

Le pouvoir militaire d'Alexandre est aussi basé sur l'innovation, et sur l'idée, toute nouvelle, que le monde, la nature, on peut la maîtriser, on peut la changer. La grande force de l'armée d'Alexandre ce sont des machines. Des grandes machines de guerre pour lancer des projectiles, pour attaquer les murs des villes, pour briser les portes des villes. Se sont les mêmes machines que plus tard chez les Romains, et ensuite aux moyenne âge, vont caractériser toute guerre. C'est avec Alexandre que cela commence en grande échelle. Tout est neuf dans la force immense d'Alexandre. Lui même il a vingt ans et peu, quand il part à la conquête du monde.

Il arrive devant l'île de Tyr, près de la côte où il y a l'une des villes fortifiées les plus fortes et les plus imprenables de l'antiquité. Personne n'est jamais arrivé à la conquérir, parce que la ville est entourée et défendue par la mer : elle est sur une île à petite distance de la côte. Les ingénieurs d'Alexandre décident, tout simplement, de changer la ligne de la côte et relier l'île à la terre. Il déplace une immense quantité de terre, et construit une langue de terre qui arrive à la ville. Par cette langue de terre artificielle l'armée d'Alexandre attaque Tyr, et la conquiert. Alexandre lui même, suivant les historien du temps, est le premier à sauter dans la ville. Le monde ancien reste étonné.

Alexandre détruit quatre fois les armées du roi de Perse, Darius. La dernière fois, il a une armée cinq fois plus petite de celle de Darius, et il gagne quand même, grâce à un emploi brillant de son intelligence. Il conquiert Babylone, il arrive en Asie. A partir de rien, ses ingénieurs construisent une flotte avec la quelle son armée de 100.000 hommes descende le fleuve Inde. Il retourne au Moyen orient par la mer, en ouvrant une route commerciale qui restera ouverte pour des siècles et sera la plus grande route commerciale du monde, reliant la Méditerranée à l'Inde.



L'esprit de l'armée d'Alexandre est entièrement nouveau. Pas de patriotisme, pas de "Grécisme", pas de respect pour les hiérarchies. Dans l'ancienne Perse et dans l'ancien Egypte, le roi était un dieu, et même les plus importants dignitaires devaient se prosterner à ses pieds, pour lui parler sans même avoir le droit de le regarder. Alexandre est accessible à tout le monde. N'importe quel dernier soldat de son armée peut parler avec lui, comme à un copain, le soir autour des feux des camps. Le sacre de la hiérarchie est détruit. Les soldats l'aiment. Il a tout changé en profondeur.

D'où vient cette intelligence, cette immense capacité visionnaire d'imaginer un monde nouveau et de commencer à la mettre en acte? De la force de la nouvelle pensée Grecque. De la force d'une pensée qui s'est libérée de la stase, et a compris le pouvoir immense de l'intelligence, la rationalité, le changement, la nouveauté.

Alexandre, élève direct, pupille, du plus grand savant du monde ancien, Aristote, est convaincu que la connaissance ouvre des mondes nouveaux, et qu'elle est pouvoir. Il fonde son pouvoir sur la connaissance. Son respect pour la connaissance, pour le savoir, pour l'intelligence, pour la rationalité est complet. Qu'aurait-il fait s'il n'était pas mort à trente ans?

Nous ne pouvons pas le savoir, bien sûr, mais ce qu'il a fait est immense. Il a lancé le monde dans une direction nouvelle. C'est la direction dans laquelle nous sommes encore. Avant, ce n'était que quelques savants enfermés dans leurs écoles, à suivre la rationalité. Le jeune pupille d'Aristote a littéralement, non dans un sens figuratif, conquis le monde. Après, ce ne sont plus des intellectuels isolés qui cherchent activement le savoir, ce sera toute une civilisation à le faire. La pensée d'Anaximandre, Pythagore, Platon et Aristote va conquérir le monde. L'explosion scientifique qui suit immédiatement à Alexandre est, en effet, immense.

## Le monde Hellénistique

A la mort d'Alexandre, ses généraux grecs et macédoniens se divisent l'empire. Ils fondent des royaumes, dominés par une aristocratie Grecque, qui reste au pouvoir plusieurs siècles, jusqu'à l'expansion de l'empire Romaine. C'est dans ces royaumes, à partir du 3<sup>ème</sup> siècle av. JC, que la science va voir sa première grande floraison.

Les principes de Anaximandre, Pythagore, Platon, et surtout Aristote, vont être mis en pratique de façon systématique par ces monarchies. Les sciences se développent énormément dans cette période.

Il y a plusieurs centres de culture importants. Chaque royaume a ses centres de savoir. Marseille est l'un de ces centres, célèbre pour ses techniques de construction navale et ses instruments de navigation secrets. (Si secrets que nous ne les connaissons pas.)

Le centre le plus important est Alexandrie, en Egypte, fondé, près du delta du Nil, par Alexandre même.



Ici, Ptolémée, ami et général d'Alexandre, devenu roi d'Egypte, établit la capitale d'Egypte. Il fonde une dynastie qui va gouverner l'Egypte pour des siècles. Cléopâtre, que 3 siècles plus tard César rencontrera, c'est l'une de ses descendantes. (Cléopâtre était Grecque, non Egyptienne.)

A Alexandrie, Ptolémée 1<sup>er</sup>, général d'Alexandre et roi d'Egypte, fonde une bibliothèque, qui est aussi un centre de savoir très important. Une loi demande que tout bateau qui passe par

Alexandrie doit donner ses livres à la bibliothèque. Si on n'a pas déjà une copie, le livre est copié. La *copie* est retournée au bateau et l'original reste à la bibliothèque.

Autres centres: Athènes (bien sure), Syracuse, Marseille, Rhodes, Pergame, Babylone...,

Les grands noms de ce période sont Archimède, Euclide, Hipparque, Aristarque, Eratosthène, Hérophile, et beaucoup d'autres.

## La Science Alexandrine

Ces scientifiques sont tellement grands que nous étudions encore leurs textes. Par exemple:

- toute la **géométrie** que vous avez étudié jusque là, est contenue dans le texte de : **Euclide de Alexandrie (315-255)**. Probablement élève de l'Académie d'Athènes, Euclide est invité par le Roi Ptolémée I (vers 300) à Alexandrie. Euclide est auteur d'une dizaine de traités dont « Les Eléments » divisé en 13 livres (géométrie plane, théorie des nombres, géométrie dans l'espace). Nous avons des dizaines de manuscrits en grec. Jusqu'en 1900, « Les Eléments » a été l'ouvrage le plus édité après la Bible. La première édition moderne date de 1482. La géométrie de base a très peu changé aujourd'hui par rapport au texte d'Euclide.

- **Archimède de Syracuse (287-212)**. Il a été élève d'Euclide à Alexandrie. Grand mathématicien, inventeur, physicien. Il développe les bases du calcul intégral, la notion de limite. Il fonde la **mécanique statique**, comprend pourquoi les corps flottent et développe une très précise science du **flottement**, qui permet la construction de nouveaux navires, beaucoup plus grands qu'avant. En particulier, il comprend que la raison pour laquelle les bateaux flottent, n'est pas le fait que le bois est léger. Donc il comprend qu'on peut ajouter du métal aux bateaux, sans pour cela les faire couler. Les bateaux sont alors recouvert de métal, et cela améliore énormément leur résistance à la dégradation due à la mer. Suite à ça, la longueur des bateaux augmente énormément durant cette période : le recouvrement en métal empêche les incrustations qui obligent à sortir le bateau de l'eau toutes les années. Donc on peut avoir des bateaux qui n'ont pas besoin d'être sortis de l'eau, et donc beaucoup plus grands. La longueur des bateaux de cette période n'a été ensuite rejointe qu'à l'époque de Napoléon.

- L'**optique géométrique**, est développée à Alexandrie, pratiquement dans la forme que vous étudiez aujourd'hui. Il y a un traité par Euclide et un autre par Archimède, sur l'optique. Une application intéressante de l'optique est le "phare", ou sémaphore. Pour construire un phare, il faut une lumière forte (quelle était la lumière utilisée à Alexandrie? nous ne le savons pas) et un miroir parabolique qui concentre la lumière à l'infini. La forme parabolique, n'est pas facile à trouver si on ne connaît pas bien la théorie mathématique des coniques (parabole, ellipse...) et l'optique géométrique. C'est la connaissance de l'optique géométrique qui a permis de construire le phare.

- La **médecine** est développée en particulier par **Hérophile**, qui commence l'anatomie. Il étudie les cadavres, donne des noms à toutes les parties du corps. Une grande partie des noms des parties du corps utilisés aujourd'hui en médecine viennent de lui. Il comprend la fonction des nerfs. Il comprend en détail le fonctionnement de la circulation du sang. C'est lui qui a introduit la technique de mesurer la fréquence de la pulsation du cœur, pour évaluer la température. La source de cette connaissance médicale d'Hérophile est l'observation, l'expérience. On apprend en étudiant le monde, et non pas en regardant dans sa propre

pensée. L'importance de "donner de noms" aux détails du corps est énorme. Dans la pensée ancienne, et encore pour Platon et Aristote, on ne peut pas créer des concepts nouveaux. Donc on ne peut pas inventer des noms nouveaux pour des choses juste découvertes. On a vu que le pas immense dans cette direction et celui d'Anaximandre, qui invente une nouvelle entité (*l'apeiron*) et lui donne un nom nouveau. Mais c'est avec la médecine alexandrine, que cela devient une pratique courante. C'est un passage fondamental: les concepts pour comprendre le monde, on ne les a pas : il faut les inventer et les nommer. On les trouve sur la base de l'observation et de la réflexion.

- **Pythéas de Marseille (voyages vers 330)** (Marseille avait été fondée vers 600 par les Grecs.) Il utilise le gnomon pour donner la latitude de Marseille : la plus ancienne attestation de mesure gnomonique pour donner la latitude. Pythéas a composé en grec deux ouvrages dans lesquels il raconte ses voyages. Dans sa *Description de l'Océan*, il relatait son voyage par mer depuis *Gades* (identifié comme étant Cadix), jusqu'à *Thulé* (Iles Shetland ou Islande). Après avoir contourné les Iles Britanniques par l'Ouest, il aurait remonté à nouveau la Manche jusqu'à la baie de Gdansk en mer Baltique. Etienne de Byzance, écrivain du VI siècle, possédait encore ses écrits aujourd'hui disparus : il ne nous reste quelques citations souvent critiques d'auteurs prévenus contre Pythéas et qui lui prêtent leurs propres erreurs. Strabon (*Les vies*, II, p. 117) écrivait vers l'an 44 avant J.C. « il n'avait parcouru les pays dont il parle, vers le couchant, que depuis l'Arménie jusqu'à cette partie de la Toscane qui est en face de la Sardaigne; il s'était imaginé que le froid rendait la terre inhabitable au-dessus du 54e degré de latitude ». Parce que les navigateurs de son temps ne dépassaient point l'Irlande, *l'Hibernie*, il se croyait en droit de traiter de mensonges tout ce Pythéas avait dit sur Thulé, l'Islande, et les mers du Nord.

- **géographie.** L'idée que la terre est une sphère est maintenant acceptée par tout le monde.

Mais c'est *l'astronomie* qui se développe le plus. Et de celle ci nous allons parler dans le prochain cours.

## Résumé 2

- Pythagore a la grande intuition que la clé pour comprendre le monde est "le nombre", c'est à dire les mathématiques : derrière les phénomènes étranges et divers, il y a un ordre mathématique caché. Il suggère que la Terre est ronde (facile après Anaximandre).
  
- Platon pense que la vérité est cachée et il faut la découvrir par l'investigation rationnelle et par la discussion. Il pense que les mathématiques vont expliquer le monde.
  
- Aristote construit le premier système général d'explication de la nature, basé sur l'observation, sur des explications naturalistes simples et sur la rationalité.
  - Pour Aristote la Terre est le centre de l'univers, elle est sphérique. Autour, il y a des sphères transparentes, avec les planètes, le Soleil et la Lune. Dans l'ordre: Lune, Mercure, Venus, Soleil, Mars, Jupiter, Saturne.
  
  - Il y a quatre éléments sur la terre, qui ont un mouvement propre vers le haut et vers le bas, et un éléments dans le ciel, l'éther, qui a le mouvement circulaire comme mouvement propre.
  
- Alexandre, élève de Aristote, porte la culture Grecque, le grand respect pour la culture et l'approche rationnelle à la connaissance dans tout le monde ancien de la Méditerranée jusqu'à l'Inde.
  
- Grâce a l'engagement actif des rois (Musée et Bibliothèque d'Alexandrie), des sciences différentes ont un grand développement dans le monde Alexandrine (Alexandrie, Athènes, Pergame, Syracuse, Marseille...): médecine, optique, statique, géographie... Il y a de très grands scientifiques, comme Archimède et Euclide, dont les résultats que nous étudions encore. Ce sont aussi des sciences appliquées (le phare, techniques navales, machines de guerre...), avec beaucoup de progrès technique (industrie, commerce). C'est l'astronomie qui fait les pas les plus importants pour l'histoire de la science.

## Devoir.

Envoyez vos devoirs par email à [rovelli@cpt.univ-mrs.fr](mailto:rovelli@cpt.univ-mrs.fr). Vous avez deux semaines, à partir de la date de dépôt du texte en ligne.

### A. Questions

- 1) Un ancien physicien grec laisse tomber une pierre. En étant disciple d'Aristote, il croit que la chute de la pierre est causée par :**
  - a) L'attraction magnétique de la Terre
  - b) C'est la terre qui bouge vers le haut pour rencontrer la pierre
  - c) L'attraction gravitationnelle de la Terre
  - a) Le mouvement naturel de la pierre qui la fait tendre vers le centre de l'univers.
  
- 2) Une idée d'importance majeure qui a été proposée pour la première fois par Pythagore est que :**
  - a) la terre tourne autour du soleil
  - b) la nature peut être comprise avec les maths
  - c) il y a 9 planètes dans le système solaire.
  
- 3) Un astronaute grec va sur la lune en amenant une pierre terrestre. Lorsqu'il débarque, il laisse tomber la pierre. Selon son maître Aristote, la pierre :**
  - a) monte vers la sphère des étoiles fixes
  - b) tombe vers le centre de la lune
  - c) tourne en orbite circulaire autour de la terre
  - d) tombe de la lune vers la terre.
  
- 4) Le célèbre astronaute grec, pars pour Mars en 234 av. JC et revient sur la terre en amenant un peu de matériel martien. Après son atterrissage il laisse tomber la pierre martienne. En supposant que les idées d'Aristote sur le mouvement sont correctes, la pierre :**
  - a) commence à tourner autour de la terre
  - b) tombe au sol
  - c) va toute seule vers le ciel
  - d) reste suspendue à mi air.
  
- 5) Un habitant de la planète X3Y3Z découvre que l'ombre projetée par un gnomon est toujours égale, n'importe quelle soit la position où le gnomon est planté sur sa planète. Il conclut donc que :**
  - a) sa planète a une forme torique
  - b) sa planète est plate comme une tortilla
  - c) sa planète a une forme sphérique.

**6) En général, Aristote ne faisait pas d'observation de la nature.**

- a) Vrai
- b) Faux
- c) On ne sait pas.

**7) Quelle est l'importance pour la Science de la grande aventure de Alexandre ?**

- a) Alexandre a répandu dans le monde ancien un grand respect pour la culture
- b) Il a exporté la pensée rationnelle grecque dans une grande partie du monde ancien
- c) Toutes les deux réponses précédentes.

**8) Quand nous regardons le ciel, les étoiles fixes**

- a) ne bougent pas,
- b) tournent toutes de l'est vers l'ouest,
- c) tournent toutes de l'ouest vers l'est,
- d) la majorité tournent de l'est vers l'ouest, celles proches de l'étoile polaire tournent autour de l'étoile polaire. L'étoile polaire ne bouge pas.

**9) Laquelle des affirmations suivantes est fausse :**

- a) Le solstice d'été est le jour de l'année où le Soleil est le plus haut dans le ciel.
- b) Le solstice d'hiver est le jour de l'année où l'hauteur maximale diurne du Soleil est minimale.
- c) A l'équinoxe de printemps, la durée du jour est la même que la durée de la nuit.
- d) A l'équinoxe de printemps, la durée du jour est la même qu'à l'équinoxe d'automne.
- e) Le nombre de jours entre les deux solstices est le même qu'entre les deux équinoxes.

**8) Quand nous regardons le ciel, les étoiles fixes**

- a) ne bougent pas,
- b) tournent toutes de l'est vers l'ouest,
- c) tournent toutes de l'ouest vers l'est,
- d) la majorité tournent de l'est vers l'ouest, celles proches de l'étoile polaire tournent autour de l'étoile polaire. L'étoile polaire ne bouge pas.

**10) Pour Platon la vérité est**

- a) inaccessible,
- b) devant nos yeux : facile à voir,
- c) cachée, mais on peut la trouver grâce à la raison,
- d) cachée, mais on peut la trouver grâce à la raison et à l'observation.

**11) Platon propose un modèle pour la structure de la matière. Le quel ?**

- a) Le monde est fait d'une seule substance, l'*apeiron*,
- b) Le monde est fait d'atomes tous différents,
- c) Le monde est fait d'atomes tous égaux,
- d) Le monde est fait d'atomes, de cinq variétés différents.

**12) Le modèle de Platon pour la structure de la matière est**

- a) correct,
- b) faux,
- c) stupide,
- d) farfelu.

**13) Alexandre le grand a eu un enseignant remarquable. Qui ?**

- a) Socrate,
- b) Platon,
- c) Aristote,
- d) Anaximandre.

**14) Le roi d’Egypte Ptolémée premier était**

- a) Grec d’Athènes,
- b) Grec de la Macédoine,
- c) Egyptien,
- d) Babylonien.

**15) Le roi d’Egypte Ptolémée a une grande importance dans l’histoire de la science parce que**

- a) Il a été le premier à concentrer les savants dans un palais royal,
- b) Il a fondé et financé des institutions scientifiques majeures, dont la plus grande bibliothèque de l’antiquité.
- c) Il a permis aux Grecs de s’installer en Egypte,
- d) Il était un élève d’Aristote.

**16) La caractéristique qui fait la différence entre les institutions scientifiques d’Alexandrie et celles des anciens empires d’Egypte et de Babylone ou de Chine est**

- a) La liberté de recherche,
- b) La séparation du pouvoir religieux,
- c) La présence de la grande bibliothèque multiculturelle,
- d) Toutes ces réponses.

---

*B.*

**1.** Cherchez une guitare, sonnez un La (deuxième corde libre) et un Mi (deuxième corde, 7ème position). Mesurer la longueur de la corde libre (le La) et la longueur de la corde qui sonne le Mi. Quelles sont les deux longueurs que vous trouvez ? Que trouvez-vous ?  
Cherchez les planètes dans le ciel de cette semaine. Vous arrivez à les détecter ? Lesquelles sont là ces nuits ?

2. Mesurez le diamètre angulaire de la lune (l'angle sous le quel nous voyons la Lune), avec la plus grande précision que vous pouvez. Comment pouvez vous faire? Quelle précision vous obtenez ?

3. Le texte suivant est par Platon (dans le Phédon). Lisez-le avec grande attention, cherchez à bien le comprendre. Ecrivez un texte de commentaire en réponse aux questions suivantes :

- Que reproche exactement à la physique Socrate (ici le personnage du dialogue de Platon).
- A-t-il raison ?
- Qu'est-ce qu'une "cause", pour Socrate ?
- Quel genre d'explications offre la physique ? Est-ce qu'elle répond aux questions posées par Socrate ?
- Est ce que ces questions sont utiles quand on parle, par exemple, des raisons pour les quelles la forme de la Terre est sphérique ?

(Le dialogue se passe dans la cellule où Socrate est en prison. Ses amis sont venus pour lui proposer d'échapper à Mégare ou en Béotie, mais Socrate refuse, pour des raisons éthiques : il soutient que le bien est de respecter toujours les lois.)

## Discussion 2: Limites de la science?

### **Texte: Socrate contre la physique (dans le Phédon de Platon):**

XLV - Là-dessus, Socrate fit une longue pause, occupé à réfléchir. Enfin il reprit : — Je vais te raconter, Cébès, si tu veux, mes propres expériences en ces matières.

— Certainement, je le veux, dit Cébès.

— Écoute donc mon exposé. Dans ma jeunesse, j'avais conçu un merveilleux désir de cette science qu'on appelle *la physique*. Il me semblait que c'était une chose magnifique de connaître *la cause* de chaque chose, ce qui la fait être, ce qui la fait périr, ce qui la fait exister. Et souvent je me suis mis la cervelle à la torture pour étudier des questions comme celles-ci : Est-ce lorsque le chaud et le froid ont subi une sorte de fermentation que, comme le disaient quelques-uns, les êtres vivants se forment ? ... Je cherchais aussi à connaître les causes de corruption de tout cela ainsi que les phénomènes célestes et terrestres...

XLVI. — Un jour, ayant entendu quelqu'un lire dans un livre, dont l'auteur était, disait-il, Anaxagore, sur ... la cause de toutes choses ... Je me réjouissais d'avoir trouvé dans la personne d'Anaxagore un maître selon mon cœur pour m'enseigner la cause des êtres.

Je pensais qu'il me dirait d'abord si la terre est plate ou ronde et après cela qu'il *m'expliquerait la cause et la nécessité* de cette forme, *en partant du principe du mieux, et en prouvant que le mieux pour elle, c'est d'avoir cette forme*, et s'il disait que la terre est au centre du monde, qu'il me ferait voir qu'il était meilleur qu'elle fût au centre.

S'il me démontrait cela, j'étais prêt à ne plus demander d'autre espèce de cause. De même au sujet du soleil, de la lune et des autres astres, j'étais disposé à faire les mêmes questions, pour savoir, en ce qui concerne leurs vitesses relatives, leurs changements de direction et les autres accidents auxquels ils sont sujets, en quoi il est meilleur que chacun fasse ce qu'il fait et

souffre ce qu'il souffre. ... Prenant ses livres en toute hâte, je les lus aussi vite que possible, afin de savoir aussi vite que possible le meilleur et le pire.

XLVII - Mais je ne tardais pas, camarade, à tomber du haut de cette merveilleuse espérance. Car, avançant dans ma lecture, je vois un homme qui ne fait aucun usage de l'intelligence et qui, au lieu d'assigner des causes réelles à l'ordonnance du monde, prend pour des causes l'air, l'éther, l'eau et quantité d'autres choses étranges.

Il me sembla que c'était exactement comme si l'on disait que Socrate fait par intelligence tout ce qu'il fait et qu'ensuite, essayant de dire la cause de chacune de mes actions, on soutînt d'abord que, si je suis assis en cet endroit, c'est parce que mon corps est composé d'os et de muscles, que les os sont durs et ont des joints qui les séparent, et que les muscles, qui ont la propriété de se tendre et de se détendre, enveloppent les os avec les chairs et la peau qui les renferme, que, les os oscillant dans leurs jointures, les muscles, en se relâchant et se tendant, me rendent capable de plier mes membres en ce moment et que c'est la cause pour laquelle je suis assis ici les jambes pliées.

C'est encore comme si, au sujet de mon entretien avec vous, il y assignait des causes comme la voix, l'air, l'ouïe et cent autres pareilles, sans songer à donner les véritables causes, à savoir que, les Athéniens ayant décidé qu'il était mieux de me condamner, j'ai moi aussi, pour cette raison, décidé qu'il était meilleur pour moi d'être assis en cet endroit et plus juste de rester ici et de subir la peine qu'ils m'ont imposée. Car, par le chien, il y a beau temps, je crois, que ces muscles et ces os seraient à Mégare ou en Béotie, emportés par l'idée du meilleur, si je ne jugeais pas plus juste et plus beau, au lieu de m'évader et de fuir comme un esclave, de payer à l'État la peine qu'il ordonne.

Mais appeler causes de pareilles choses, c'est par trop extravagant. Que l'on dise que, si je ne possédais pas de choses comme les os, les tendons et les autres que je possède, je ne serais pas capable de faire ce que j'aurais résolu, on dira la vérité ; mais dire que c'est à cause de cela que je fais ce que je fais et qu'ainsi je le fais par l'intelligence, et non par le choix du meilleur, c'est faire preuve d'une extrême négligence des expressions. C'est montrer qu'on est incapable de discerner qu'autre chose est la cause véritable, autre chose ce sans quoi la cause ne saurait être cause. C'est précisément ce que je vois faire à la plupart des hommes, qui, tâtonnant comme dans les ténèbres, se servent d'un mot impropre pour désigner cela comme la cause.

Voilà pourquoi l'un, enveloppant la terre d'un tourbillon, la fait maintenir en place par le ciel, et qu'un autre la conçoit comme un large huche, à laquelle il donne l'air comme support. Quant à la puissance qui fait que les choses sont actuellement disposées pour le mieux, ils ne la cherchent pas. »