La science jusqu'à Aristote, quelques repères historiques...

Club de Science de St Charles, 19 novembre 2018

Thierry Masson

Centre de Physique Théorique & Centre Gilles Gaston Grangier
Marseille, France

Avertissements (sur moi)

- Je ne suis pas un historien des sciences.
- Je suis physicien-mathématicien.
- Exposé extrait d'un cours de M2 en philosophie des sciences.
- Ce qui suit n'est pas un cours d'histoire des sciences précis :
  - Il y a des approximations, des simplifications et des omissions.
  - Des historiens des sciences auraient beaucoup à redire...

Avertissements (sur le fond)

- L'Histoire se donne à travers des documents (écrits en général).
- Dans la période « avant Aristote », il ne reste que très peu de documents.
- Souvent les sources sont secondaires :
  - Commentaires tardifs (des siècles après).
  - Interprétation et reconstruction...

  ➙ Problème pour attribuer une découverte, un concept ou une démarche...
- L'exposé se focalise donc sur les grandes étapes et les grandes lignes.
  ➙ Ne pas prêter trop d'attention aux « détails. »

Plan de l'exposé

1 Quelle est cette chose appelée « science » ?

2 Avant l'invention de l'écriture

3 L'Égypte et la Mésopotamie

4 La Grèce antique

Quelle est cette chose appelée « science » ?

Les caractéristiques de la science « actuelle »

La démarche :

- Collecte de données : observations et expériences.
- Interprétation de données : mise en avant de « structures » et « motifs ».
- Modélisation et théorisation : assemblage de principes, lois, équations...
- Recherche de conséquences et de prédictions :
  extension de la théorie hors de l'observation ou de l'expérience initiale.
- Tests et validation de la modélisation : aller-retour entre théorie(s) et expériences.

Les grands principes :

- Méthode globale pour construire un « savoir sûr ».
  ➡ Nécessité de définir des critères pour atteindre cette certitude...
- Recherche d'une compréhension de l'Univers à l'aide d'un système rationnel.
  ➡ Principes, « lois », idéalisations, explications, relations, causalités...
- Recherche d'une unité.
  ➡ Volonté de réduire le nombre de théories et de principes premiers.

De quand date la science « actuelle » ?

- La science actuelle est le fruit de sa propre évolution et de sa propre histoire.
  - Création d'un savoir « sûr ».
  - Création des démarches et des méthodes de validation.
- Les acquis se sont succédés pour créer un « savoir sûr » :
  - La découverte que la Nature n'agit pas toujours au hasard…
  - L'observation de phénomènes réguliers et récurrents.
  - La maîtrise de la méthode expérimentale.
  - La méthode empirique, la modélisation et les théories.
  - L'utilisation de mathématiques.

  ➙ Objet de l'épistémologie.
- La science qui se pratique aujourd'hui définit et affine encore ses procédures.
  - Le critère des « 5σ » en physique des particules (~1990).
  - L'introduction de l'informatique et des simulations.
- La science actuelle date donc… de maintenant !

Quelle « science » avant Aristote ?

- Il y a une connaissance pratique de la Nature avant Aristote.
  - Connaissances fondées sur l'observation et la « spéculation ».
    ➡ Il manque l'expérimentation « systématique ».
  - Connaissances insérées dans un système rationnel et explicatif.
    ➡ Il manque la méthodologie construisant un « savoir certain ».

- Il n'y a pas de science (terme actuel) avant Aristote…
- … il y a (presque) une science (terme actuel) juste après Aristote !

Russo, *The Forgotten Revolution, How Science Was Born in 300 BC and Why it Had to Be Reborn* (2004)
Sénéchal, *Histoire des sciences* (2018)

Avant l'invention de l'écriture

Des traces dans la pierre

- L'*Histoire* de la science ne peut pas être antérieure à l'invention de l'écriture.
- Néanmoins, l'intérêt pour l'observation des phénomènes célestes a été matérialisé dans des constructions humaines « en dur ».
  - Besoins pour l'agriculture dès le Néolitique.
  - Retour des solstices.
  - Retour de la saison des pluies…
- Le fait que la Nature a des lois a été « perçu » assez tôt.
  - Évident en ce qui concerne les mouvements d'objets dans le ciel et les saisons.
  - Moins évident dans les phénomènes plus « terre à terre » : météorologie, médecine, accidents naturels (séismes)…
- Nécessité de maîtriser le temps (de l'année) dès le début du Néolithique.
  ➡ Notions de calendriers…

Le calendrier de Nabta Playa en Égypte

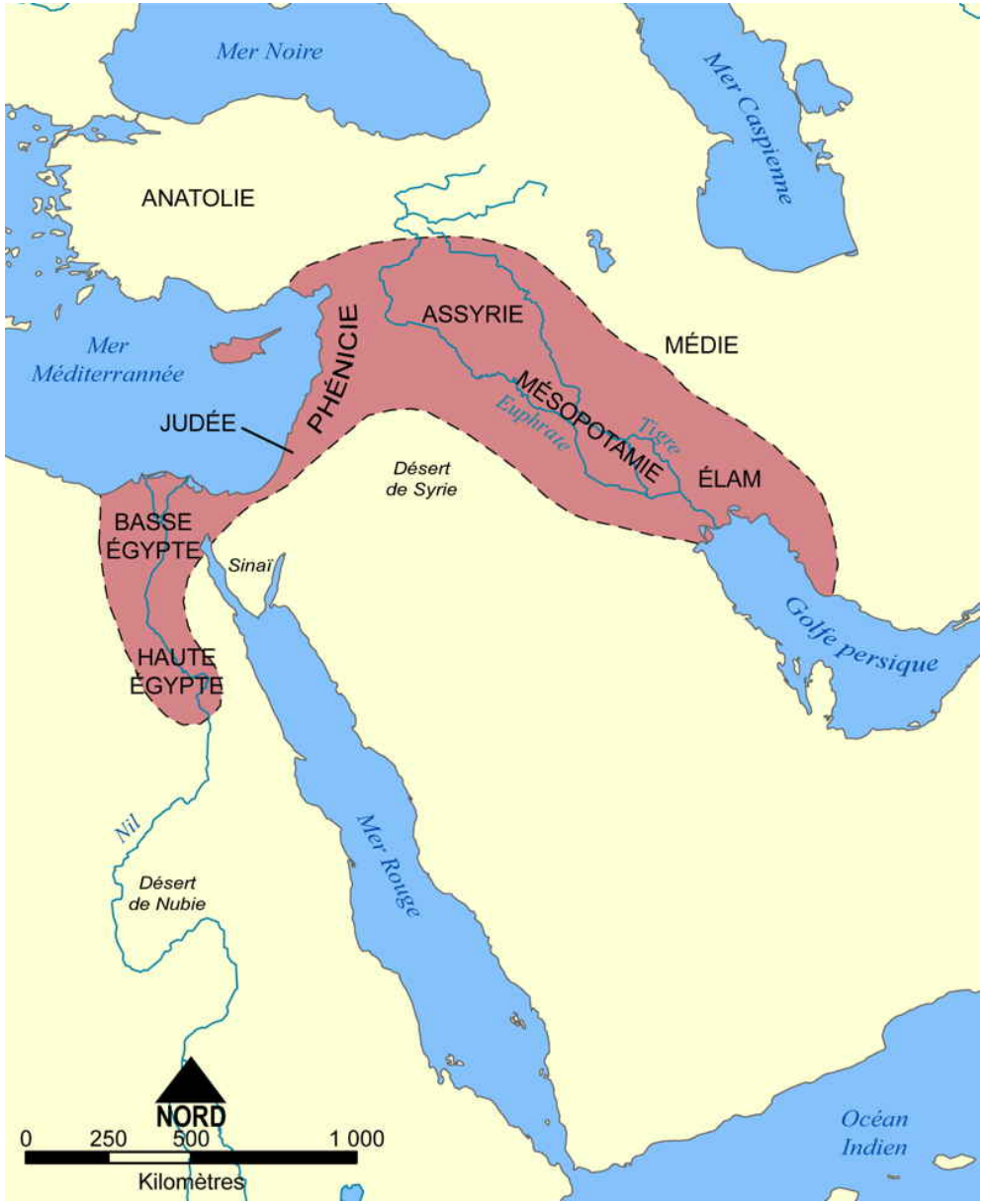
- Vers −5 000 ans.
- Assemblage de pierres le long d'un cercle (4 mètres de diamètre)...
- Un alignement indique le solstice d'été et donc le début de la saison des pluies.

Stonehenge en Angleterre

- 1er monument vers −3 000 ans, dernier (4e) vers −1 100 ans.
- Probablement un indicateur du coucher du soleil au solstice d'hiver.

L’Égypte et la Mésopotamie

Les trois fleuves: le Nil, l'Euphrate et le Tigre



Premières grandes civilisations :

- Égypte (le Nil).
- Mésopotamie (l'Euphrate et le Tigre).
- Vers −3 000 ans.

L'Égypte

- Les égyptiens n'ont pas réellement développé de science.
- Ils ont une approche pragmatique de certains problèmes :
  - récurrence des crues fertilisantes du Nil (➡ géométrie...) ;
  - administration d'un très grand pays (➡ comptabilité...).

Cette science est caractérisée par les fait suivants :

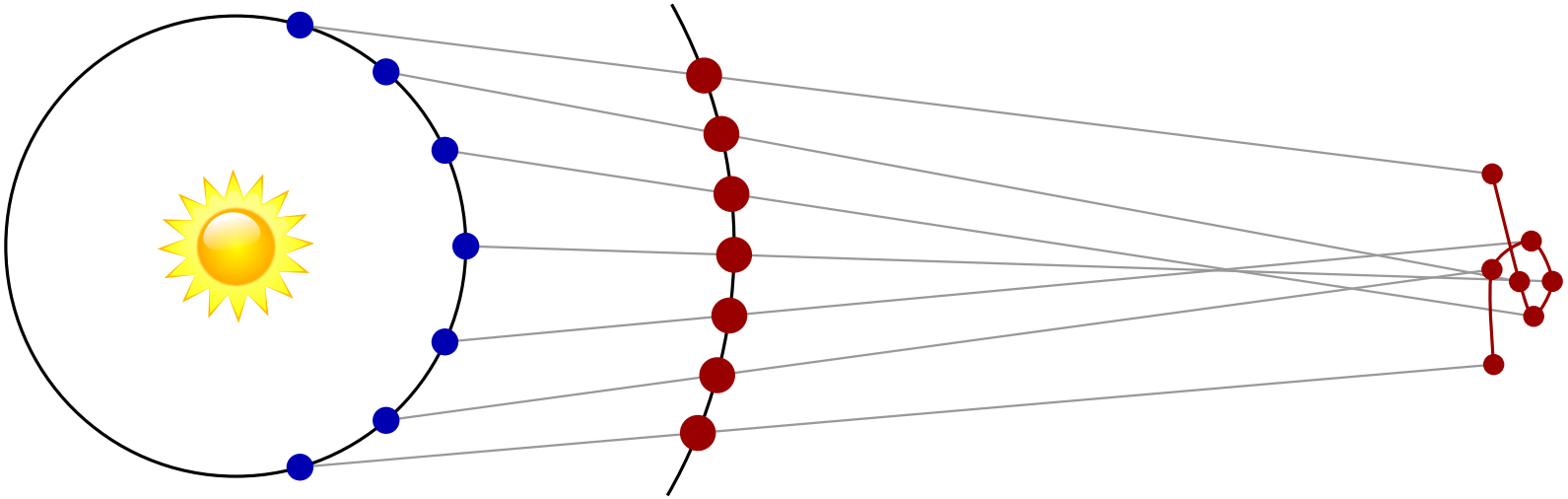
- pas de raisonnement mathématique ;
- système de calcul arithmétique à vocation comptable ;
- connaissances empiriques de certains résultats de géométrie, comme le théorème de Pythagore ;
- distinction entre les planètes et les étoiles fixes ;
- calendrier performant : 12 mois de 30 jours, + 5 jours tous les ans.
  - Ce calendrier est devenu par la suite le calendrier Julien imposé par Jules César. (après l'ajout des années bissextiles)
  - Calendrier Julien remplacé par le calendrier Grégorien actuel en 1582.

La Mésopotamie

La science des mésopotamiens est caractérisée par les faits suivants.

- Arithmétique à base 60 (➡ les heures, les angles), à numération de position.
- Intuition de quelques notions d'algèbre.
- Théorème de Pythagore.
- Pas de géométrie du cercle : $\pi \simeq 3$.
- Nombreuses observations astronomiques, motivées par la magie et l'astrologie, accumulées sur des centaines d'années.
- Calendrier lunaire, de période 29.531 jours, éphémérides précises : accumulation d'observations et méthodes de calculs adaptées.
- L'astronomie prédictive : ni description, ni compréhension, ni interprétation.
  - Prédiction des éclipses de Lune, prédiction des *possibilités* des éclipses de Soleil.
  - Observation et prédiction du mouvement des objets errants : Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne, la Lune et le Soleil.
  - Observation du phénomène du mouvement rétrograde des planètes.
  - Bande du Zodiaque et sa division en 12 constellations : positionnement du coucher du soleil aux différentes dates de l'année.
  - Observation de la variation de la « vitesse apparente » du Soleil sur le Zodiaque.
  - Développement de « modèles arithmétiques » pour reproduire ces mouvements.

Le mouvement rétrograde des planètes



Le mouvement rétrograde apparent d'une planète extérieure expliqué de façon moderne.

La Grèce antique

Les 3 époques de l'histoire de la Grèce

Époque archaïque (−750/−500).

- Des *tyrans* (≃ « maîtres ») au pouvoir favorisent la bourgeoisie.
- Développement des sciences et de la philosophie.
- Fondation de colonies (Massalia, colonie de Phocée, vers −600).
- Civilisation présente sur tout le bassin méditerranéen et la mer Noire.

Époque classique (−500/−338).

- Système démocratique.
- Guerres entre les grecs et les perses ; guerres civiles entre les cités.
- Apogée de la culture grecque (Socrate, Platon, Aristote…).

Époque helléniste (−338/−30).

- Domination macédonienne.
- Alexandre le Grand étend l'influence grecque jusqu'aux portes de l'Inde.
- Division de son empire après sa mort en −323.
- Les Ptolémée règnent sur l'Égypte :
  la ville d'Alexandrie est le lieu d'une véritable révolution scientifique.
- Conquête de Rome vers −30.
  Autre fin de cette période : 415, assassinat de **Hypatie d'Alexandrie** (~360 − 415).

Les particularités de la science grecque

L'école d'Athènes de Raphaël.

- Les grecs ont une approche géométrique de la Nature.
- Ils cherchent à modéliser et à comprendre les phénomènes naturels.
- Ils usent de raisonnements à base de logique, d'idéalisations et d'abstractions.
- Ils ne sont pas (tous) expérimentateurs
  ➙ beaucoup de spéculations sur la Nature...
- Leur « science » va influencer l'occident jusqu'à la Renaissance.

Thalès de Milet

~625 av. J.C. – 547 av. J.C.

- Le premier (?) à refuser le discours mythologique pour « expliquer » le monde.
- Approche « naturaliste » : observations et démonstrations.
- Théorème des proportions des triangles.
  ➡ Mesure de la hauteur de la grande pyramide de Khéops.
- Il pense qu'il doit exister une substance à l'origine de tout : l'eau.
  Eau « ténue » ➡ l'air ; Eau « compacte » ➡ la terre
- La Terre flotte sur l'eau ➡ explication des tremblements de terre.
- Description de la Grande Ourse et utilisation pour la navigation.
- Découverte de phénomènes électriques (ambre) et magnétiques.
- Fonde l'école de pensée de Milet.

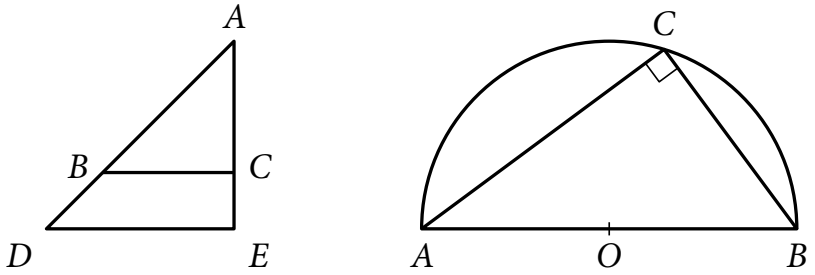


Illustration de deux théorèmes attribués à Thalès.

Anaximandre de Milet, le premier « cosmologue »

~610 av. J.C. – 546 av. J.C.

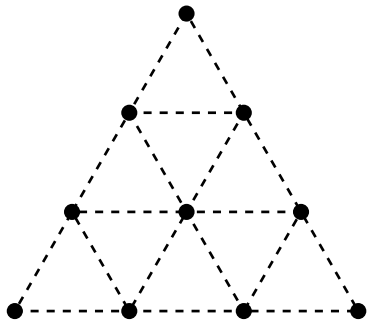
- Le premier à essayer de comprendre et d'expliquer différents aspects du monde, en insistant sur l'*origine* des choses.
- Il invente le concept philosophique de l'*apeiron* :
  - peut se traduire par l'illimité, l'indéfini et l'indéterminé,
  - c'est le principe et l'élément de tout ce qui existe (l'apeiron est indéterminé contrairement à l'eau de Thalès),
  - il est inaccessible à la sensibilité, il nous est invisible,
  - il est l'origine de tout dans la cosmogonie d'Anaximandre,
  - c'est la source et la « force » de la vie.
- Anaximandre est le premier à concevoir un modèle mécanique du monde : la Terre flotte sans mouvement au centre de l'Univers infini, supportée par rien…
- Il attribue des phénomènes naturels, comme l'orage et les éclairs, à des phénomènes naturels, et non à des causes divines.
- Il a spéculé sur l'origine de la vie, qu'il pense sortir de la mer (en s'inspirant des fossiles ?).
- Il a été le premier à publier une carte du monde « connu ».
- Il s'est intéressé aux gnomons et aux cadrans solaires.

Pythagore, mathématicien avant tout

~580 av. J.C. – ~495 av. J.C.

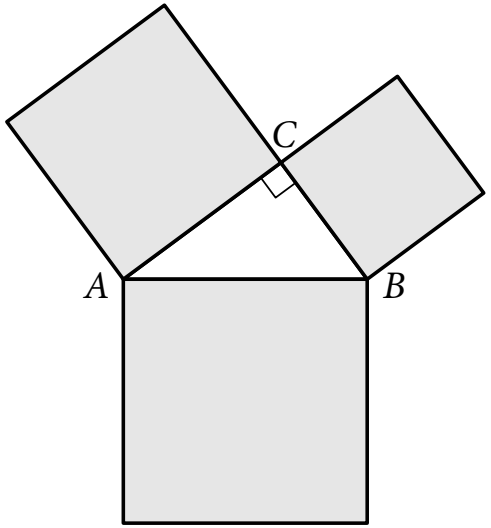
Fonde une école de pensée philosophique à la religiosité très forte.

- La primauté des nombres sur toutes choses, l'« arithmologie ».
  L'importance de la tétrade 1 + 2 + 3 + 4 = 10 :
  Le nombre 10 est dit « triangulaire ».
  1 correspond au point, 2 à la ligne, 3 à la surface, et 4 au solide.



tetractys

- La nécessité de fournir une preuve dans l'étude des propositions mathématiques.
- Les nombres premiers.
- Le théorème de Pythagore.
- La découverte des nombres irrationnels : $\sqrt{2}$.
- Le rapport entre les mathématiques et la musique.
- Il pense que la Terre est sphérique et non plate.
- Inventeur du mot « philosophe ».
- Beaucoup de ses découvertes viennent de son École très hiérarchisée, comparable à un Ordre.



Le théorème de Pythagore.

Parménide

~544 av. J.C. – ~450 av. J.C.

- Disciple d'Anaximandre.
- Emprunte aux pythagoriciens.
- Il distingue deux types de connaissance :
  1. la *vérité* « à l'orbe pur » ;
  2. l'*opinion* « dans laquelle il n'y a rien qui soit vrai ni digne de crédit ».
- Il distingue deux voies vers la connaissance :
  1. la *raison*, qui donne accès à la vérité ;
  2. les *sens*, qui donne accès aux apparences.
- Il expose des règles épistémiques auxquelles soumettre la connaissance du réel pour atteindre la vérité.
- Il introduit la *logique* dans la pensée grecque.
- La Terre est sphérique et au centre de l'univers.
  Se fait le porte-parole d'Anaximandre et d'Anaximène ?

Empédocle

~490 av. J.C. – ~435 av. J.C.

- Influencé par Parménide.
- Privilégie la forme poétique.
- Deux principes (cycliques) règnent sur l'univers :
  - l'Amitié (l'Amour),
  - la Haine.
- Toute chose est composée de quatre éléments premiers :
  - le Feu,
  - l'Air,
  - la Terre,
  - l'Eau.
- Chaque substance présente dans l'univers serait constituée d'un ou plusieurs de ces éléments, en plus ou moins grande quantité.
- Cela expliquerait le caractère plus ou moins volatil, chaud, froid, humide, ou sec de chaque matière.
- Empédocle (puis Platon plus tard) pense que la vision résulte de la communion d'un *feu extérieur* émit par l'objet et d'un *feu visuel* émis par l'œil.

Leucippe

470 av. J.C. – 370 av. J.C.

- Inventeur de l'atomisme.
  ➙ Leucippe (et Démocrite son élève) s'opposent au modèle d'Empédocle.
- La matière est constituée de particules éternelles et insécable : les atomes (qui signifie en grec : « qui ne peut pas être divisé »).
- Le monde est donc constitué d'*atomes* et de *vide*.
  - Le vide est le *non-être*.
  - Le vide sera l'objet de débats jusqu'au XVIIe siècle (expérience de Torricelli).
- La forme des atomes produit leurs propriétés : les aliments sucrés sont formés d'atomes arrondis, les aliments acides d'atomes pointus...
  ➙ Très différent des atomes au sens moderne...

Démocrite

470 av. J.C. – 370 av. J.C.

- Élève de Leucippe dont il rapporte l'essentiel de l'enseignement sur l'atomisme.
- La théorie des simulacres explique la propagation des images.
  Tout objet émet une « réplique » (*membrane*, *écorce*) qui vient toucher l'œil.

- Il énonce la pluralité des Mondes : chaque monde naît, vie et meurt.
  (Monde ≃ système planétaire ?)
- Il émet l'hypothèse de la génération spontanée des espèces vivantes
  (réunion spontanée d'atomes).

Platon

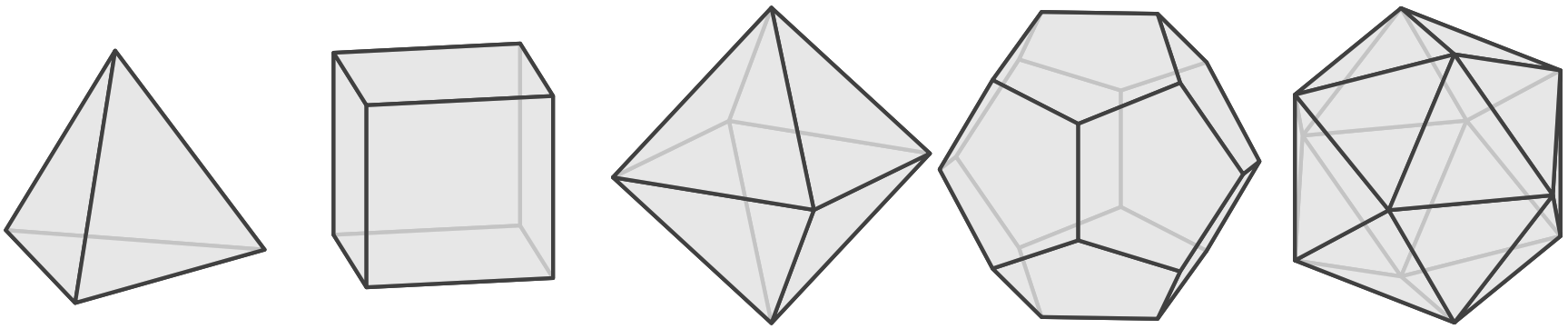
428 av. J.C. – 348 av. J.C.

- Il fonde l'Académie d'Athène, où sont enseignées l'astronomie, les mathématiques, la biologie, la théorie politique, la philosophie.
- Il sépare le monde sensible (les sensations) et le monde intelligible (les idées).
  - Les idées sont éternelles, immuables et universelles.
  - Elles n'ont pas besoin d'être créées, elles ne créent rien, elles existent tout simplement.
- Il divise l'Univers en deux parties.
  - Le monde sublunaire, où règnent les apparences.
    - Ce monde est formé de couches : la Terre, puis l'Eau, l'Air et le Feu.
    - C'est le monde des phénomènes terrestres, qu'il juge éphémères et peu dignes d'intérêt.
  - Le monde céleste, qui est le siège des idées.
    - Ce monde est formé de l'Éther ou *quintessence*, qui est le cinquième élément.
    - Dans ce monde on trouve les astres éternels, parfaits, divins et immuables.
    - Leur mouvement est parfait, c'est à dire *circulaire et uniforme*.

Conception qui durera jusqu'au XVIIe siècle.

La Grèce antique

- Platon associe aux quatre éléments premiers un polyhèdre régulier :
  - le Feu est associé au tétraèdre,
  - la Terre au cube,
  - l'Air à l'octaèdre,
  - l'Eau à l'isocaèdre.
- À l'Éther il associe le dodécaèdre.
- Il réduit la « structure ultime » de l'Univers à la géométrie.
- La question à laquelle il répond est : pourquoi 4 + 1 éléments constituants ?



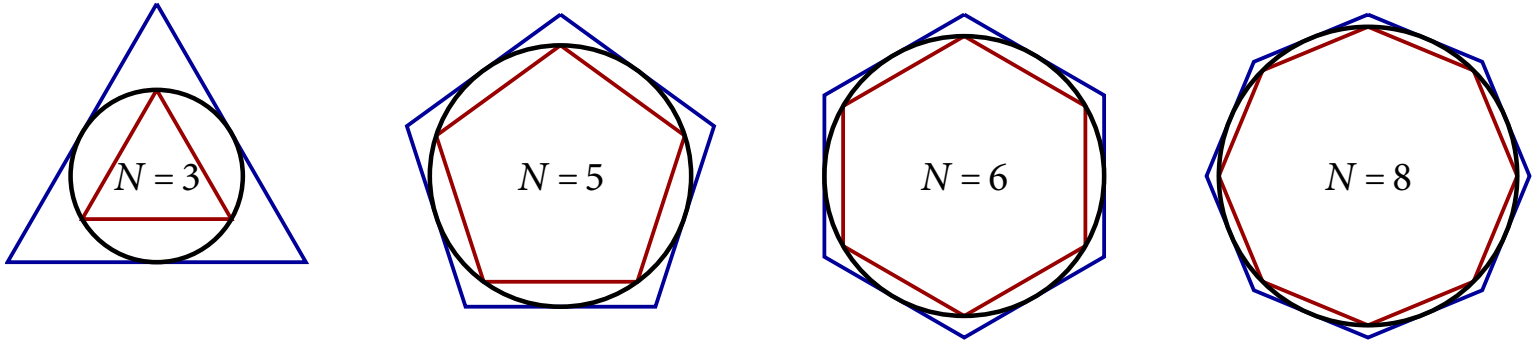
tétraèdre cube octaèdre dodécaèdre isocaèdre

Les cinq polyèdres réguliers de Platon.

Eudoxe de Cnide

~406 av. J.C. – ~355 av. J.C.

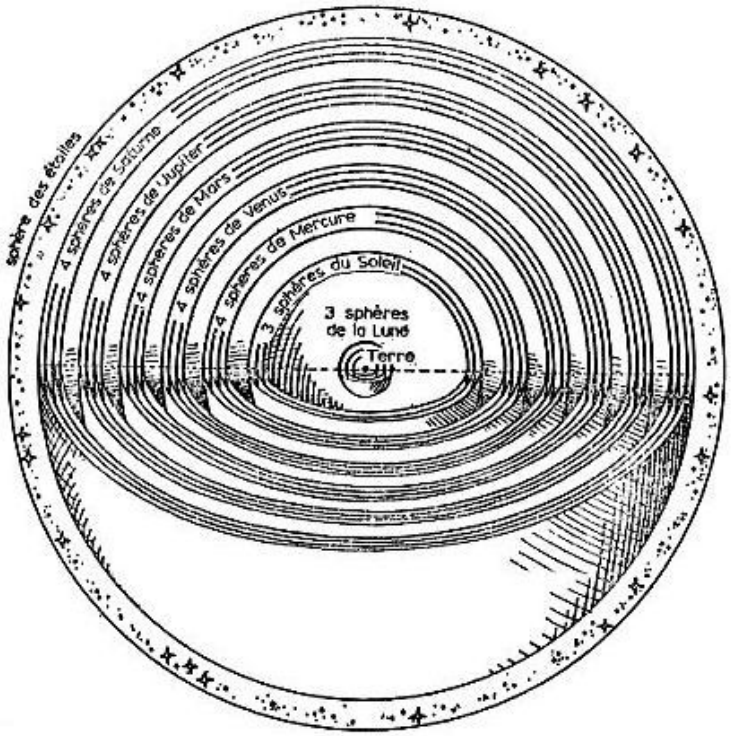
- Il est mathématicien.
- Il introduit la notion de *grandeurs*, qui sont reliées à des structures géométriques : la longueur, l'aire, le volume…
- Le premier à séparer l'abstrait et le concret ?
- Il sépare de fait l'arithmétique (les nombres) de la géométrie (les figures).
- Il invente la méthode d'exhaustion.



La méthode d'exhaustion permet d'approcher
la valeur de la circonférence d'un cercle.

La Grèce antique

- Il est le premier à proposer un « modèle » pour le mouvement des planètes.
- C'est la théorie des sphères homocentriques.
  - Chaque astre est placé sur une sphère centrée sur la Terre (qui est immobile).
  - Les sphères sont emboîtées les unes dans les autres.
  - Chaque sphère tourne de façon à reproduire le mouvement de l'astre qui lui est lié.
  - La plus grande sphère est la sphère des étoiles, qui tourne en 24 heures.
  - L'irrégularité de certains mouvements nécessite plusieurs sphères par astre.
  - Les planètes ont ainsi 4 sphères, la Lune et le Soleil 3 chacune.



- Par la suite, ces sphères vont être considérées comme *réelles*.
- Les pythagoriens prétendent que le frottement de ces sphères invisibles les unes sur les autres produit un son harmonieux : la *musique des sphères*.
- Aristote adoptera ce modèle ➡ repris par les scolastiques au Moyen-Âge.
- Au Moyen-âge, on supposera que ces sphères sont faites de cristal.
- Ce modèle « sauve les apparences ».
  - Mais Eudoxe ne semblait pas vouloir *décrire la réalité*.
  - Première distinction entre réalité et modèle « de calcul ».
- Ce modèle n'explique pas la différence d'éclat des astres :
  la distance à Terre doit pouvoir varier, ce qui n'est pas le cas...
  ➡ Le modèle du Monde avec des épicycles résoudra ce problème...

La science grecque avant Aristote...

- Non uniformité de la science grecque : dans le temps et dans l'espace.
- Les grecs sont principalement des mathématiciens, surtout des géomètres.
  ➡ Méthodes de calcul géométriques (règle et compas).
- Premières bases du raisonnement et de la logique.
- Idées importantes :
  - le monde est organisé et il est gouverné par des « principes » et des « lois » ;
  - le monde est intrinsèquement élégant et harmonieux,
    ➡ forte référence aux plus belles figures géométriques...
- Les mathématiques sont souvent « premières » dans leur pensée.
- Les mots « mathématique » et « physique » n'ont pas le sens actuel.
  - *mathematike* = « tout ce qui est étudié »
    - plus tard, ce qui est étudié avec une certaine méthodologie
    - objectif = trouver des hypothèses et « sauver les apparences ».
  - *physis* = « tout ce qui vit, grandit, existe... »
    - donne le terme latin *natura*
    - objectif = décrire la réalité, trouver le « vrai ».

La science grecque après Aristote...

- Aristote fonde et étudie la théorie des *causes*.
  ➡ Poser des principes « explicatifs ».
- Aristote s'intéresse au « mouvement » (≃ changement).
  ➡ Un des problèmes essentiels abordés par les grecs.
- Aristote s'intéresse au monde sublunaire (opposition avec Platon).
- Aristote montre l'importance de l'observation.
  ➡ Voir ses traités de zoologie, 1/4 de son œuvre !
- La science naît de la rencontre de la technologie et du raisonnement à Alexandrie. (période helléniste)
- Après Aristote, les grecs inventent la *méthode scientifique expérimentale*.
  - La « révolution oubliée » décrite par Russo...
  - Euclide, Archimède, Ératosthène, Hipparque...
- La physique d'Aristote et le système de Ptolémée dominent au Moyen-Âge.
- La « révolution oubliée » laissera des traces écrites jusqu'à la Renaissance.

La Grèce antique