

Histoire et Philosophie des Sciences

« Pour l'honneur de l'esprit humain »

« ... M. Fourier avait l'opinion que le but principal des mathématiques était l'utilité publique et l'explication des phénomènes naturels; mais un philosophe comme lui aurait dû savoir que le but unique de la science, c'est l'honneur de l'esprit humain, et que sous ce titre, une question de nombres vaut autant qu'une question du système du monde. »

C. Jacobi, *Lettre à Legendre*, 1830

P. Marage

<http://homepages.ulb.ac.be/~pmarage>

pmarage@ulb.ac.be

Le progrès de la science ne s'accomplit pas seulement en ce sens que nous apprenons à connaître et à comprendre des faits nouveaux, mais également en ce sens que nous apprenons sans cesse ce que signifie le mot « comprendre »

W. Heisenberg

Plan du cours

I. Philosophie et histoire des sciences

II. La science classique

La science avant la science

Les Grecs

les présocratiques

Aristote; le cosmos d'Aristote et sa physique

Alexandrie

Le Moyen-Age

Le Moyen-Age arabo-musulman

Le Moyen-Age occidental

Transition: la Renaissance

III. La science moderne – une nouvelle manière de comprendre

La révolution copernicienne

Copernic

Tycho, Kepler, Bruno

Galilée et la lunette

Le combat pour la liberté de la recherche

L'invention du laboratoire

Newton et les newtoniens

« Une nouvelle intelligibilité »

L'histoire du vide

L'alchimie; Lavoisier et la naissance de la chimie moderne; la chimie organique

L'atomisme

IV. Le vivant

espèces et classification

parenthèse: la géologie

la paléontologie et Cuvier

le transformisme (Lamarck); la théorie de l'évolution (Darwin)

génétique (dont Mendel); biochimie

la révolution de l'ADN et de la double hélice

une autre épistémologie ?

L'aspect de la Terre

V. Et les mathématiques? Le zéro et l'infini

les nombres

l'infini

les géométries non-euclidiennes

VI. Une autre science ? La Chine

Philosophie et histoire des sciences

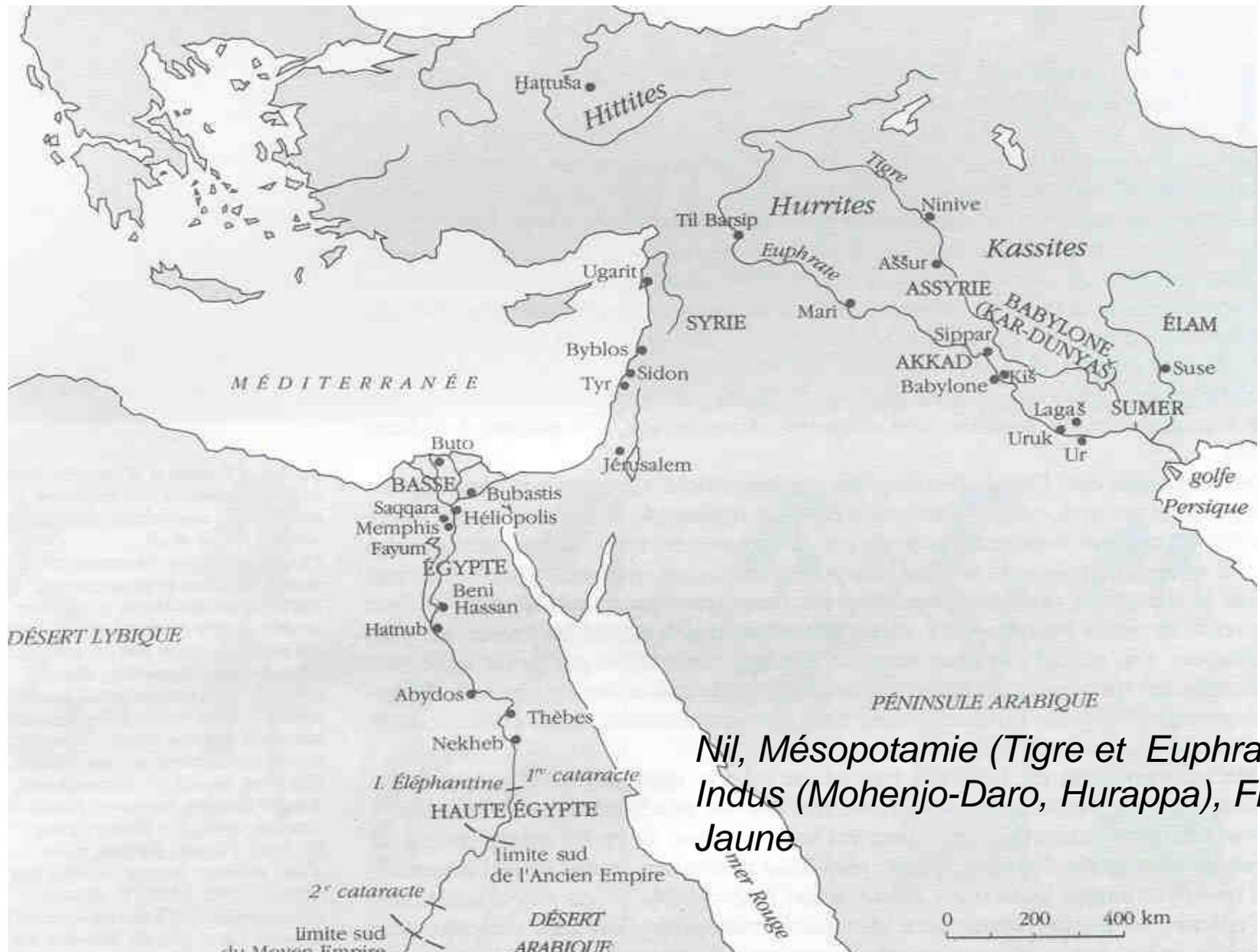
Philosophie des sciences

- *Déduction* (modèle des math. et de la logique, sur base d'« évidences » – cf. Aristote)
- « Science moderne » et *induction* (ex. Fr. Bacon 1561-1603); D. Hume (1711-1776)
- K. Popper (1902-1994) : « falsificationnisme »
- Th. Kuhn (1922-1996): « La structure des Révolutions scientifiques » (v. aussi G. Bachelard)
- Feierabend; Latour; le « programme fort »

Histoire des sciences

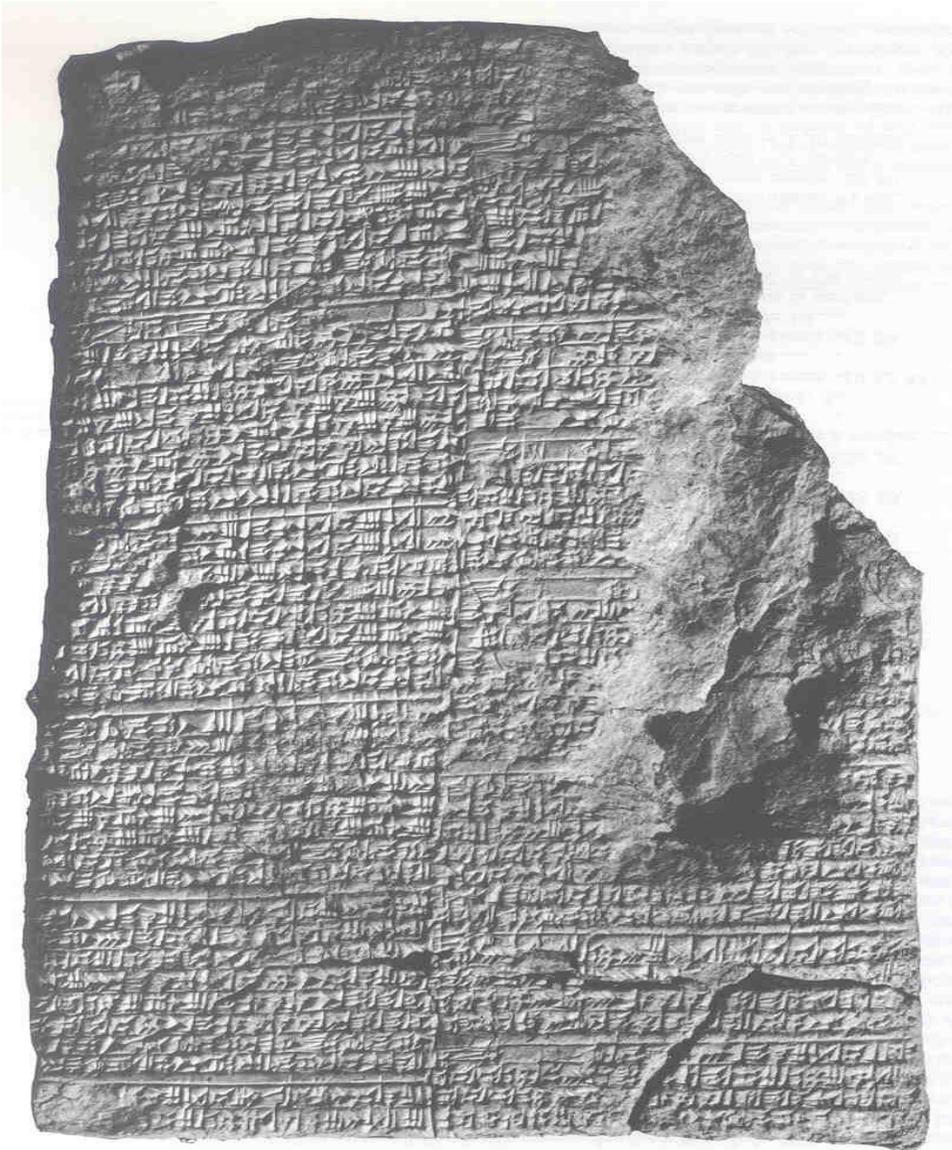
- ✓ L'« *histoire – découverte* »
- ✓ Le *principe de symétrie*
- ✓ L'« *invention* » des sciences

La science d'avant la science



*Nil, Mésopotamie (Tigre et Euphrate),
Indus (Mohenjo-Daro, Hurappa), Fleuve
Jaune*

Les empires fluviaux



Les « traités » (...), précisément parce qu'ils n'étaient pas des œuvres de simple enregistrement et d'histoire, mais de science, portant, non sur le seul passé, mais sur tous les temps, se devaient de noter, et ce qui était arrivé, de fait, et ce qui pouvait arriver, de droit. » (p. 80)

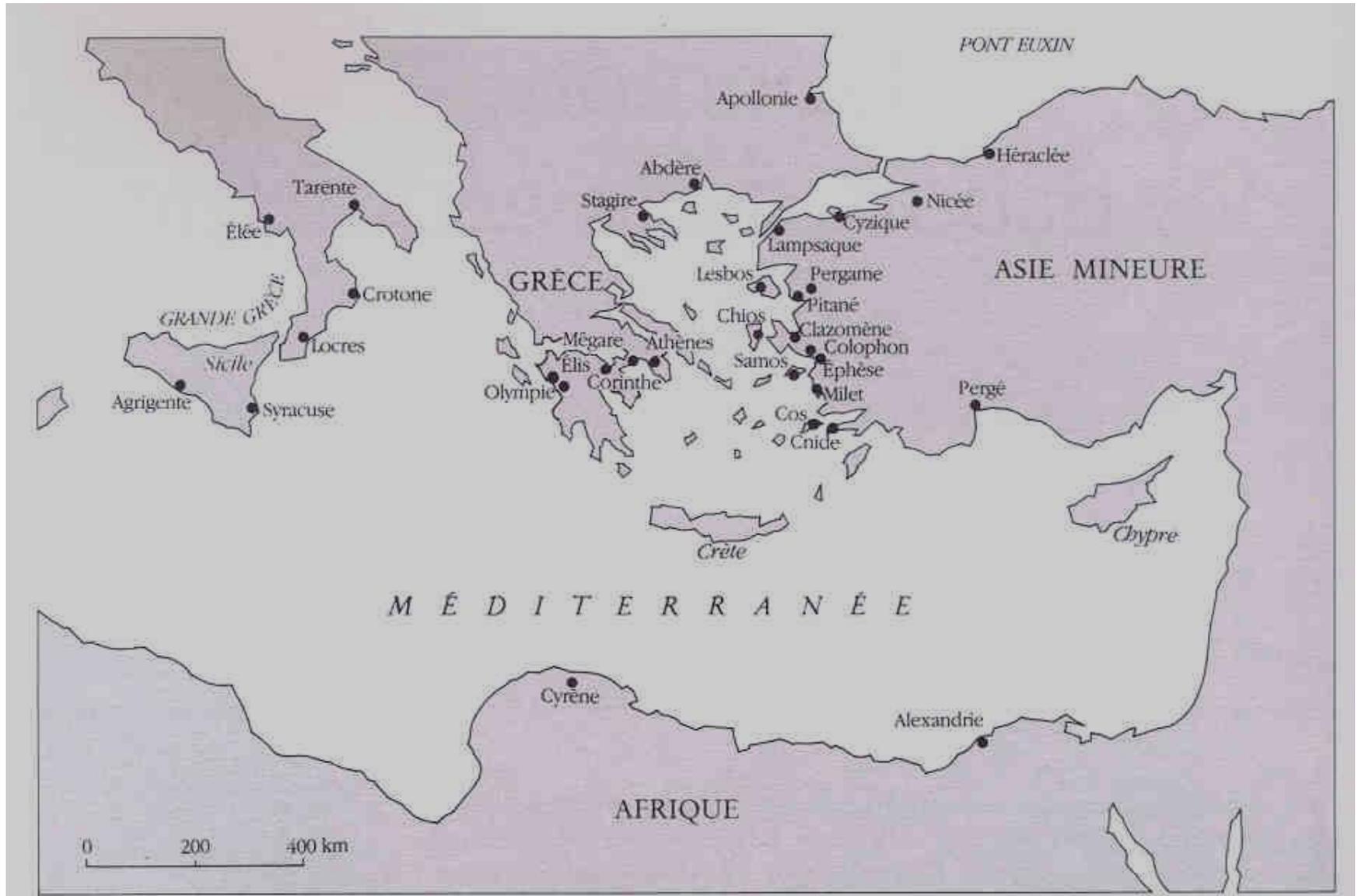
D'une connaissance de pure constatation, a posteriori, portant sur des cas individuels, la divination est ainsi devenue (...) une connaissance a priori, déductive, systématique, capable de prévoir, ayant un objet nécessaire, universel, et, à sa façon, abstrait, et possédant même ses « manuels ». » (p. 249)

Jean Bottéro,

Mésopotamie – L'écriture, la raison et les dieux,

Folio Histoire 81, Paris 1997

Le « miracle grec »



Raphaël, L'École d'Athènes



Les philosophes présocratiques (VI^{ème} – V^{ème} siècles)

Les physiologues ioniens

Thalès de Milet (ca. -625, ca. -550) : l'eau

Anaximandre (ca. -610, ca. -545) : l'indéterminé

Anaximène (ca. -580, ca. -530) : l'air

Héraclite d'Éphèse (ca. -540, ca. -470) : le feu

Pythagore de Samos (ca. -580, ca. -500) et les pythagoriciens (Alcméon de Croton, Hippocrate de Chio, Philolaos)

Les Éléates

Xénophane de Colophon (ca. -570, ca. -480), Parménide (ca. -515, ca. -450),
Zénon d'Élée (ca. -490, ca. -425)

Les pluralistes

Empédocle d'Agrigente (ca. -490, ca. -435), Anaxagore de Clazomènes (-500, -428)

Les présocratiques (*suite*)

Les atomistes

Leucippe (ca. -470, ca. -390), Démocrite d'Abdère (ca. -460, ca. -360)

Les sophistes

Protagoras, Gorgias, Prodicos, Hippias

La collection hippocratique

Hippocrate de Cos (ca. -460, ca. -377); Écoles de Cos (plus « théoriciens ») et de Cnide (plus « empiriques »)

La leçon des présocratiques

abstraction

démarche « matérialiste »

argumentation / démonstration – cf. la Cité

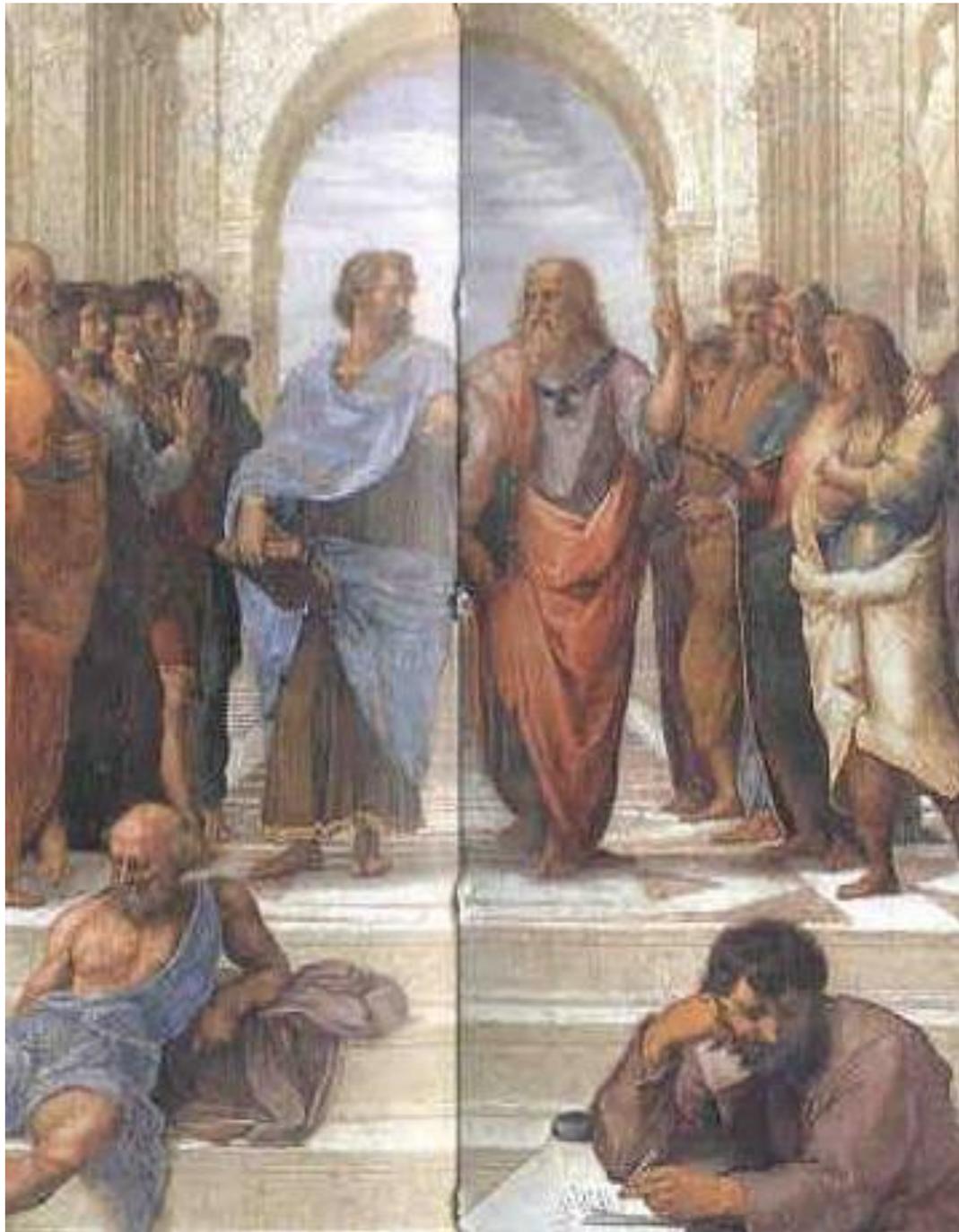
Les questions :

Qu'est-ce que

l'être (ontologie)

le mouvement / la diversité du monde,

le savoir (le Logos)



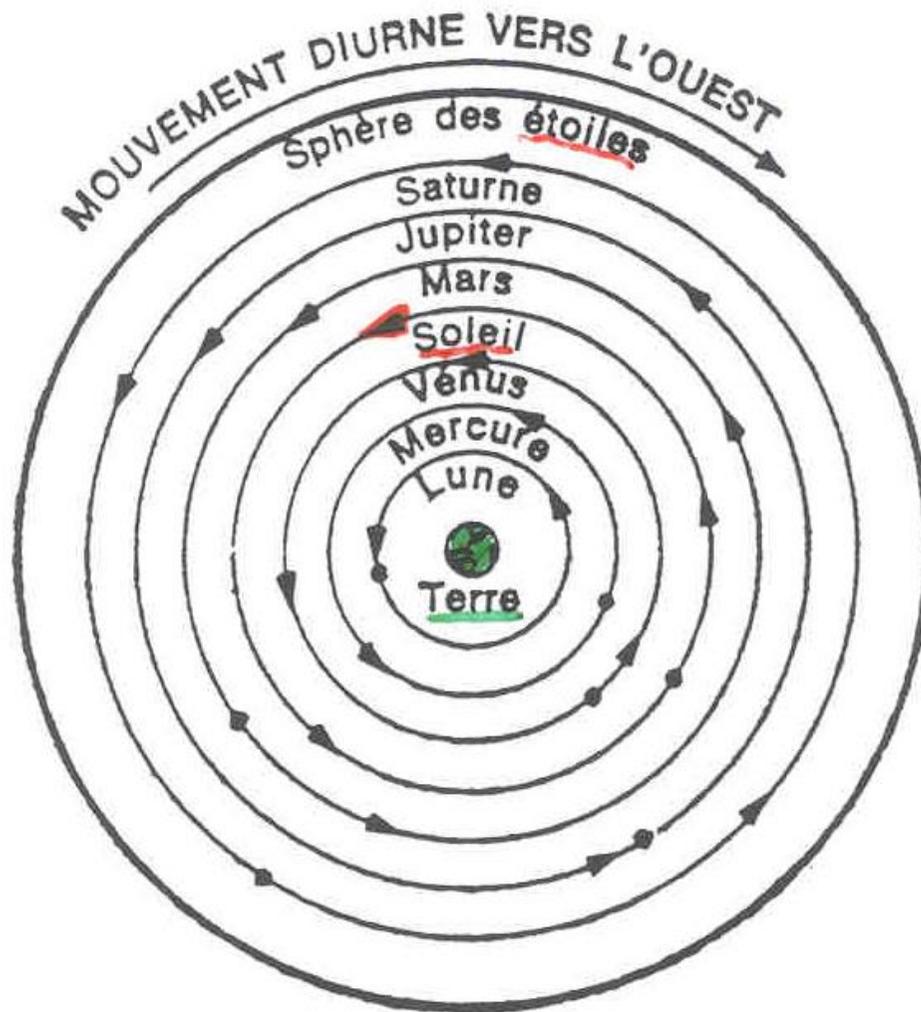
Socrate (-470, -399)

Platon (v. -428, -348) et l'Académie (-387)

Aristote (-384, -322) et le Lycée (-335)

Les autres écoles : stoïcisme, épicurisme (atomistes), cyniques, sceptiques.

Le cosmos d'Aristote



Deux mondes

- **sublunaire**
- **supralunaire**

Le cosmos d'Aristote

Deux mondes fondamentalement séparés

sublunaire

Terre sphérique, immobile au centre du Monde
changement, corruption
4 éléments
mouvements
naturels imparfaits (haut, bas)
violents

supralunaire

sphérique, plein
immuable
quintessence
mouvements circulaires parfaits

La physique d'Aristote

2 types de mouvements

naturel

monde sublunaire : vers le lieu naturel – espace centré, fini, non-homogène

monde supralunaire : circulaire, car immuable, parfait

forcé, violent

dans le monde sublunaire – pas de mouvement sans force !

pas de vide

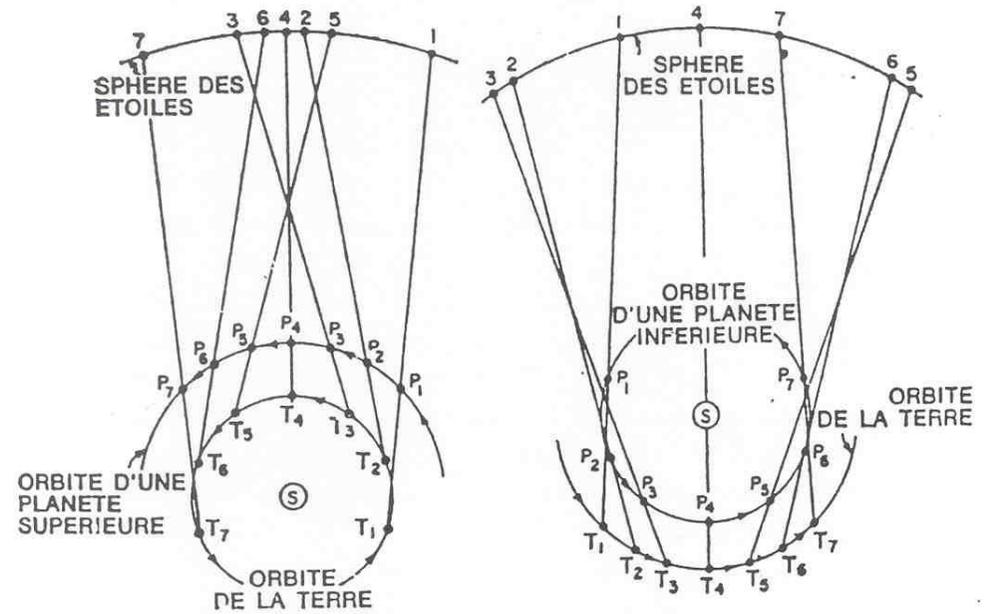
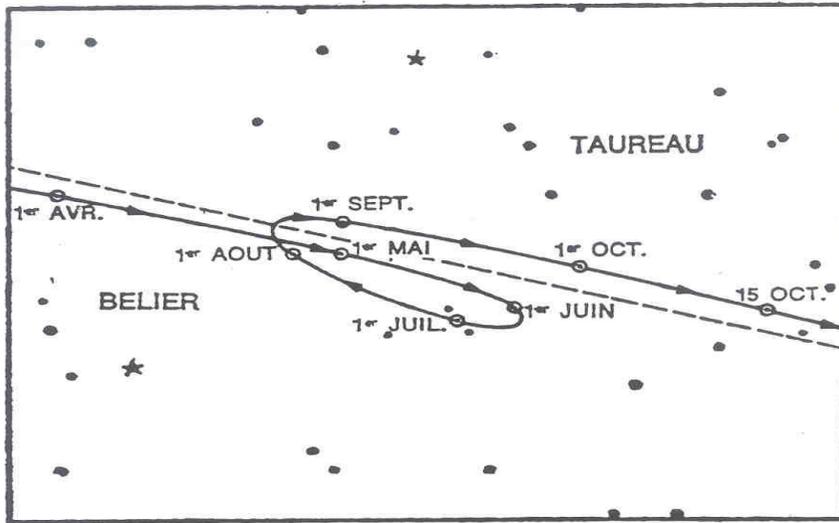
car pas de mouvement sans force !

mouvement naturel : pas de direction !

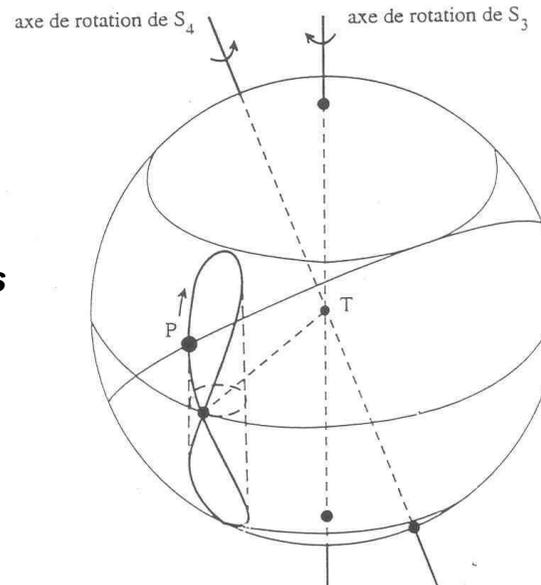
mouvement violent : serait infiniment rapide (pas de résistance du milieu)

Astronomie : les sphères concentriques d'Eudoxe

Stations et rétrogradations

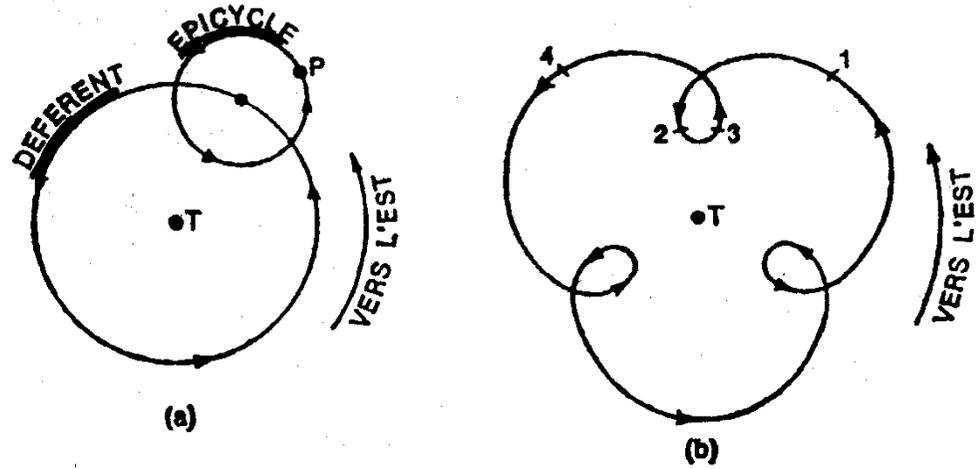


Combinaison des mouvements des sphères

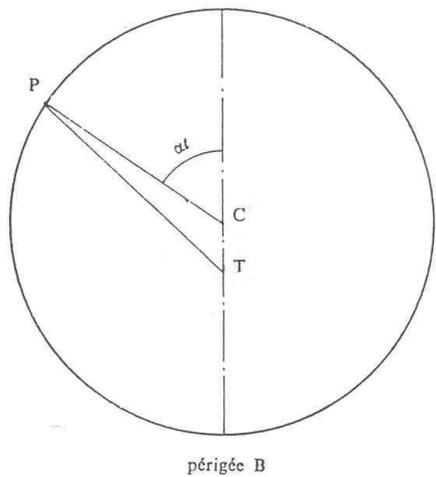


L'astronomie de Ptolémée

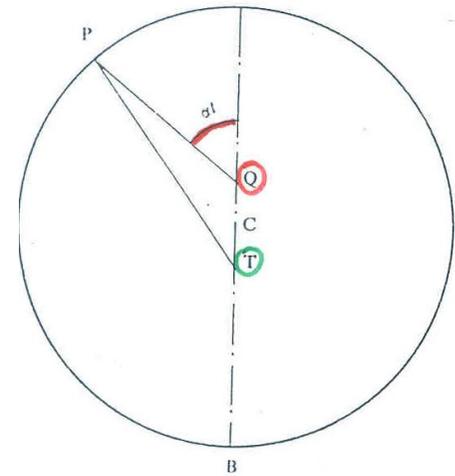
Déférent et épicycle (Hipparque)



Excentrique



Point équant



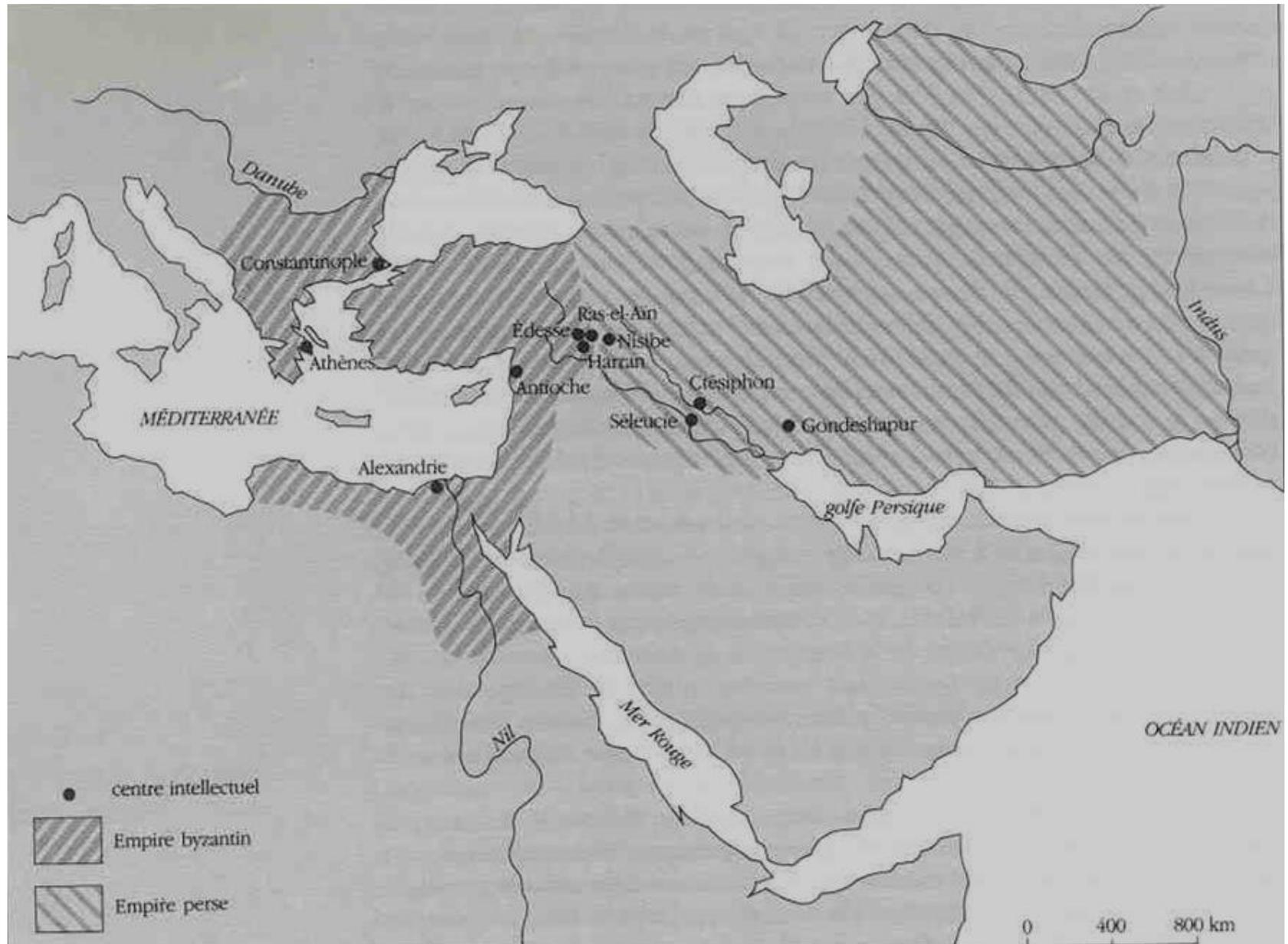
Bien souvent, l'astronome et le physicien prennent le même chapitre de la Science pour objet de leurs démonstrations; ils se proposent, par exemple, de prouver que le soleil est grand ou que la terre est sphérique.

Mais dans ce cas, ils ne procèdent pas par la même voie; le physicien doit démontrer chacune de ses propositions en les tirant de l'essence des corps, de leur puissance, de ce qui convient le mieux à leur perfection, de leur génération, de leur transformation; l'astronome au contraire les établit au moyen des circonstances qui accompagnent les grandeurs et les figures, des particularités qualitatives du mouvement, du temps qui correspond à ce mouvement.

Souvent, le physicien s'attachera à la cause et portera son attention sur la puissance qui produit l'effet qu'il étudie, tandis que l'astronome tirera ses preuves des circonstances extérieures qui accompagnent ce même effet.

Simplicius, philosophe aristotélicien, env. 500

La fin de l'Antiquité



Le moyen-âge arabo-musulman

Les Arabes ont été les maîtres et les éducateurs de l'Occident latin (...), et non seulement et simplement ainsi qu'on le dit trop souvent, intermédiaires entre le monde grec et le monde latin.

A. Koyré

Mahomet (v. 570-632) Hégire 622

Quatre premiers **califes** « **bien guidés** » : Abu Bakr, Omar, Uthman, Ali

Omeyyades 661-750 **Damas**

Conquêtes VIIs : Syrie, Perse, Égypte, Afrique (Maghreb), Espagne

Abbassides 750-1258 **Bagdad**

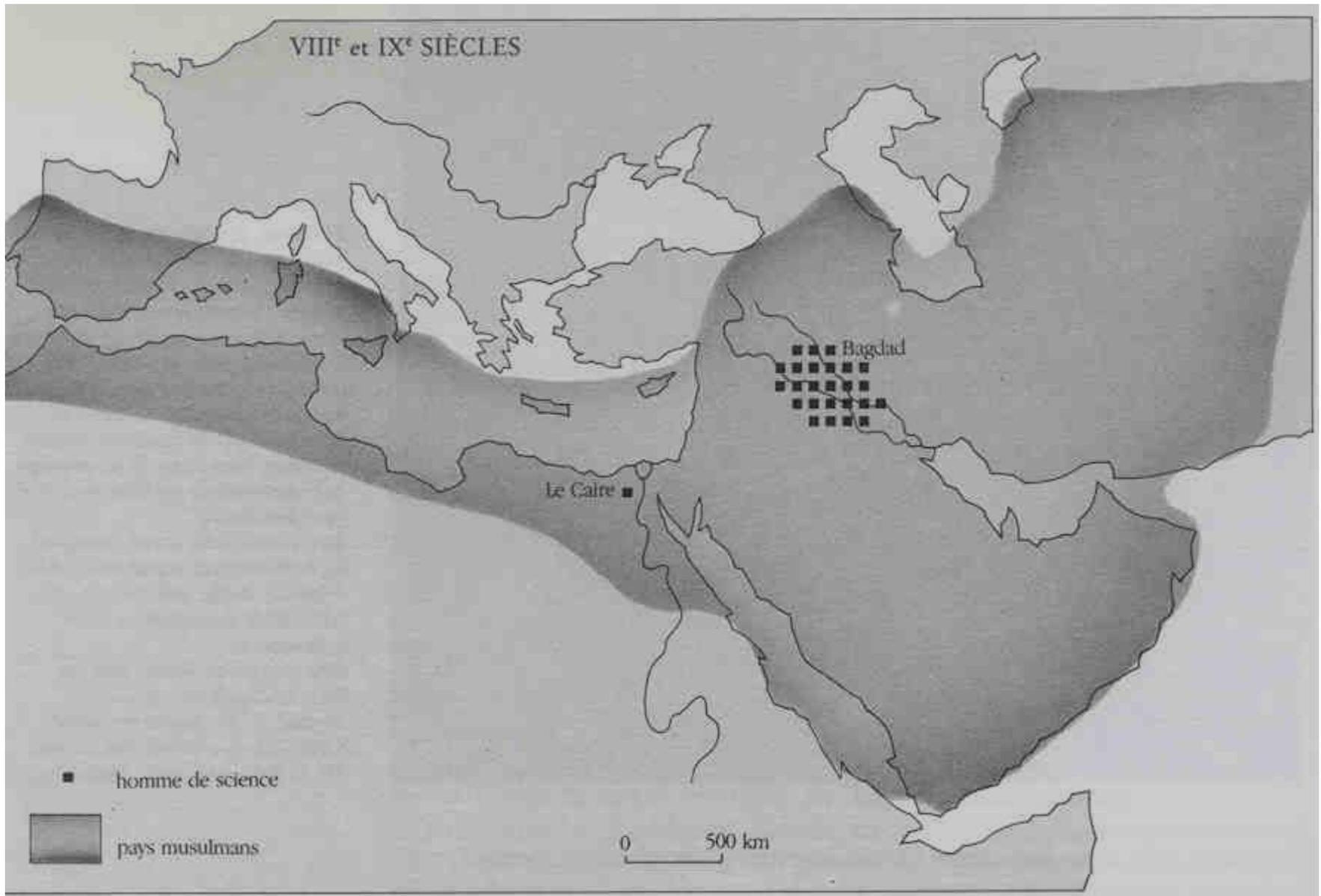
Mouvement des traductions

832 Maison de la Sagesse (al-Mamoun)

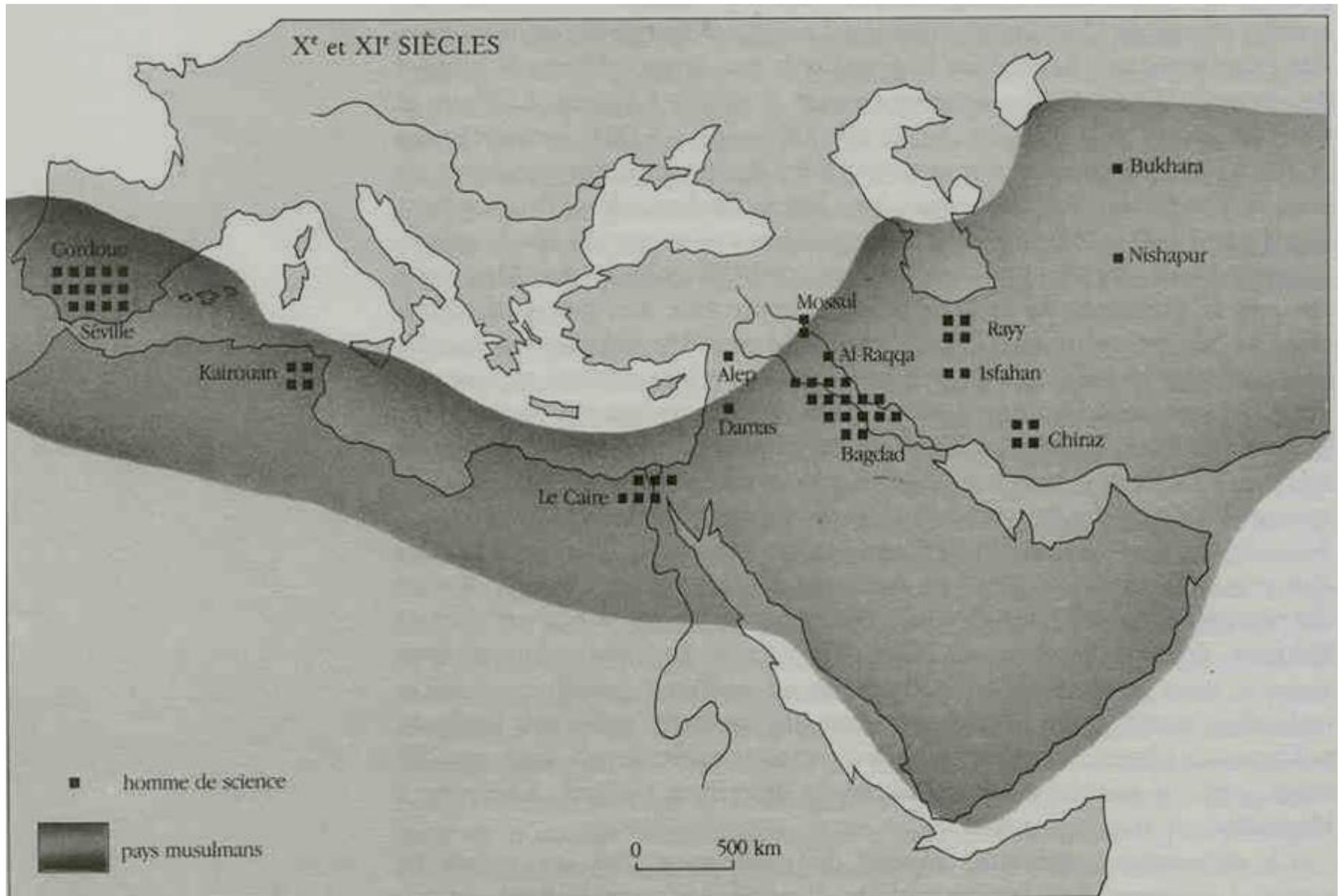
(...) Il ne suffit pas de savoir du grec pour comprendre Aristote ou Platon (...) il faut encore savoir de la philosophie.

A. Koyré

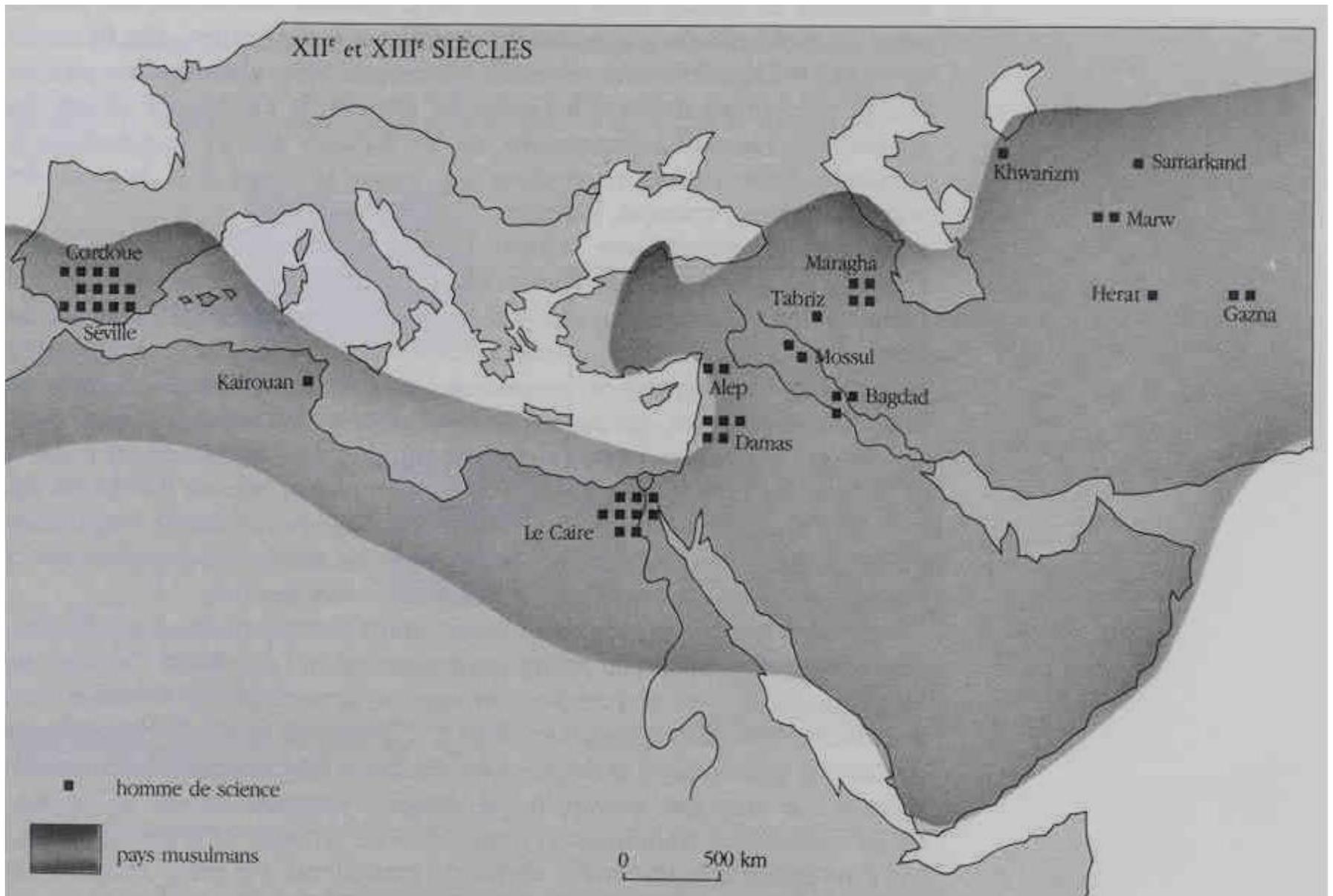
Savants et lieux de savoir



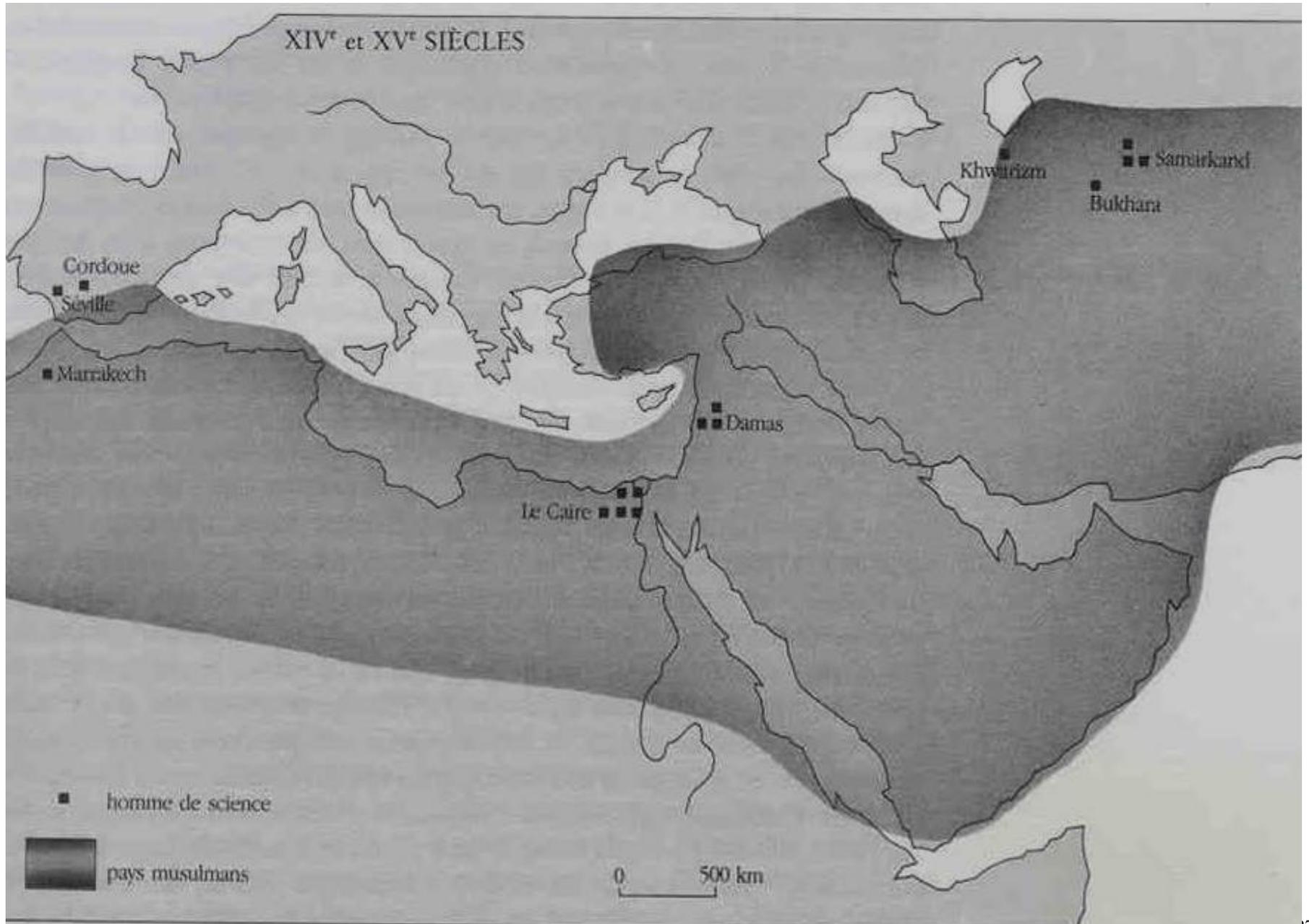
Savants et lieux de savoir



Savants et lieux de savoir



Savants et lieux de savoir



La science arabo-musulmane

Astronomie

Grèce + apports indiens

→ observatoires, instruments → tables

Mathématiques

algèbre

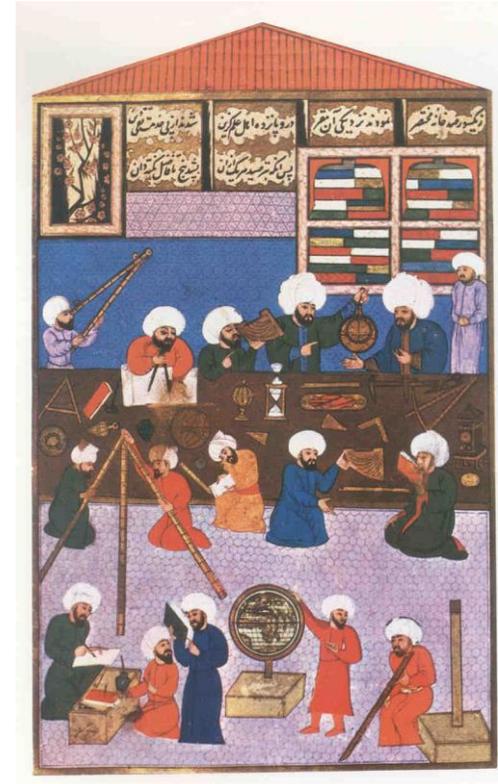
trigonométrie (sinus < Inde)

géométrie

Optique

Médecine, hygiène publique

Techniques, en particulier liées à la chimie (parfumerie, distillation, etc.), à l'irrigation, à l'agriculture



Le redémarrage médiéval

Redémarrage économique et grappe d'innovations techniques

Le chantier urbain

Les écoles cathédrales

La (re)découverte de la science antique et arabo-musulmane

L'optimisme des temps

Nous sommes comme des nains debout sur les épaules de géants, de sorte que nous pouvons voir plus de choses qu'eux, et plus loin, non parce que notre vue est plus perçante ou notre taille plus haute, mais parce que nous pouvons nous élever plus haut, grâce à leur stature de géants.

Bernard de Chartres, XI^{ème} siècle

La naissance des universités

Abélard (Paris, 1079,1142) et la **scolastique**

critique des textes, argumentation, *la raison au service de la foi.*

Facultés des Arts, de théologie, de médecine, de droit

Arts : enseignement général :

trivium : syntaxe, logique, rhétorique

quadrivium : géométrie, astronomie, arithmétique, musique

Science et foi

la philosophie chrétienne (Thomas d'Aquin)

tensions (les averroïstes latins)

condamnation de 1277

criticisme

empirisme

La naissance des universités



Thomas d'Aquin (1225-1274)





Nicolas Copernic (1473-1543)



Le système héliocentrique tellement plus simple, plus harmonieux

**« De revolutionibus Orbium caelestium »
1543**

« Il n'est pas nécessaire que ces hypothèses soient vraies, elles n'ont même pas besoin d'avoir les apparences de la vérité.

Il est suffisant qu'elles conduisent à des calculs qui s'accordent avec les résultats de l'observation. »

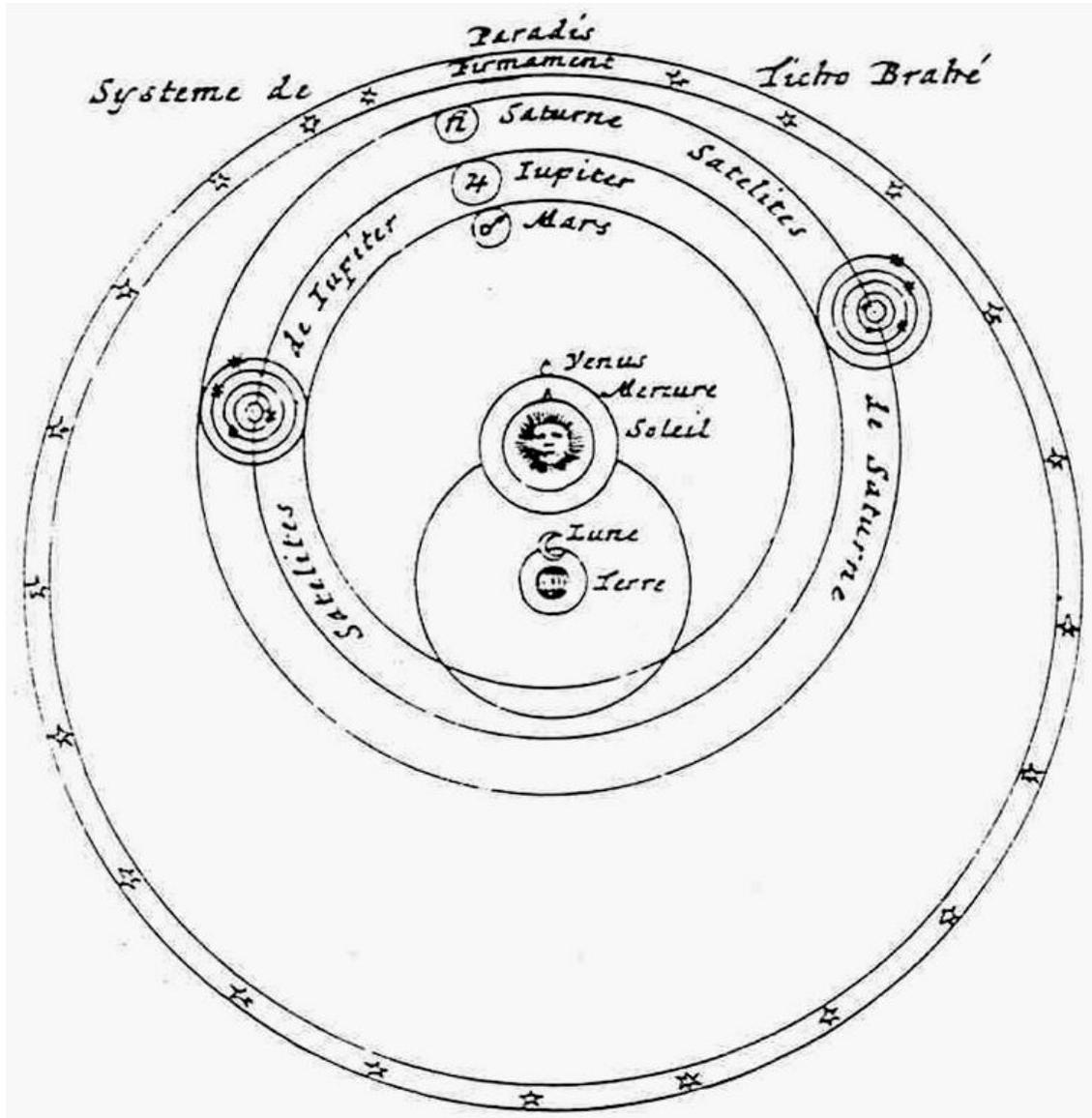
Osiander, préface anonyme au « De revolutionibus »

Tycho Brahe (1545-1601)



Observations précises
Nova

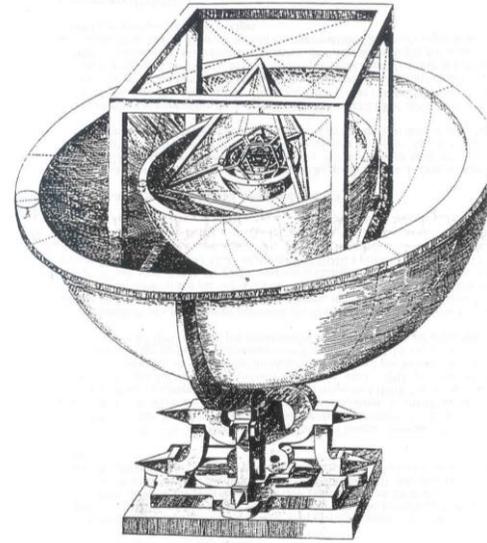
Le système de Tycho



Planètes gravitent autour du Soleil

Terre immobile (pas de parallaxe)

Johannes Kepler (1571-1630)



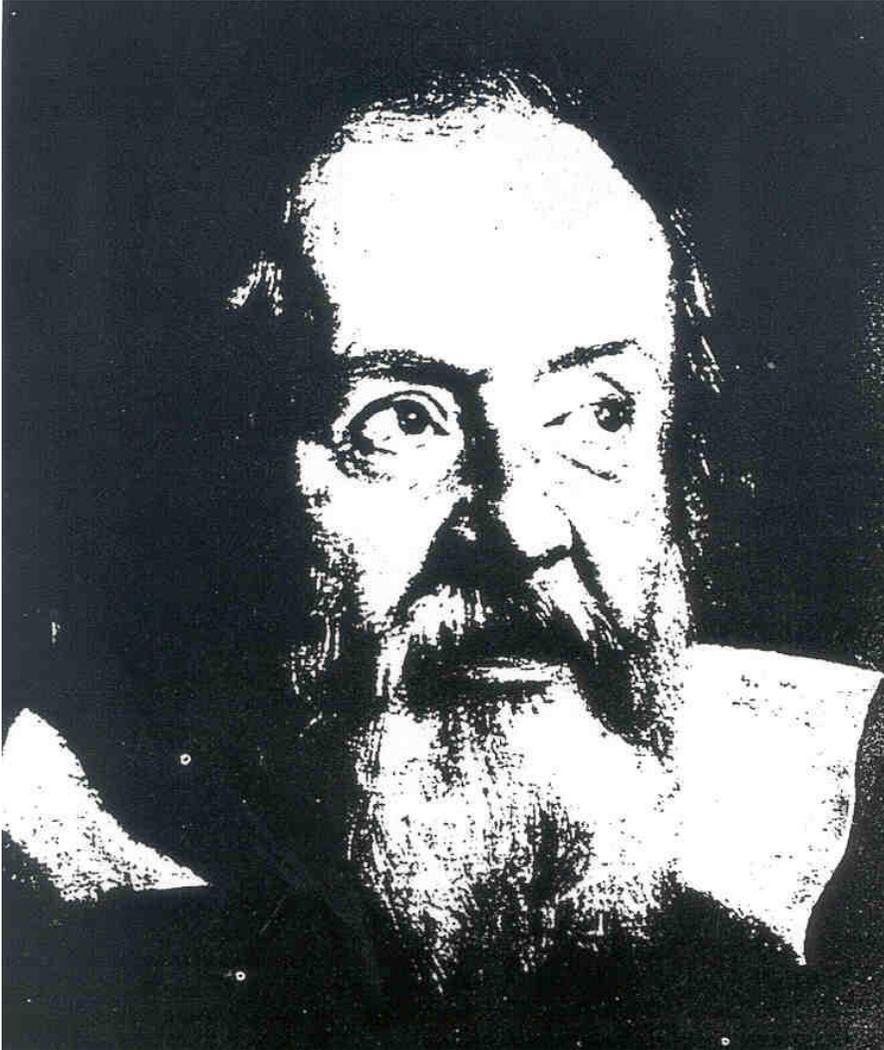
Conviction copernicienne

Primauté absolue des observations (Tycho)

Trois lois

(ellipses, lois des aires, T^2/R^3)

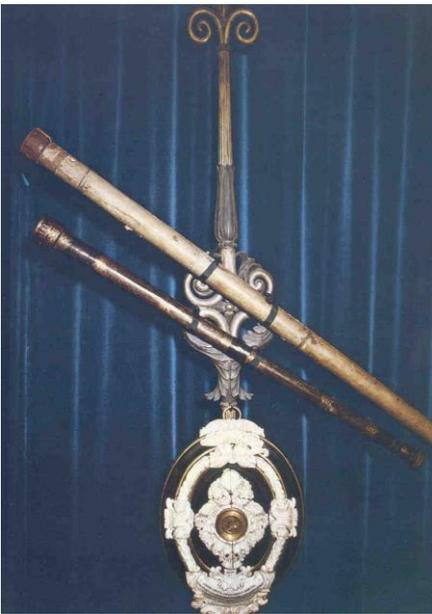
Galilée (1564-1642)



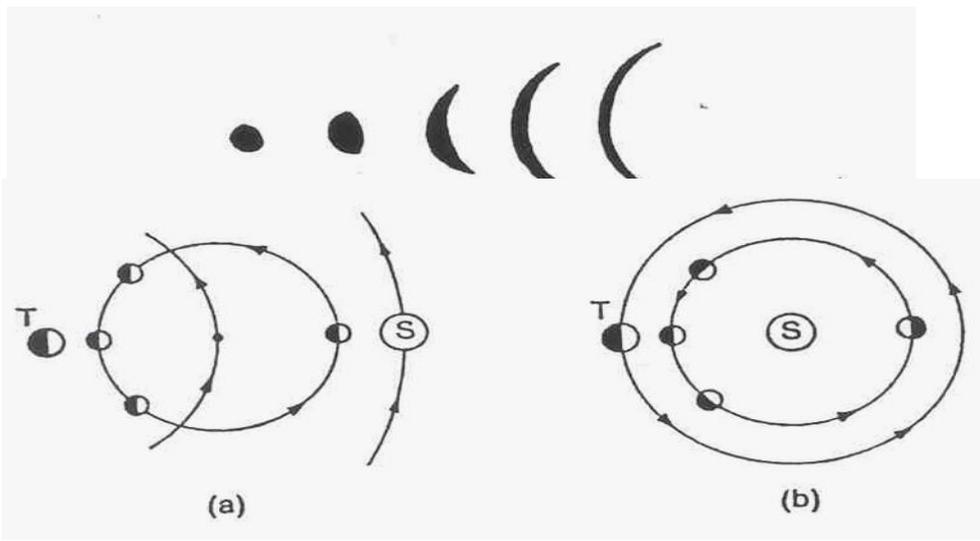
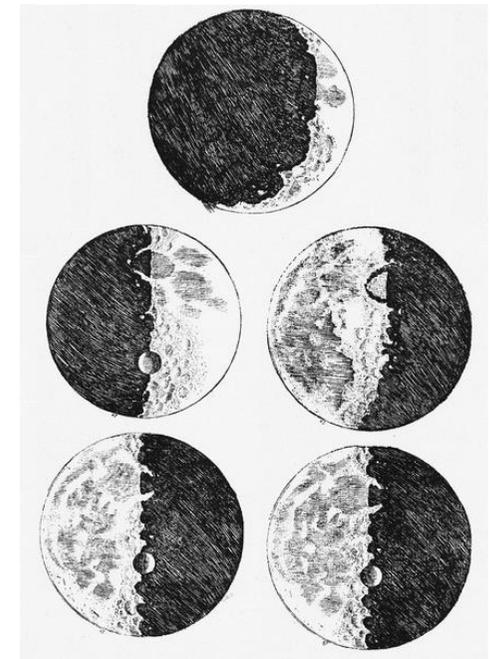
Contre Aristote et Ptolémée : le nouveau cosmos

Contre Aristote : la nouvelle physique, et la nouvelle façon de faire de la science

Contre l'Eglise : la liberté de la recherche



**1609 : la lunette contre Aristote :
cratères lunaires, satellites de
Jupiter, phases de Vénus, etc.**



1610 : le *Messenger céleste*

Les jésuites valident les observations de Galilée, mais ...

“ (...) vous et monsieur Galilée agiriez prudemment en vous contentant de présenter les choses d'une façon seulement hypothétique et non catégorique. Je crois, d'ailleurs, que c'est toujours sous cette forme hypothétique qu'avait parlé Copernic (réf. à la Préface d'Osiander).

En effet, dire : 'En admettant que la terre se déplace et que le soleil soit immobile, on tient compte de tous les phénomènes observables beaucoup mieux qu'en admettant des excentriques et des épicycles', ce sera fort bien dit, il n'y a pas le moindre danger dans cette déclaration, et elle suffit aux mathématiciens.

(Dire) au contraire que le soleil se trouve réellement au centre du monde (...) et que la terre (...) tourne avec une très grande vitesse autour du soleil (...) risque fort non seulement d'irriter tous les philosophes et théologiens scolastiques, mais aussi de nuire à notre sainte foi en faisant suspecter d'erreur l'Écriture sainte.”

Cardinal Bellarmine, Lettre à Foscarini, 1615

Copernic à l'Index 1616 : la **Contre-Réforme**

1600 Giordano Bruno brûlé vif !



1632: le *Dialogue sur les deux plus grands systèmes du monde, le copernicien et le ptoléméen*

Procès en Inquisition

1633 abjuration - condamnation

Rupture profonde entre la science et l'Eglise

Galilée a eu tort de « *refuser la suggestion qui lui était faite (par Bellarmin) de présenter comme une hypothèse le système de Copernic* ».

*Jean-Paul II, à l'Académie pontificale des Sciences,
31 oct. 1992 (in Osservatore Romano, 10 nov. 1992)*

Pourtant ...

DISCORSI
E
DIMOSTRAZIONI
MATEMATICHE,
intorno à due nuove scienze

Attenenti alla
MECANICA & i MOVIMENTI LOCALI,
del Signor
GALILEO GALILEI LINCEO,
Filosofo e Matematico primario del Serenissimo
Grand Duca di Toscana.
Con una Appendice del centro di gravità d'alcuni Solidi.

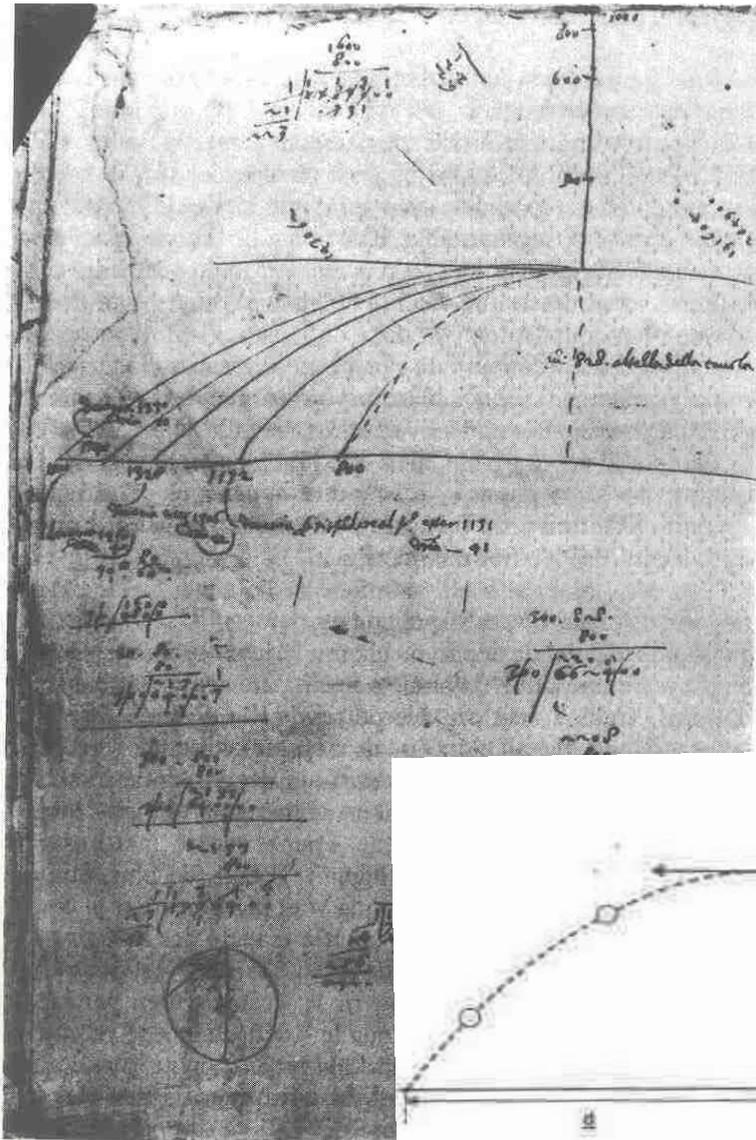


IN LEIDA,
Appresso gli Elsevirii. M. D. C. XXXVIII.
Al sig. l'Autore

1636 : *Discours sur deux sciences nouvelles*

La nouvelle physique

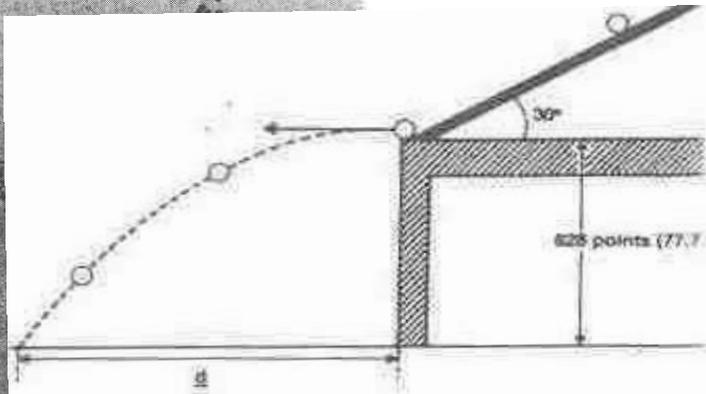
- chute des corps indépendante de leur poids
- relativité du mouvement et du repos
- principe d'inertie
- loi de la chute des corps



Une nouvelle manière de faire la science

- l'expérimentation
- les mathématiques

Le laboratoire, la mesure

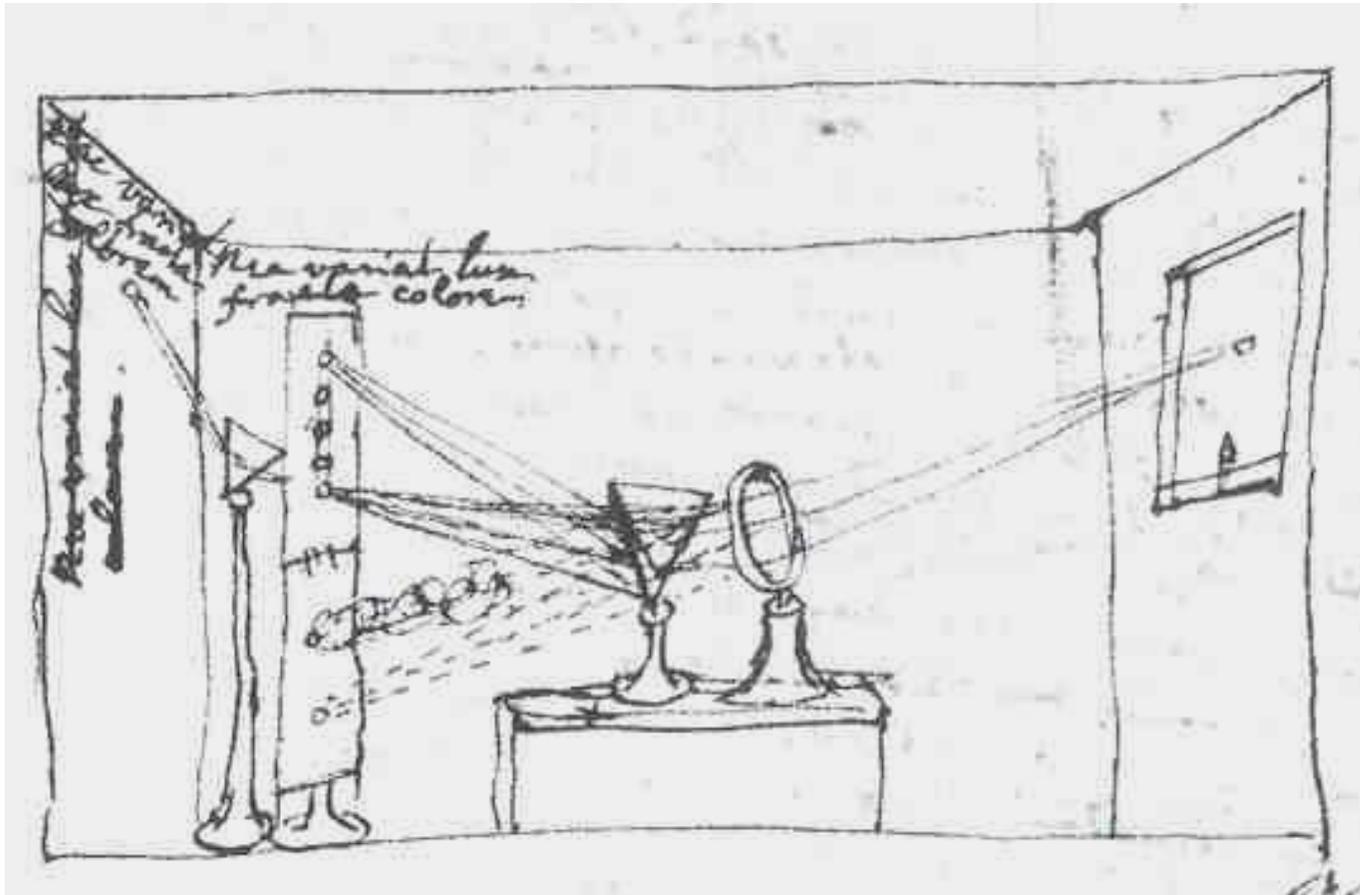


Newton (1642-1727)



1666 : *annus mirabilis*

- décomposition de la lumière blanche
- gravitation en $1/r^2$
- calcul infinitésimal



PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore *J*S. NEWTON, *Trin. Coll. Cantab. Soc.* Matheseos
Professore *Lucasiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, *Reg. Soc.* PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,

Jussu *Societatis Regiæ* ac Typis *Josephi Streater.* Prostat apud
plures Bibliopolas. *Anno MDCLXXXVII.*

1687 : *Principes mathématiques de philosophie naturelle*

« Je n'imagine pas d'hypothèses »

Je n'ai pu encore parvenir à déduire des phénomènes la raison de ces propriétés de la gravitation, et je n'imagine point d'hypothèses ('Hypotheses non fingo').

Car tout ce qui ne se déduit point des phénomènes est une hypothèse, et les hypothèses, soit métaphysiques, soit physiques, soit mécaniques, soit celles des qualités occultes, ne doivent pas être reçues dans la philosophie expérimentale.

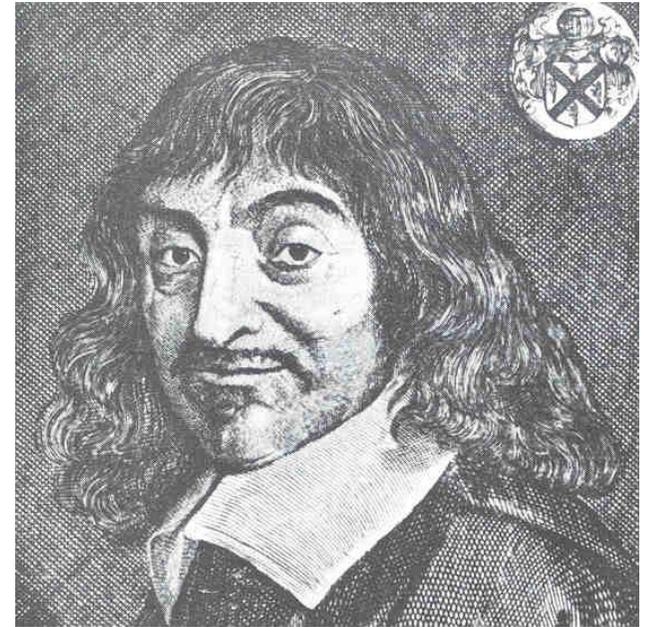
Newton, *Principia* (Scolie générale, 1687)

La « méthode scientifique »



Francis Bacon (1561-1626)

- le rôle de l'induction fondée sur l'expérimentation, la méthode empirique (« **sciences baconiennes** »)
- la science bénéfique au bien commun



René Descartes (1596-1650)

Contre les Autorités :

Ne recevoir jamais aucune chose pour vraie, que je ne la connusse évidemment être telle: c'est-à-dire éviter soigneusement la précipitation et la prévention; et de ne comprendre rien de plus en mes jugements, que ce qui se présenterait si clairement et si distinctement à mon esprit, que je n'eusse aucune occasion de le mettre en doute.

Descartes, Discours de la Méthode, 1637

« Une nouvelle intelligibilité »

« La science venait de conquérir la notion de phénomène (...)

En renonçant à connaître l'essence des choses, elle s'allégeait d'un poids considérable.

Par le fait même, elle devait formuler à son usage un type d'intelligibilité que les Anciens n'avaient même pas soupçonnée. Jusqu'alors, une vérité était intelligible quand on pouvait y voir un reflet de l'en-soi : idée platonicienne ou essence aristotélicienne, qui nous emmenait hors du monde des apparences. (...)

Désormais, la vérité scientifique se définira sur le plan même du phénomène comme l'organisation des apparences par un système de lois, l'en-soi étant ce qu'il voudra.

(...) Il s'agit déjà d'une révolution capitale. Elle entraîne une nouvelle définition de la causalité scientifique. Pour la science, la cause d'un phénomène se sera plus jamais un en-soi métaphysique qui « l'engendre », selon la vieille métaphore biologique d'Aristote, mais un autre phénomène qui se trouve lié à lui par un rapport constant. (...)

Et cette notion de la cause comporte à son tour une nouvelle définition du donné. (...)

Désormais le savant prend comme un fait le donné empirique sans avoir à se demander d'où il vient. Roberval, dans son *Traité de Mécanique* (1636) est le premier à proposer un ensemble de théorèmes sur la composition des forces. Mais qu'est-ce qu'une force ? L'illustre mathématicien ne s'en soucie pas plus que de savoir ce qu'est « en lui-même » le système du monde; il représente les forces par des vecteurs orientés. »

R.P. Lenoble, in: *Histoire de la Science*

Le monde de la précision

Il se peut que le sens profond et le but même (...) de toute la révolution scientifique du XVIIe siècle (...) soient précisément de supprimer le monde du “plus ou moins”, le monde des qualités et des perceptions sensibles, le monde quotidien de l’approximatif, et de le remplacer par l’univers (archimédien) de la précision, des mesures exactes, de la détermination rigoureuse.

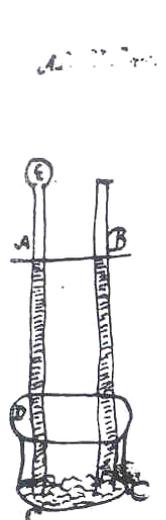
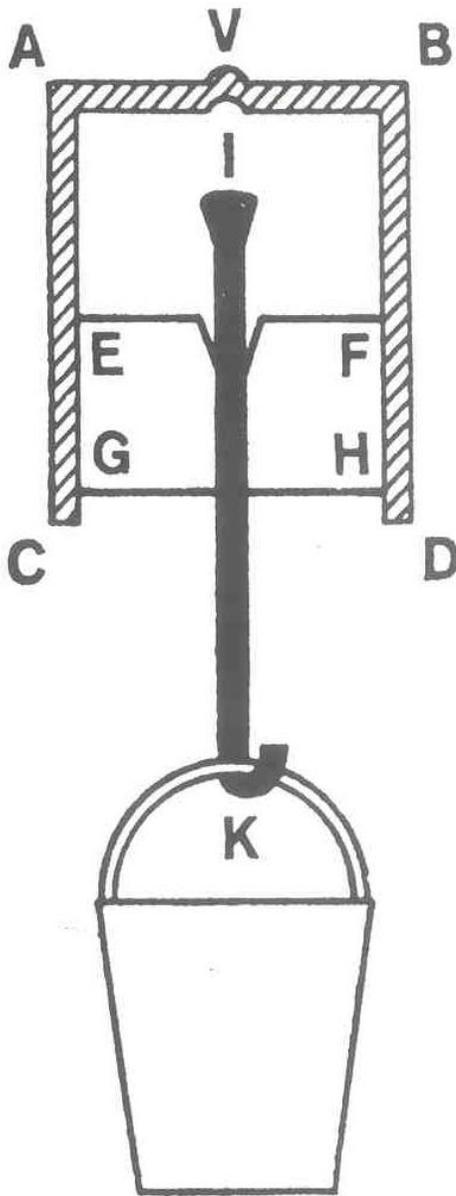
A. Koyré, *Etudes newtoniennes*

Faire de la physique dans notre sens du terme (...) veut dire appliquer au réel les notions rigides, exactes et précises des mathématiques, et, tout d’abord, de la géométrie. Une entreprise paradoxale s’il en fut, car la réalité, celle de la vie quotidienne, au milieu de laquelle nous vivons et nous sommes, n’est pas mathématique. Ni même mathématisable. Elle est le domaine du mouvant, de l’imprécis, du « plus ou moins », de l’« à-peu-près ».

Il est ridicule de vouloir mesurer avec exactitude les dimensions d’un être naturel: le cheval est sans doute plus grand que le chien et plus petit que l’éléphant, mais ni le chien, ni le cheval, ni l’éléphant n’ont de dimensions strictement et rigidement déterminées.

A. Koyré, *Études d’histoire de la pensée scientifique*

Le vide : de la philosophie à l'expérimentation



Lettera del Signor Torricelli

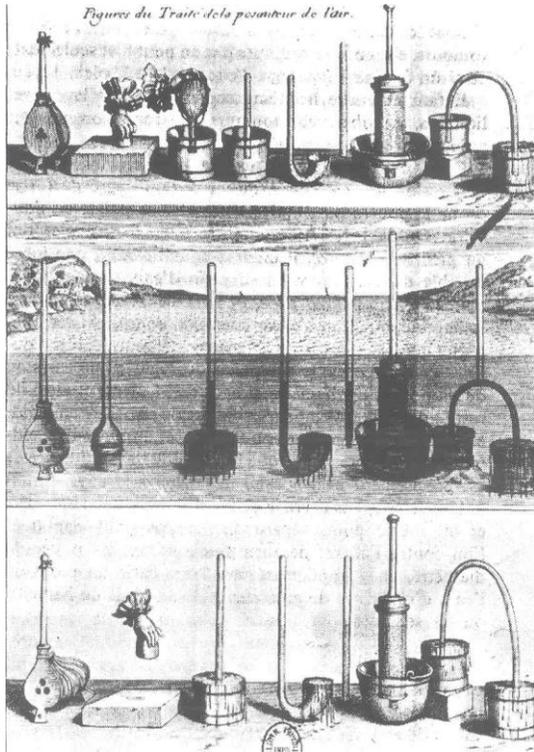
Non habbiamo fatto molti Vasi di vetro, et uno come i Signori A. questo e di collo lungo due Braccia quattorze piedi d'argento vivo poi si con un dito la bocca si rivoltati in basso dove sia l'argento vivo C, si volarsi, et non si muove niente nel Vaso che di botto il collo pieno d'aria sempre pieno fin all'altrezza di un braccio e $\frac{1}{4}$ di un dito di piu. poco mo, huor poi che il Vaso fosse perfettamente vuoto, si riempia la matto sotto tutta d'acqua fino D, et alzando il Vaso a poco a poco, si vede quando la bocca del Vaso arriva all'acqua, si spinta quell'acqua vivo del collo, et riempirsi con impeto horribile d'acqua fin' ad esser affatto.

Il discorso si fanno mentre il tubo AE stava vuoto, et l'argento vivo si sosteneva ben che gravissimo nel collo AC; dove per forza che se quel argento vivo senta la sua naturale legge di andare quì si si fini ad esso che sia stata in terra nel Vaso d'E, o di vacuo, o di quell'robba sommamente rarefatta, ma se pretendo che ella si spinta, la forza viene di fuori. Su la superficie del liquore che si rimaneva quanto l'altrezza di soo miglia d'aria, più quel mare et se nel Vaso CE, dove l'argento vivo non ha inclinazione ne ripugnanza, et non soffia nulla dentro, et si sinagli si tanto. equilibri con la gravita del aria, et non che lo contenga. L'acqua in un Vaso simile ma molto piu lungo salira quasi fin' a 18 di cio e tanto piu del argento vivo, quanto l'argento vivo e piu grave acqua per equilibriarsi con la medesima ragione che spinge l'aria. Et si chiama il discorso l'esperienza fatta nel medesimo. nel Vaso A, et col la canna B, nei quali l'argento vivo si fa sempre nel medesimo horizonte A B, sono quelle robe che i nostri non ha detto, et che per forza gravitate hanno il Vaso

Blaise Pascal (1623-1662)



1646 - *Traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de l'air* (v. 1651)



La grande expérience de l'équilibre des liqueurs (1648)

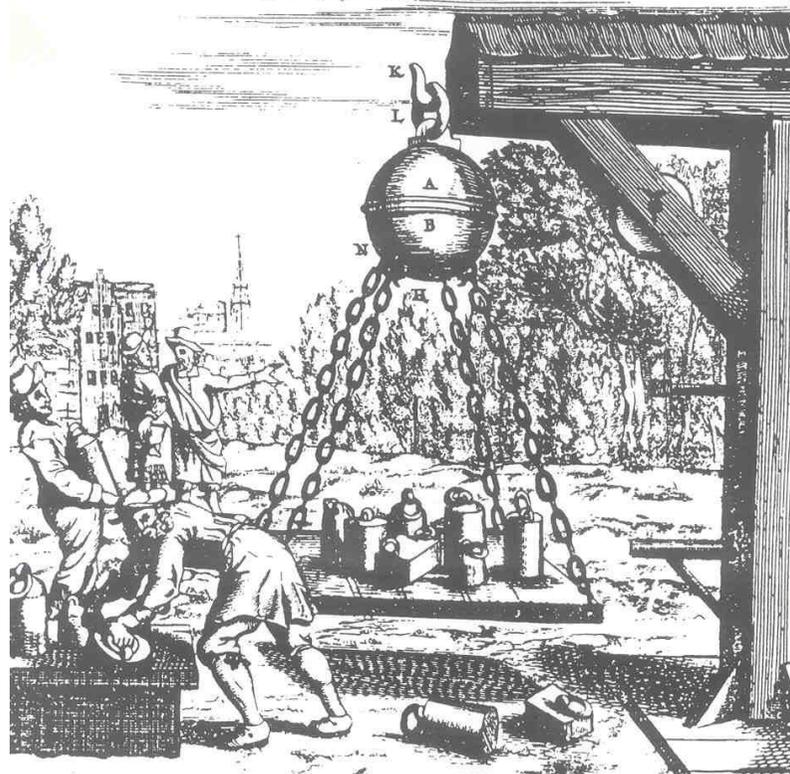
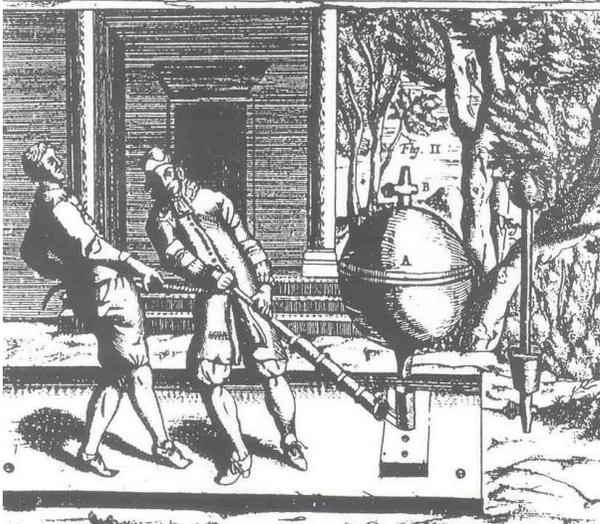


*Polémique avec le Père Noël; Descartes*⁵³

Otto von Guericke (1602-1686)



La pompe de Guericke (v. 1647)

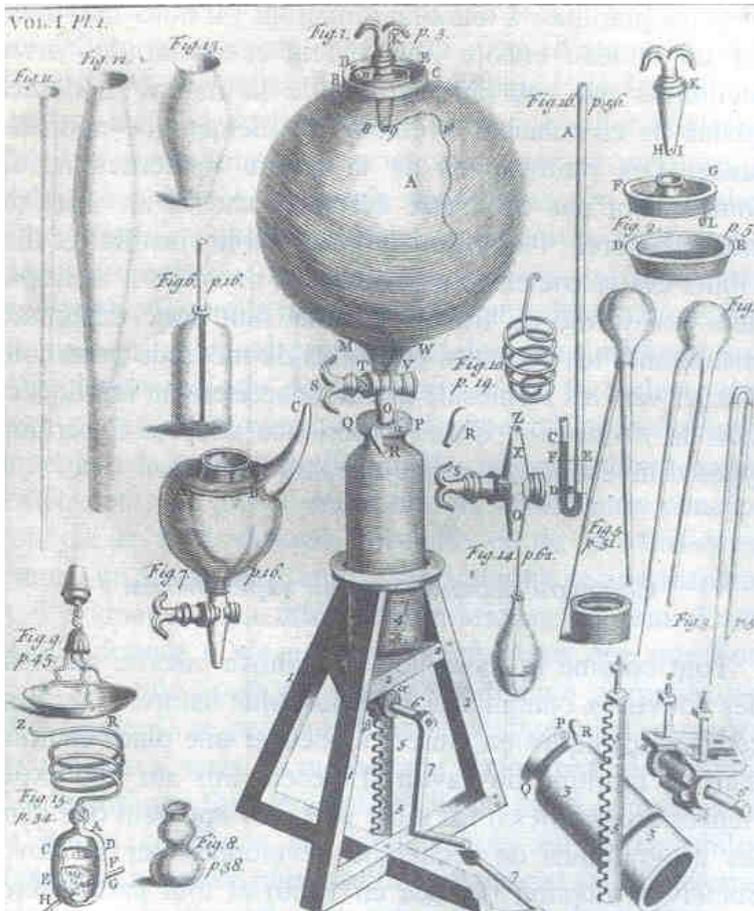
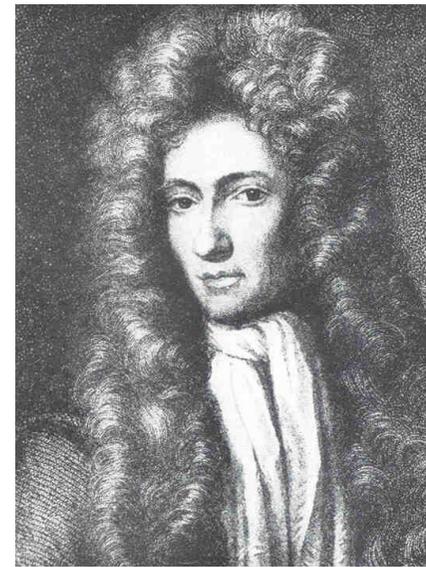


L'expérience de Magdebourg (1657)



Robert Boyle (1627-1691)

Les perfectionnements de la pompe
Christian Huygens (1629-1695), Robert Hooke
(1735-1703), Robert Boyle



La position « philosophique » de
Hobbes

« Boyle n'était pas "vacuiste" (...) Il n'était pas non plus "pléniste" (...) Ce qu'il s'efforçait de créer, c'était un discours philosophique de la nature, dans lequel de telles questions n'avaient pas à être posées. La pompe à air ne permettait pas de décider si un vide "métaphysique" existait ou non. Ce n'était pas là un défaut de la pompe; c'était au contraire une de ses forces. »

S. Shapin et S. Schaffer,

Léviathan et la pompe à air

(L'enjeu pour Boyle était de définir) « une nouvelle manière de travailler, de parler, de nouer des relations sociales entre philosophes de la nature.

Aux yeux de Boyle et de ses collègues, (...) les divergences étaient sans conséquences, voire même fécondes et nécessaires (à l'intérieur) d'une frontière essentielle construite autour des pratiques de la nouvelle forme de vie expérimentale.

Les dissensions impliquant une violation de cette frontière (...) étaient quant à elles jugées fatales. »

S. Shapin et S. Schaffer, *ibid.*

La recherche expérimentale

XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècles : *expérimentation systématique*

1) *Tous les domaines*

physique (astronomie, optique, pneumatique, magnétisme, électrostatique, calorimétrie) ;
chimie ; physiologie (circulation du sang); biologie ; explorations géographiques;
géologie ; cristallographie

2) *description quantitative*, sur le modèle newtonien

- physique : optique (Newton); élasticité (Hooke); magnétisme (Gilbert); électrostatique (von Guericke); calorimétrie
- chimie : mesure des *affinités* (Newton)

3) *instruments*

lunette et télescope ; thermomètre ; baromètre ; horloges ; microscope , ...

4) *et mathématiques !*

géométrie analytique ; calcul différentiel et intégral ; trigonométrie ; probabilités ; analyse ;
mécanique et mécanique céleste

Savants et institutions scientifiques au XVII^{ème} s.

Renaissance

le *mécénat* princier

1^{ère} moitié du XVII^{ème} s.

des *esprits curieux* et indépendants

Le R.P. Marin Mersenne



2^{ème} moitié du XVII^{ème} s.

Académies

1660 : Royal Society de Londres

1666 : Académie royale des Sciences :

1700 : Académie de Prusse

1724 : Académie de Saint-Pétersbourg

Journaux scientifiques

Philosophical Transactions (1665), Journal des Savants (1666), Acta Eruditorum (1682, Leipzig), Journal de Trévoux (1701, jésuites), Comptes-rendus de la Royal Society et de l'Académie des Sciences

XVIII s. : multiplication et spécialisation

XVIII^{ème} siècle : de la vogue mondaine à la science professionnelle

salons aristocratiques ou bourgeois

« cabinets de curiosité »

vulgarisation

traités « pour les dames »

1751 L'« *Encyclopédie* » de Diderot et d'Alembert

1752 *Encyclopedia Britannica*

fin du XVIII^{ème} siècle

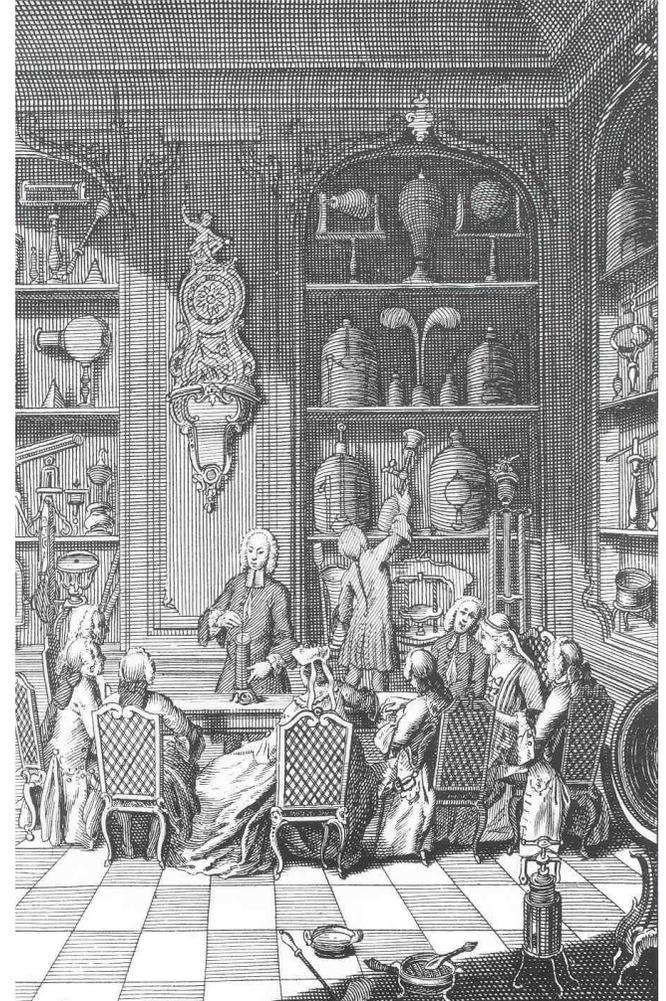
académies militaires et écoles d'ingénieurs

- la Révolution française et l'Empire

Les savants au service de la Patrie; l'École Normale, l'École Polytechnique

- l'université allemande « *humboldtienne* » du XIX^{ème} siècle

W. von Humboldt, Université de Berlin, 1810



Aux origines de la chimie

Teniers, *L'alchimiste*



Paracelse (1493-1541)

AVREOLVS PHILIPPVS THEOPHRASTVS PARACELSVS, EX
 Der hochgeleret vnd tiefcsinnig natur-
 kundiger Philippus Theophrastus von Hohenham, beider Arczeneien Doctör

Inuentum medicina meum Paracelsus: regent.
 Me quoque sacrorum hoc sacra scripta probant.
 Geboren im Jahr. 1493

11	24	7	20	3
4	12	5	8	10
17	5	15	21	0
10	18	1	14	22
23	6	10	2	15

13	8	12	1
2	11	7	14
3	10	6	15
16	5	9	4

Aus seinen propheceien
 Der doctör vns sein reicheit hat
 Einmugigliche in seltē en nutz
 Alle pater vnsen guldē ringe
 Vnd edlen nareg silber dingē
 Sticht in dem schymeltheil
 In der vordich kan er bracht
 Vns lereit über manen waffe
 Der riber stuch gleich omē ge
 In d langebacht mees siben
 Z eracht sein her, vnsucht
 vnd kofp

Auf die gegengengē
 Dsch meinē der key so lere
 Werden die als d hant er lere
 Was geoffen si all manē hant
 Der gewalt leidet aus vngut
 Die waret gehen wirt an tag
 Was si in ir allere vermag
 Terrenē wirt siltē artē
 Dersu all gubē stengelē
 Dersu all gubē stengelē
 Beside vns Ere vnd lere
 vns lere

OMNE DONVM PERFECTVM A DEO: IMPERFECTVM VERO A DI·BOLO

Epitaphium eius apud Saburiam Nescimus apud Saburiam, ad templum eius erexitur, hunc inscriptionem.

CONDITVR HIC PHILIPPVS THEOPHRASTVS IN SIGNIS MEDICINAE DOCTOR, QVI DIRA ILLAVLNERA LEPRAM, PODAGRAM, HYDROPSIM, ALIAQVE INSANABILLA CORPORIS

Ob er in heiliger Schrift, studiere,
 Wird aus sein buchereit gubē probiere,
 Das aus sein key vns lere
 Lere, lere, Theologen, vnd lere
 Was nur in himmel vnd irden ist
 Was d' dieser Doctör z' aller frist
 Dieh war er sein der choneit
 Die man ihn hant lere aus vngut

Aux origines de la chimie

Savoirs pratiques

Science grecque et hellénistique :

les quatre éléments d'Empédocle

L'alchimie

Alexandrie début ère commune

corpus grec + influences orientales + gnose

hemétisme : Hermès Trismégiste); initiation; secret

Transmutation – aussi **spiritualité** opération matérielle et spirituelle

Correspondances ; 4 éléments + 2 principes

Arabes : VIII^{ème} siècle : Jabir ibn Hayyam (Geber) ; « Frères de la Pureté » (shiites).

Mais Rhazès et Avicenne

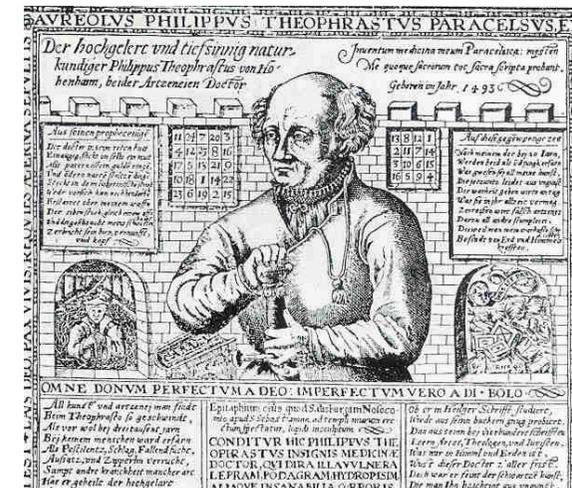
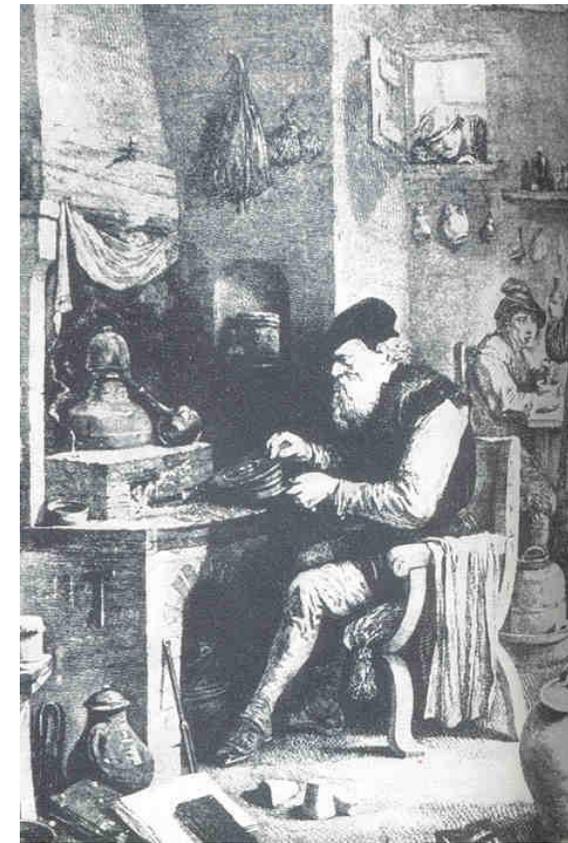
+ nombreuses techniques (calcination, distillation, sublimation, alambic, préparation de l'alcool et de l'acide nitrique, etc.).

Passage en **Occident** au XII^{ème} siècle

Renaissance :

- diffusion de *l'hermétisme*
- chimie pratique
- Paracelse

Paracelse (1493-1541)



La chimie des gaz; la combustion

Avant 1700 : 12 corps simples connus (antimoine, argent, arsenic, carbone, cuivre, étain, fer, mercure, or, phosphore, plomb, soufre)

XVIII^{ème} siècle : 21 corps simples supplémentaires, en particulier gaz

Jean-Baptiste Van Helmont
(1577-1644)



Joseph Priestley
(1733-1804)



La combustion

Stahl

phlogistique

Lavoisier

analyse et synthèse de l'eau
combustion = fixation d'oxygène
balance

-> phlogistique disparaît
(*principe de parcimonie*)

Lavoisier (1743-1794) et son épouse



La fondation de la chimie moderne

Un nouveau paradigme

- ✓ cadre théorique
- ✓ outillage méthodologique (la méthode expérimentale) et instrumental (balance)
- ✓ nouvelle nomenclature (une « novlangue »)
- ✓ - une équipe (Berthollet, Fourcroy, Guyton de Morveau, ...)
 - son organe : les *Annales de Chimie*
 - son outil d'enseignement : le *Traité élémentaire de Chimie*
- ✓ soutien de « l'opinion publique » (expériences spectaculaires)
- ✓ programme de recherche

Extraits de la *Méthode de nomenclature chimique* (1787)

« *Noms anciens*

Noms nouveaux

Acide du soufre

Acide vitriolique

Huile de vitriol

Eſprit de vitriol

Alkali végétal caustique

Alkali volatil caustique

Diane

Lune

Argent

Eſprit de ſel

Eſprit de vin

Kermès minéral

Orpiment

Oxigine

Base de l'air vital

Principe acidifiant

Phlogiſtique

ſafran de Mars

Acide ſulfurique

Potaſſe

Ammoniaque

Argent

Acide muriatique oxigéné
(futur acide chlorhydrique)

Alcohol

Oxide d'antimoine ſulfuré rouge

Oxide d'arsenic ſulfuré jaune

Oxigène

Principe hypothétique de ſtahl

Oxide de fer [...]»

Tout ce qu'on peut dire sur le nombre et sur la nature des éléments se borne suivant moi à des discussions purement métaphysiques; ce sont des problèmes indéterminés, susceptibles d'une infinité de solutions, mais dont il est très probable qu'aucune en particulier n'est d'accord avec la nature.

(...) nous attachons au nom d'éléments, ou de principes des corps, l'idée du dernier terme auquel parvient l'analyse.

(Toutes) les substances que nous n'avons encore pu décomposer par aucun moyen sont pour nous des éléments; non pas que nous ne puissions assurer que ces corps que nous regardons comme simples ne soient eux-mêmes composés de deux ou même d'un plus grand nombre de principes, mais puisque ces principes ne se séparent jamais, ou plutôt puisque nous n'avons aucun moyen de les séparer, ils agissent à notre égard à la manière des corps simples, et nous ne devons les supposer composés qu'au moment où l'expérience et l'observation nous en auront fourni la preuve.

Lavoisier, *Traité élémentaire de Chimie*, 1789

“(La chimie est) en attente (du) nouveau Paracelse (qui opérera) une révolution qui placerait la Chymie dans le rang qu’elle mérite, qui la mettrait au moins à côté de la physique calculée.

(...) Se trouvant dans une position favorable et profitant habilement des circonstances heureuses, (il) saurait réveiller l’attention des savants, d’abord par une ostentation bruyante, par un ton décidé et affirmatif, et ensuite par des raisons, si ses premières armes avaient entamé le préjugé.”

Venel, article *Chymie* de *L’Encyclopédie*

La chimie, science reine du XIXème siècle

Le programme lavoisien

La chimie industrielle

appuyée sur le milieu académique
la Révolution et l'Empire

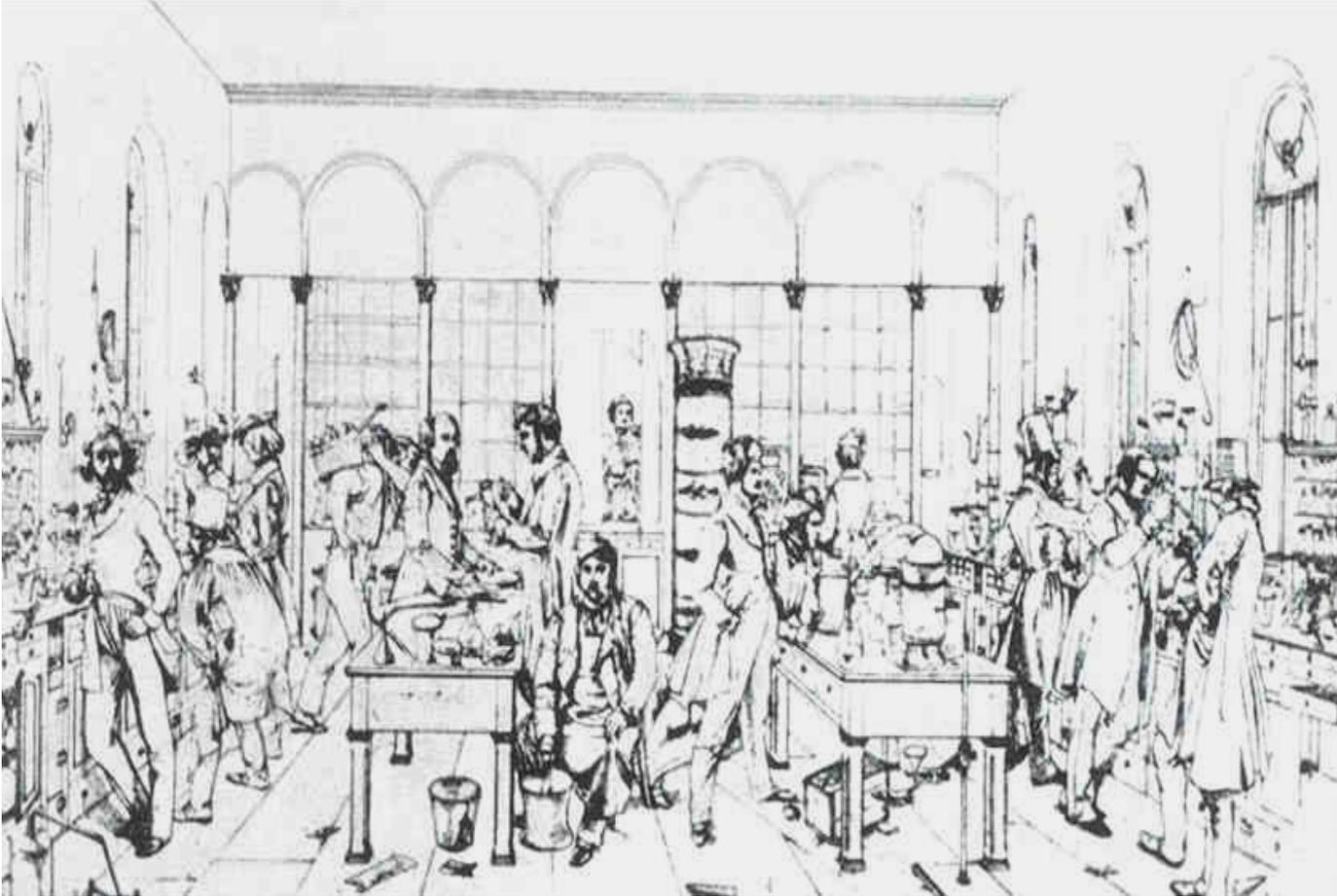
La chimie organique

synthèse de l'urée (1828), de l'acétylène, du benzène
débat !!!
développements industriels (colorants, etc.)

Une science *positive*, l'enthousiasme scientifique

L'université humboldtienne

(A. von Humboldt)



Le laboratoire de Liebig

Le débat de l'atomisme

L'atomisme antique

Leucippe, Démocrite, Epicure, Lucrèce
Galilée, Gassendi, Newton, Boyle, ...

L'atomisme moderne

1802 Proust (réactions // mélanges)

1805 **Dalton** : hypothèse atomique

1808 Gay-Lussac (loi des gaz)

1811 hypothèse **d'Avogadro**

1819 Dulong et Petit (chaleurs spécifiques)

1819 Mitscherlich (cristaux)

1833 Faraday (électrolyse)

... **mais problème indéterminé** : masses + formules
hypothèses douteuses + isotopes +

John Dalton
(1766-1844)



Amedeo Avogadro
(1776-1856)



-> anti-atomisme « **positiviste** » - « pas d'hypothèses métaphysiques ! » (Berthelot)

Hypotheses non fingo, disait Newton; ce qui signifie que la Science doit être formulée par des lois et non par des hypothèses. En effet, les lois peuvent être proposées, discutées, établies d'une manière définitive; elles sont alors le fondement solide d'une science qui se développe sans cesse, suivant des formules et un langage acceptés de tous.

Eh bien! c'est cette situation heureuse que la Chimie n'a pas encore réussi à réaliser, comme l'ont fait la Physique et l'Astronomie.

Certes la chimie, elle aussi, possède des lois, des vérités générales, aussi nettes, aussi bien établies que celles des astronomes et des physiciens. Mais diverses personnes refusent de prendre ces lois comme le point de départ de notre science, et sa seule base légitime.

M. Berthelot, 1877

Le triomphe de l'atomisme

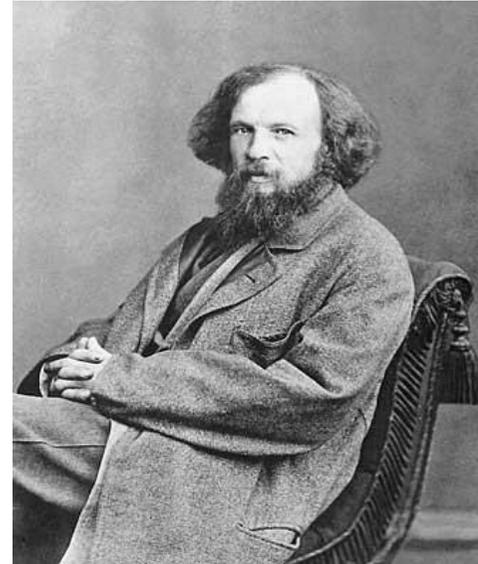
Années 1860

- progrès de la **chimie organique**
besoin de la clarifier les formules et la nomenclature !
- débuts de la **chimie structurale** :
chiralité des sucres (Pasteur) ; structure du benzène (Kekulé - 1866)

1860 Congrès de Karlsruhe

1869 Mendeleïev

Mendeleïev (1834-1907)



- modèles des physiciens (Maxwell, Boltzmann)
mécanique statistique

Réaction : l'énergétisme (Ostwald, Mach, Duhem, ...) : positivisme + spiritualisme

Le triomphe de l'atomisme

1911 J. Perrin, *Les Atomes*

13 « mesures » concordantes

– et pourtant chacune entachée de grandes incertitudes théoriques !!!

Histoire de la Terre et de la Vie

Biologie, géologie, paléontologie;
théorie de l'évolution

Des savoirs très anciens...

Aristote

systematique zoologique
biologie fonctionnelle
+ botanique (Théophraste)

La médecine

Hippocrate de Cos (-V,-IV s.) une approche + empirique

Alexandrie Hérophile, Erasistrate : experimentation

Rome : Galien (131-200) théorie des **quatre humeurs**

Les « Arabes »

Hunayn, Rhazès, Avicenne, Maimonide, etc. etc.

ophtalmologie, chirurgie, usage d'anesthésiques, soin apporté au diagnostic (fièvre, pouls, urines) et recueils de cas cliniques, hygiène, hôpitaux, pharmacies, découverte de la petite circulation (cœur-poumons), ...

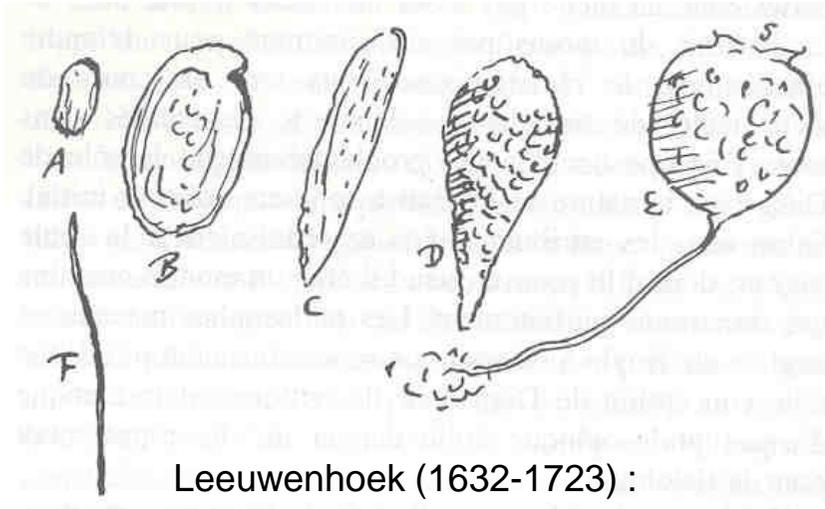
La Renaissance: de nouveaux mondes

les grandes découvertes géographiques

le monde microscopique

les mondes éteints

Le microscope

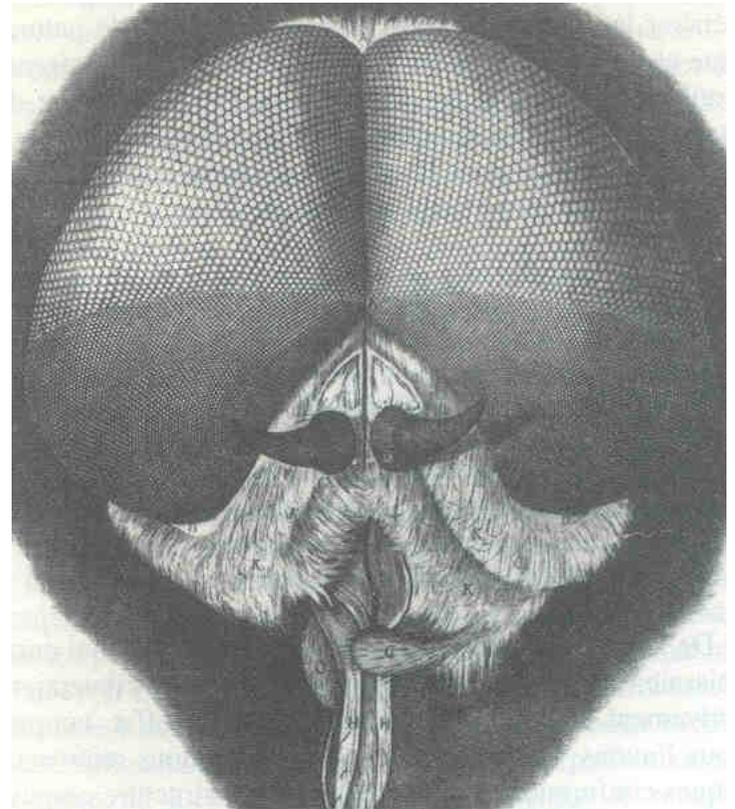


Leeuwenhoek (1632-1723) :

Noyau cellulaire, protozoaires,
spermatozoïdes

Hooke (Microscopia; 1665)

les yeux de la mouche, cellules (1665)



Swammerdam : dissections d'insectes au microscope;
globules rouges

M. Malpighi : étudie les tissus (histologie); embryologie
du poulet; capillaires

⁷⁶
N. Grew : sexualité des plantes

La classification des espèces

Qu'est-ce que les espèces ?

Les espèces existent-elles ? Et les ordres supérieurs ?

Le *nominalisme*

Définition des espèces

Pourquoi classer ?

pour identifier

pour découvrir l'« ordre de la nature »

La classification des espèces

XVI-XVII s: notamment botanistes



Linné (1707-1778)



Buffon (1707-1788)

Géologie et paléontologie

Tradition

histoire courte, catastrophes (Déluge)

Renaissance

roches sédimentaires et volcaniques
discussions sur les fossiles

XVII^{ème}

débats sur origine et structure de la Terre
strates (Sténon)
stratigraphie <-> paléontologie

XVIII^{ème}

catastrophisme (Werner) ou actualisme (Hutton, Buffon) ?

L'actualisme ou uniformitarisme

Lyell, Darwin



Lyell (1797-1875)

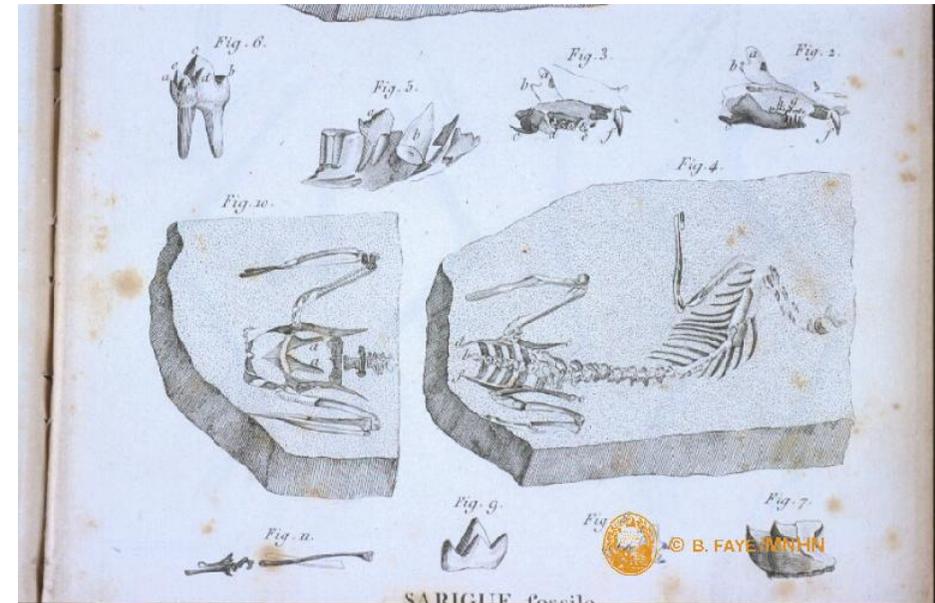
Cuvier et la paléontologie



Cuvier (1769-1832)

La corrélation des formes et la subordination des caractères
(sorte de « mathématique »)

Essentialisme - catastrophisme



Fixisme ou transformisme?

Adaptation des espèces aux changements dans l'environnement

- *progrès constant des espèces (contrairement à la sélection naturelle chez Darwin)*
- *pas d'extinctions (contrairement à Cuvier)*
- *approche en fait déterministe (contrairement au rôle du hasard chez Darwin)*

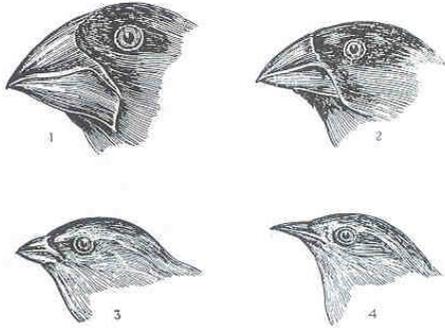


Le débat Cuvier - Lamarck

Lamarck (1744-1829)

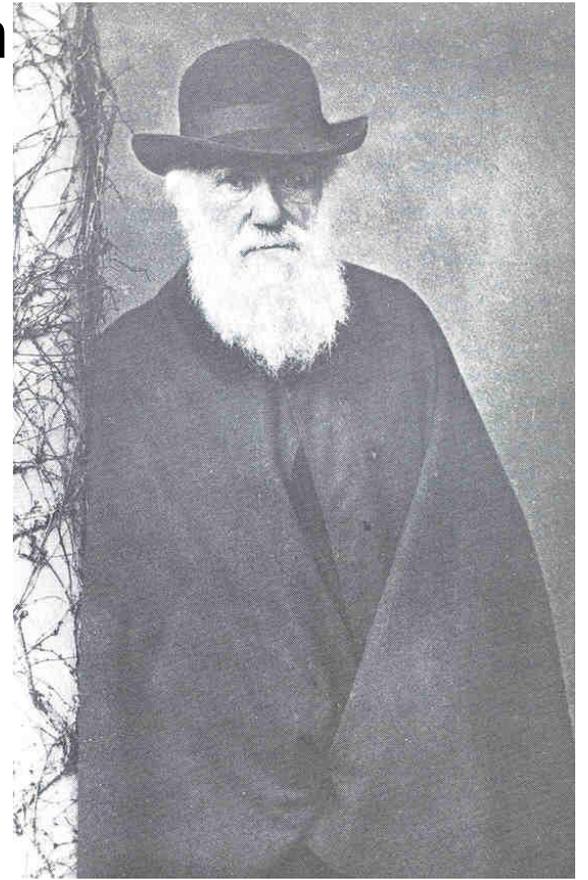
Darwin (1809-1882) et l'évolution

1831-36 : naturaliste à bord du *Beagle*



pinsons des Galapagos

biogéographie



évolution des espèces

+ **sélection naturelle** (luttres *intraspécifiques*, y compris pour reproduction)

L'évolution

A. R. Wallace (1823-1913)

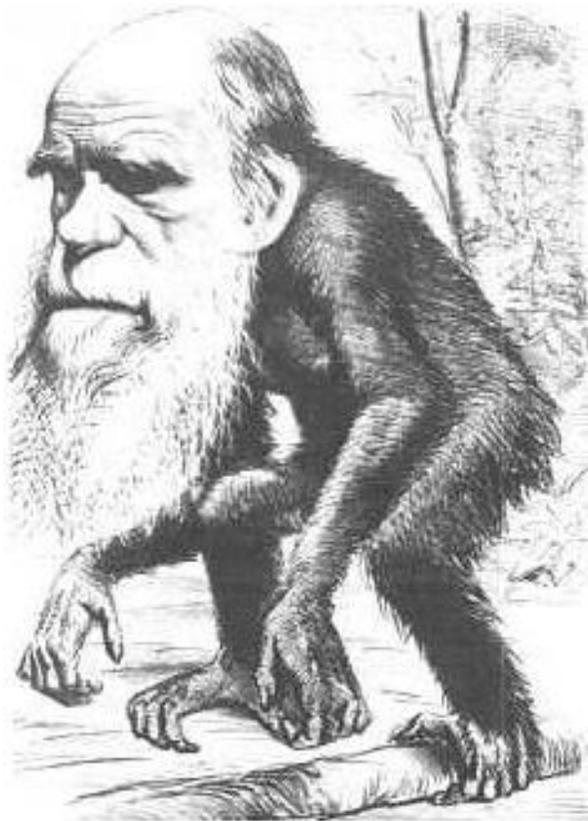


Linnean Society le 1/7/1858

L'origine des espèces, 1859

Impacts

- scientifique : le **temps**, le **hasard**, évolution « buissonnante » <-> **déterminisme mécaniste**
- philosophique et religieux
- sociologique (darwinisme social)



L'évêque anglican Wilberforce : « M. Huxley, j'aimerais savoir : est-ce par votre grand-père ou par votre grand-mère que vous descendez du singe ? »

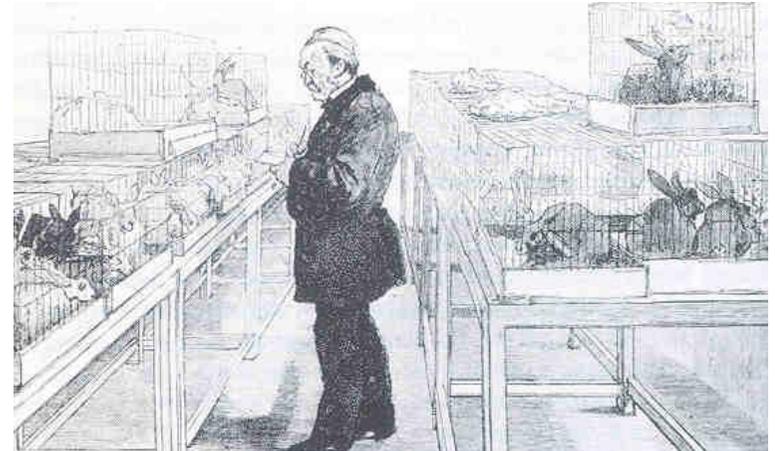
Huxley : « Entre avoir pour grand-père un misérable singe ou un homme richement doté par la nature et possédant une grande influence, mais qui utilise cependant ses facultés et son influence dans le but d'introduire le ridicule dans une grave discussion scientifique, j'affirme sans hésiter ma préférence pour le singe ! »

Génération et reproduction

Le débat sur la génération spontanée

XVII : expériences de Redi, Spallanzani, ...
« force générative »...

1860's : Pasteur / Pouchet
-> microbiologie



Louis Pasteur (1822-1895)

La reproduction

deuxième moitié du XVII^{ème} s. (microscope)

spermatozoïdes (Leeuwenhoek 1677); reprod. Sexuée chez plantes
mais parthénogénèse...

ovule chez les mammifères (von Baer, 1819)

Qui porte le principe actif ?

- la femelle (« *ovisme* ») : la semence mâle ne sert qu'à réveiller l'ovule - cf. parthénogénèse
- le mâle (« *spermisme* ») : l'ovule n'est qu'une matière nutritive
- les deux ?

Préformation ou épigénèse ?

- préformation : (« *homunculus* ») – cf. philosophie mécaniste

- épigénèse : « *vertu formative* », « *principe vital* », par opposition au mécanisme.

théorie cellulaire vers 1840

avancées techniques

universalité de la cellule :

noyau – cytoplasme

1830-1840 divisions cellulaires (« mitose »)

- spermatozoïdes nécessaires à la fécondation de l'ovule
expériences de Spallanzani
- ovule et spermatozoïde sont *ensemble* à l'origine de la formation de l'œuf
1875 : observation directe de la pénétration du spermatozoïde dans l'ovule (oursin)

Chromosomes

Observation Van Beneden, v. 1875; nombre pair caractéristique

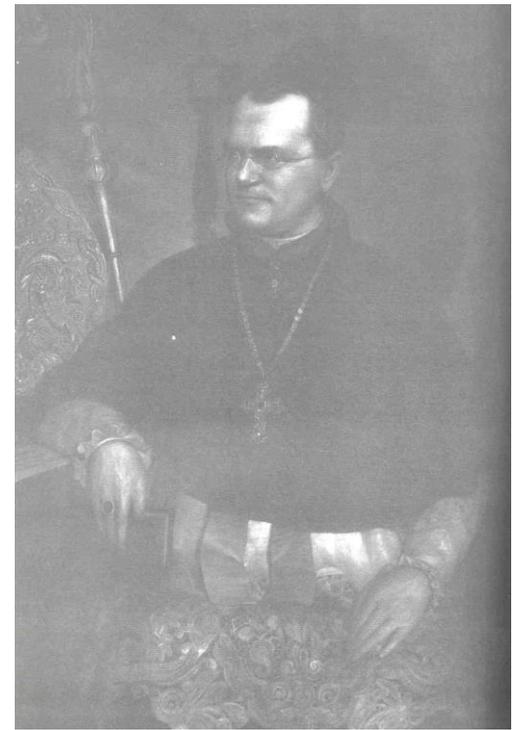
1887 : haploidie lors de la ***méiose***

A. Weismann (1887) : séparation de la lignée « germinale » (gamètes : ***génotype***) et de la lignée « somatique » (autres cellules : ***phénotype***) → modifications affectant la lignée somatique ne peuvent affecter l'hérédité, portée par le « plasma germinatif ».

Le néodarwinisme

La génétique

Gregor Mendel (1822-1884)



La découverte des « lois » probabilistes de l'hérédité de Mendel (1865)

Leur « oubli »

1900 Leur « redécouverte » par De Vries, Tschermac et Correns
(De Vries : mutations)

Pourquoi l' « oubli » des lois de Mendel ?

La **génétique** :

T.H. Morgan et la génétique expérimentale (cartes chromosomiques); mutations artificielles

⁸⁷
la **théorie synthétique de l'évolution**

2^{ème} 1/2 XIX^{ème} **biochimie**

Années 1940-50 **ADN**
+ code génétique

Biologie moléculaire

le nouveau paradigme

NB mais aussi les « systèmes » (écologie etc.)

L'épistémologie de la biologie

mise en évidence des processus matériels

le réductionnisme

un temps « sculpteur »; le rôle du hasard

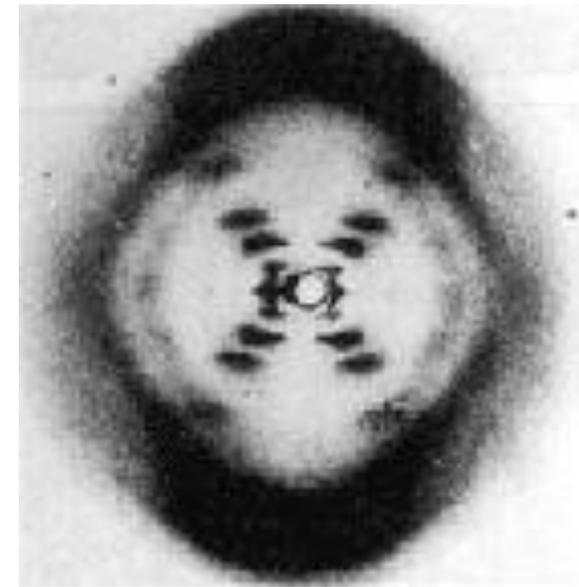


image par rayons X de l'ADN



Rosalyn Franklin

La dérive des continents

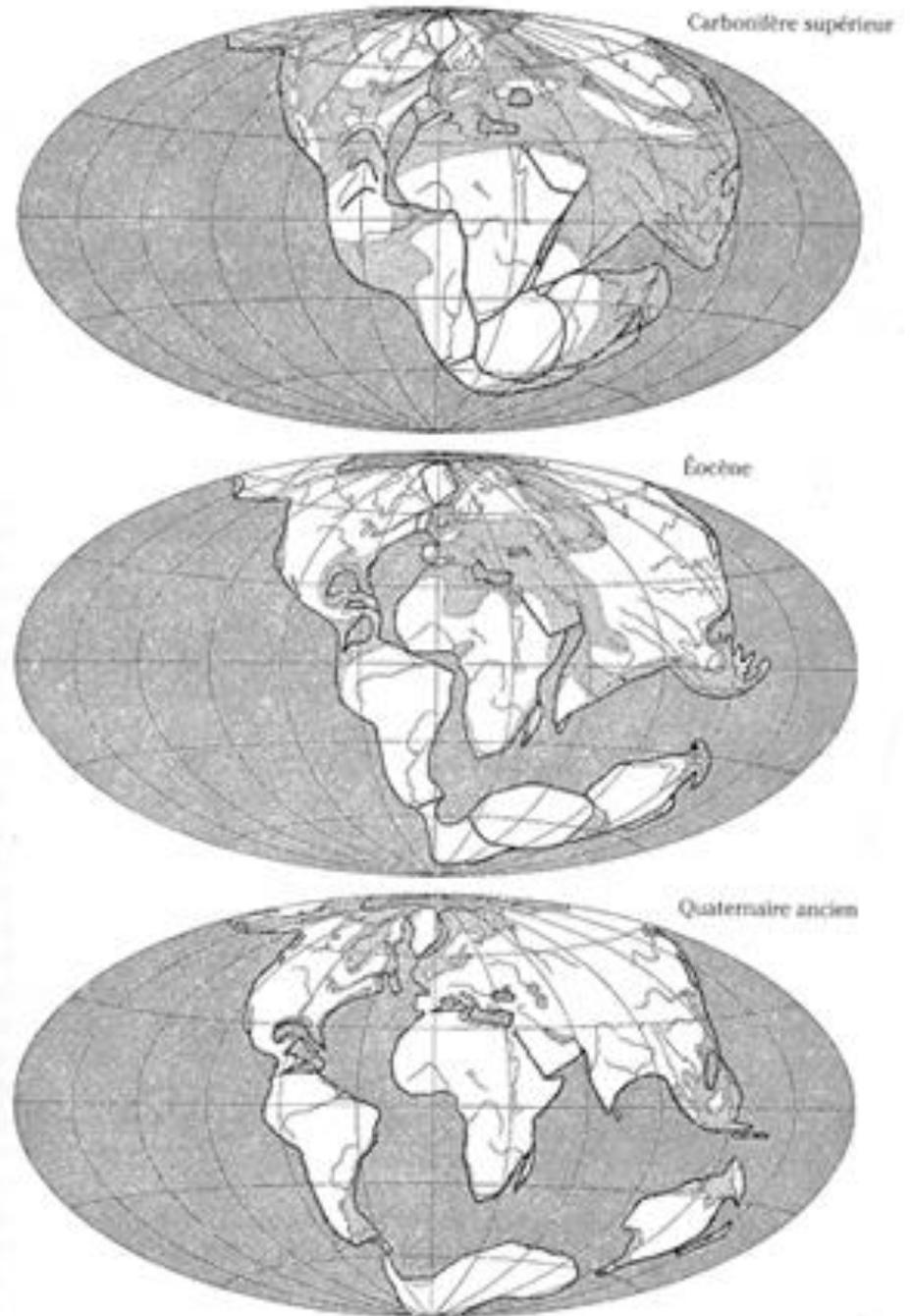
XIXème : histoire longue; actualisme;
refroidissement -> « **théorie générale** »



Alfred Wegener (1880-1930)

Wegener (v. 1914); Dutoit
l'aspect des continents
continuités <-> « ponts » (ad hoc)

*Reconstitution de la dérive
des continents selon Wegener*



Non-acceptation avant 1940 :

- problèmes...
- et paradigme existant suffisait

Après WWII : nouvelles observations

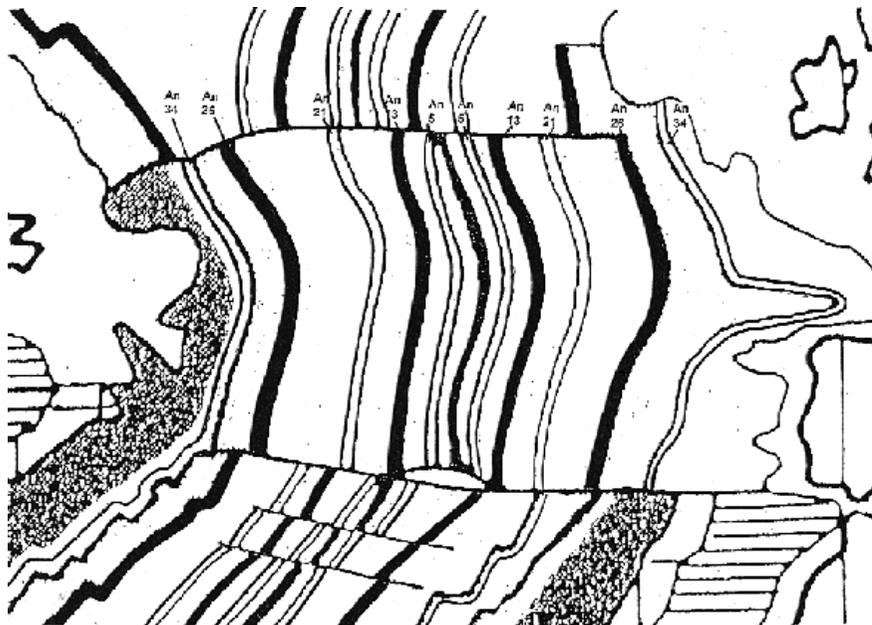
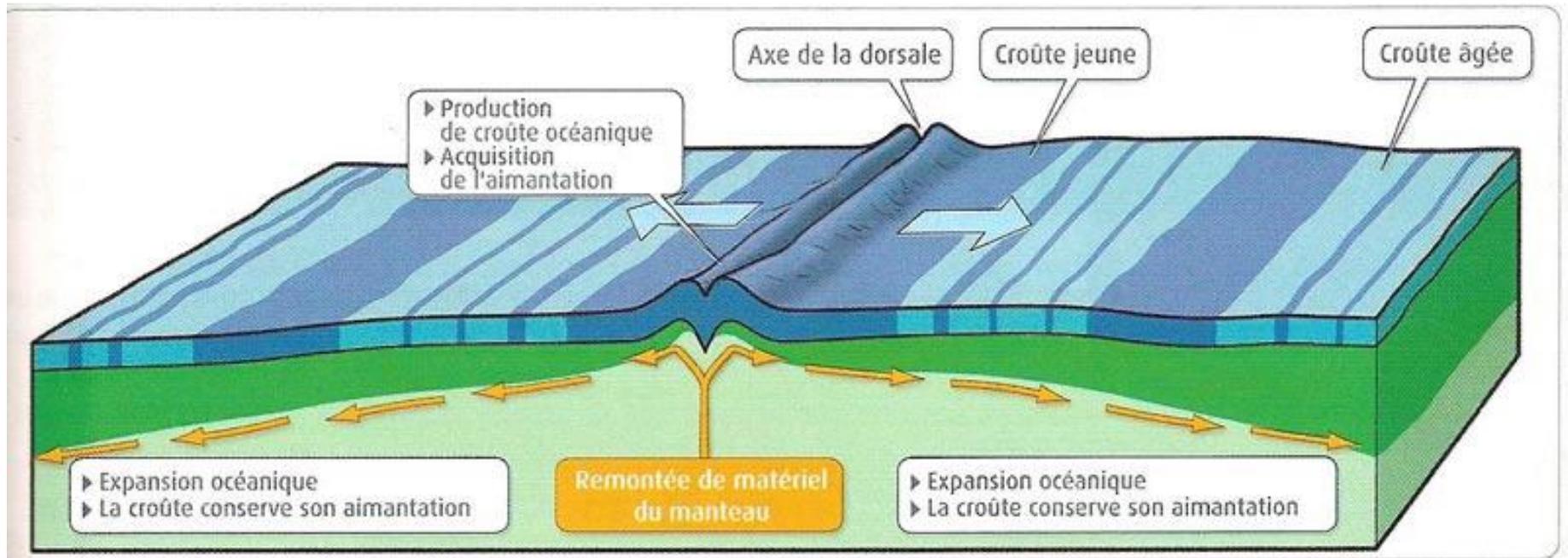
paléomagnétisme : déplacement des pôles

fonds océaniques : dorsales

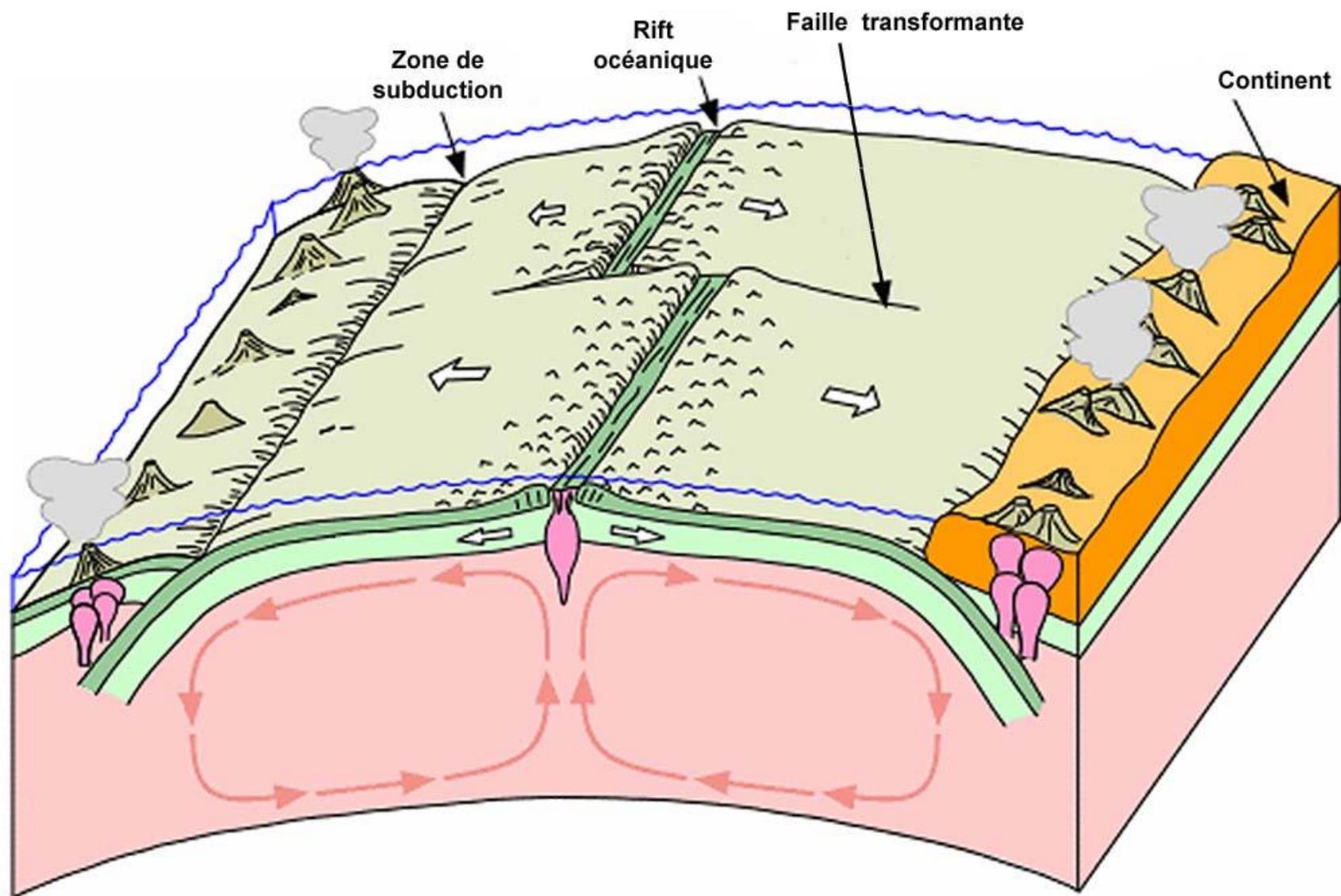
paléomagnétisme des laves

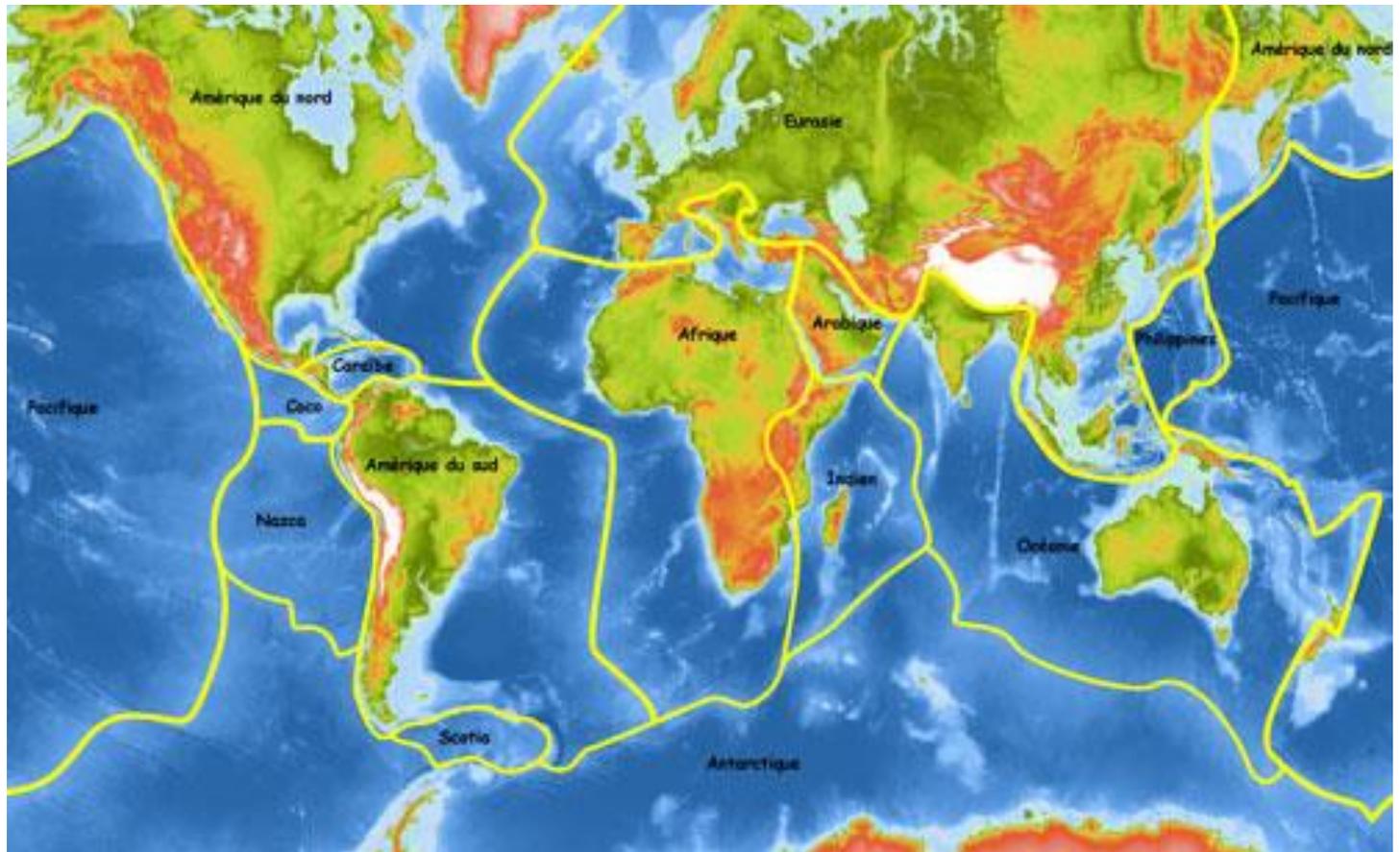
+ nouveau **cadre théorique** (Holmes, convection)

-> **nouveau paradigme**



« Peau de zèbre » (paléomagnétisme)





Histoires de mathématiques

Histoire des nombres et du zéro
Les géométries non-euclidiennes
Histoire de l'infini

Nombres et dénombrement

Entiers naturels = instruments du dénombrement (nombres comme abstraction – cf. Aristote)

- + fractions entières (de numérateur 1, quasi « naturelles »)
- + extension aux rationnels
- + racines (carrées et de degré plus élevé)

Égypte, Mésopotamie.

Grèce

- école pythagoricienne : « *les nombres (naturels) sont tout* » :
législateurs de l'univers, aux propriétés merveilleuses
- insistance sur la rigueur de la *démonstration*,
babyloniens !

nombres parfaits, égaux à la somme de leurs diviseurs (ex. 6, 28, 496)

paires de *nombres amiables* dont chacun est égal à la somme des diviseurs de l'autre (ex. 220 et 284)

triades pythagoriciennes – telles 3-4-5 et 6-8-10



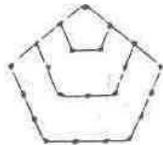
Nombre carré



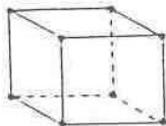
Nombre hétéromérique
(rectangulaire)



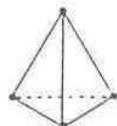
Nombre triangulaire



Nombre pentagonal



Nombre cubique



Nombre pyramidal

« Crise des irrationnels »

$\sqrt{2}$ ne peut s'écrire sous la forme $p / q \rightarrow$ n'est pas un nombre

Soient a et b les deux plus petits entiers (càd non réductibles) dont le rapport soit égal à $\sqrt{2}$.

$$\sqrt{2} = a / b$$

$$\Rightarrow a^2 = 2 b^2$$

$$\Rightarrow a^2 \text{ est pair}$$

$$\Rightarrow a \text{ est pair}$$

$$\Rightarrow a^2 \text{ est multiple de } 4$$

$$\Rightarrow b^2 \text{ est pair}$$

$$\Rightarrow b \text{ est pair}$$

$$\Rightarrow a \text{ et } b \text{ sont tous deux multiples de } 2, \text{ contrairement à l'hypothèse}$$

-> **géométrie**

Al-Khwarizmi (Bagdad, IX^{ème} s., Maison de la Sagesse)

numération décimale : les « nombres indiens »; **zéro** (comme chiffre !)

al-jabr et al-muqabala

al-jabr: “complément”: se ramener à coefficients positifs

al-muqabala: “réduction”, balancement: réduire les termes
des deux membres

coefficient 1 pour x^2

$$2x^2 + 100 - 20x = 58$$

$$2x^2 + 100 = 20x + 58$$

$$2x^2 + 42 = 20x$$

$$x^2 + 21 = 10x$$

équations du deuxième degré

six formes canoniques + **algorithmes** pour les résoudre

Six types d'équations, à coefficients positifs et racines réelles:

$$ax^2 = bx \quad ax^2 = c \quad bx = c \quad ax^2 + bx = c \quad ax^2 + c = bx \quad bx + c = ax^2$$

($ax^2 + bx + c = 0$ n'ayant pas de solution positive n'est pas admise).

Algorithmes

« Que le carré et dix racines valent 39 unités.

La règle est que tu divises les racines en deux moitiés, ici on obtient 5, que tu multiplies par lui-même, on a 25, que tu ajoutes à 39 et on obtient 64.

tu prends la racine qui est 8, tu en retranches la moitié du nombre des racines qui est 5, il en vient 3 qui est la racine du carré que tu cherches, le carré est 9. »

Démonstrations géométriques

Posons un carré $a b$, qui représente le carré de l'inconnue; son côté est donc l'inconnue.

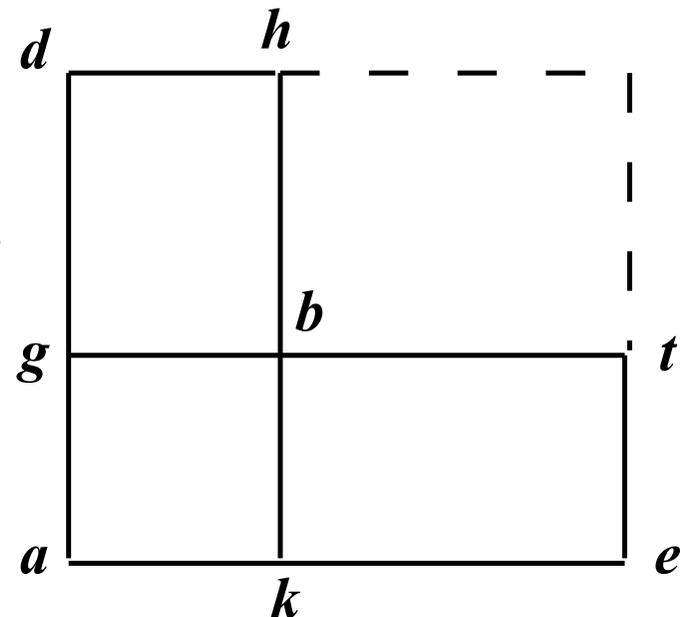
Deux côtés perpendiculaires du carré sont prolongés d'une longueur de la moitié de 10 soit 5.

On peut alors construire sur ces côtés du carré deux rectangles, les rectangles $g h$ et $t k$, dont un côté vaut l'inconnue et l'autre 5. Le total des deux rectangles vaut donc dix fois l'inconnue et celui de la figure formée par le carré posé au départ et les deux rectangles vaut 39, puisqu'il correspond à la valeur du carré de l'inconnue et de dix fois l'inconnue.

Si on complète cette figure pour en faire un carré en ajoutant un carré de côté 5, la surface de ce dernier carré aura pour aire 5^2 , soit 25 qui s'ajoutent à 39 pour donner 64.

Le côté du grand carré $d e$ vaut donc $\sqrt{64}$, soit 8.

Pour connaître l'inconnue, il reste à retirer 5 de 8, ce qui fait 3.



Moyen-Âge

Gerbert d'Aurillac

traducteurs

Léonard de Pise (Fibonacci)

Renaissance : *algébristes et abacistes*

La banque :

traités pratiques, mathématiciens
professionnels

comptabilité en partie double

solutions négatives – zéro comme *nombre*

notations symboliques



Équation du troisième degré et nombres *imaginaires*

Soit $x^3 + ax^2 + b^2x + c^3 = 0$. On fait la substitution $t = x + a / 3$

d'où $t^3 + pt^2 + q = 0$

On pose $t = y + z$ d'où $(y^3 + z^3 + q) + (y + z)(3yz + p) = 0$

Résoudre séparément $y^3 + z^3 + q = 0$ (1)

et $3yz + p = 0$ (2)

(2) dans (1) $\rightarrow y^3 - (p/3y)^3 + q = 0$

d'où $y^6 + qy^3 - (p/3)^3 = 0 \rightarrow y^3$ par équation quadratique en $y^3 \rightarrow y, z \rightarrow t \rightarrow x$

$x^3 = 15x + 4$ admet pour solution 4,

alors que l'algorithme donne $x = (2 + \sqrt{-121})^{1/3} + (2 - \sqrt{-121})^{1/3}$

Deux nb. dont la somme est 10 et le produit 40 : $5 + \sqrt{-15}$ et $5 - \sqrt{-15}$

Les nombres complexes

Bombelli (Bologne, ca. 1522, 1572) a “une pensée sauvage”, qui “semble reposer sur un sophisme” :

il traite formellement et opère avec $\sqrt{-1}$.

intermédiaires dans les calculs

Leonhard Euler (1707-1783)

Euler : $e^{ix} = \cos x + i \sin x$

étude systématique de l'équation de degré $n \rightarrow$ solutions complexes

Gauss : représentation géométrique (cf. vecteurs) et notation $a + bi$:
appel à l'évidence géométrique



Carl Friedrich Gauss (1777-1855)



Définition rigoureuse des irrationnels à partir des rationnels par **Dedekind**, fin du XIX^{ème} s.
¹⁰²
(concept de *coupure*).

Les géométries non-euclidiennes

Tentatives de *démonstrations par l'absurde* du postulat de Pythagore (O. Khayyam, Wallis)

-> géométries « **anti-euclidiennes** » (XVIIIème Lambert, Saccheri, Taurinus)

-> géométries « **non-euclidiennes** »

Nicolas Lobatchevsky
(1793-1856)



Janos Bolyai
(1802-1860)



Carl Friedrich Gauss (1777-1855)



Riemann (1826-1866) – **modèles euclidiens**

Redéfinition du rapport au réel des math

« consistance » – **axiomatique** plutôt **qu'intuition** : Hilbert (1862-1943)

Mathématiques de l'infini

Les apories des Grecs - dévalorisation

Zénon

les apories de l'infiniment grand

logique : régression infinie des causes

physique aristotélicienne

la méthode d'exhaustion

acte et puissance

Moyen-âge et Renaissance

abondantes discussions et valorisation progressive

théologie négative

-> N. de Cuses, G. Bruno

l'espace infini comme réceptacle au monde

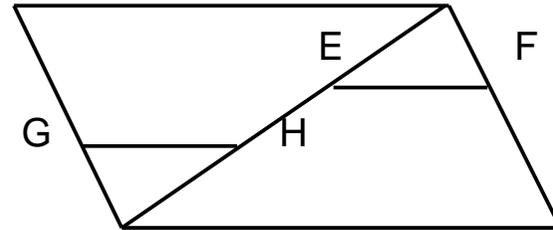
Le calcul différentiel et intégral

scolastiques (N. Oresme) : notion de vitesse instantanée

XVII^{ème} siècle

Kepler

Cavalieri (1598,1647) : les « indivisibles » :



Torricelli, Roberval, Fermat, Pascal, Wallis, Barrow

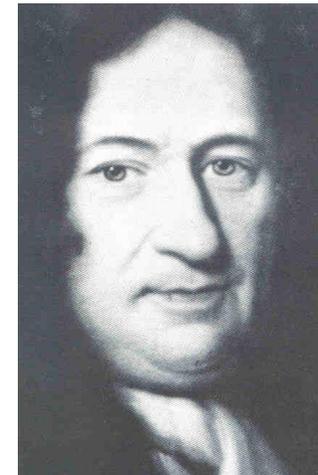
Newton (1666 mais...)

intégrale indéfinie

infiniment petits / fluxions / premières et dernières raisons

Leibnitz (1685)

« algèbre des infiniment petits »; intégrale définie



De l'empirisme à la rigueur

XVII - XVIII

une pratique « empirique » de l'analyse, où la notion de fonction continue est centrale
(Euler, Lagrange)

Mais cas « pathologiques » (ex : fonction continue non différentiable)

XIX

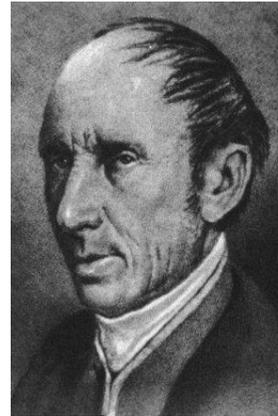
Siècle de la rigueur

notion de « limite » ; Cauchy

arithmétisation de l'analyse ; Weierstrass

définition des réels : Dedekind

ensembles : Cantor



Cauchy (1789-1857)



Weierstrass (1815,1897)



*Dedekind
(1845,1916)*



*Cantor
(1845,1916)*

Une mathématique de l'infini

Cantor : quid des ensembles infinis ?

« égalité » de 2 ensembles infinis ?

→ notion de « puissance » (« cardinal »)

C'est un retournement : les « paradoxes » de l'infini -> le définir

ensemble infini : qui peut avoir la même puissance qu'une de ses parties strictes

-> **mathématique de l'infini** : nouveaux nombres : *transfinités*

le plus petit nombre transfini ω est plus grand que tous les nombres finis, mais n'a pas de prédécesseur immédiat

comparer les infinis : :

- « puissance du dénombrable »

- « puissance du continu »

Mais

nouveaux paradoxes

propositions indécidables

consistance de l'arithmétique : Gödel

axiome du choix



*Gödel et Einstein,
Princeton 1950*

Sciences chinoises
-
Sciences occidentales

Un immense empire fluvial

Un empire très étendu, autour des deux grands fleuves

(Fleuve Jaune = Huanghe + rivière Wei; Yangzijiang), dès le néolithique (-2500)



Mais continuité culturelle et politique

- écriture idéogrammatique (premiers textes écrits : -1760)
- à partir des Hans, classe bureaucratique des lettrés confucéens

Chronologie (très !) sommaire

unification à l'âge du bronze (dynastie Shang, -1520)

Royaumes combattants (-V^{ème} – -III^{ème} s.)

empire de Qin Shi Huangdi (-221) et des Han (-202, 220)

Trois Royaumes (III^{ème} s.)

unification Jin, Song : (265-milieu V^{ème} s.)

divisions (V^{ème} – VI^{ème} s.)

unification Sui, Tang (581-906)

divisions X^{ème} s.

unification Song (960)

1136 : invasions tartares -> dynasties Jin au Nord; Song du Sud

invasion mongole (1260) -> dynastie Yuan

dynastie Ming (1368-1644)

invasion mandchoue -> dynastie Qing 1644-1911



Chronologie (1)

- 2500 civilisation néolithique autour du Fleuve Jaune (agriculture, villages, poteries, textiles; contacts avec l'Amérique)
- 1520 unification : dynastie **Shang** (Anyang) : âge du bronze; écriture (os divinatoires)
- 1030 dynastie **Zhou** : société féodale; 722 : déplacement vers l'Est (Zhou de l'Est)
- 480 division : **royaumes combattants** : époque « classique »; âge du fer, irrigation; Confucius, Mo Ti, etc.
- 221 unification Qin, empereur **Qin Shi Huangdi** : standardisation (route, roues des chars,...); Grande Muraille
- 207 dynastie **Han**; bureaucratie confucéenne; papier; arrivée du bouddhisme; désordres
- 221 division : « *Trois Royaumes* » (Shu, Wei, Wu)
- 265 unification : dynastie **Jin**, dynastie **Song** (420-479); technologies militaires
- fin V^e division

Chronologie (2)

- 581 unification
dynastie *Sui* (581-618) Grand Canal (Fleuve Jaune – Yangzijang, 1800 km)
dynastie *Tang* (618-906) : expansion du bouddhisme;
relations avec l'étranger (751, affrontement avec musulmans);
art et littérature; porcelaine, poudre
- X^e divisions
- 960 unification : dynastie *Song*; prospérité, activité culturelle,
science et technologie
- 1126 invasion *tartare* : dynastie *Jin* = tartare Ruzhen au Nord (1115-1234)
dynastie des *Song du Sud* (1127-1279)
- 1260 invasion *mongole* -> dynastie mongole *Yuan* ; Marco-Polo en Chine; atlas,
observatoires astro.
- 1368 révoltes paysannes -> dynastie *Ming*; explorations maritimes; botanique,
pharmacopée
- 1644 dynastie *mandchoue* *Qing*; arrivée des Jésuites
- 1912 république

Fondements philosophiques

Période des Royaumes combattants (-V^{ème} – -III^{ème} s.)

➤ recherche d'harmonie

➤ **confucianisme** : l'harmonie sociale

Confucius (Kongfuzi -552,-479)

Mencius (Mengzi -380, -289)



Mencius

➤ **taoïsme** : le Tao de l'homme dans l'Univers

Tchouang-tseu (*Zhuangzi* –IV s), Laotseu (*Laozi* postérieur à *Zhuangzi* ?)

➤ les interventionnistes

➤ les **moïstes** (Mo Di -478, -381)

➤ les **légistes** (Han Feizi -280, -233)

V-VI^{ème} s : **bouddhisme**.

Courants idéologiques et philosophiques

A l'époque des Royaumes Combattants (époque « classique », politiquement troublée), définition des grandes orientations idéologiques : recherche de l'harmonie, ou interventionnisme ?

- la recherche d'harmonie (modèle de l'agriculture)
 - confucianisme : l'harmonie sociale
Confucius : connaître l'homme et la société, en vue d'une politique sage, ordonnée et juste;
respect des parents, des rites, idéalisation du passé
Mencius: sociologie
 - taoïsme : le Tao de l'homme dans l'Univers
Tao = « Voie », « Ordre de la Nature », conçue comme immanente <-> ordre autoritaire, imposé
mélange de religion, philosophie et science magique et primitive
individualisme, immortalité de l'individu (gymnastique, drogues, alchimie); retrait de la société –
nostalgie de la société égalitaire primitive
intérêt pour la biologie et l'alchimie
- les interventionnistes (modèles volontaristes de l'élevage, de la navigation) :
 - Mo Di (les « mohistes », -IV s) : propagande active de la paix (organisation militaire d'autodéfense);
expérimenter pour connaître; intérêt pour la physique et la logique
 - les légistes : gouvernement fort, sous Qin Shi Huangdi (-221) : brûler les livres et les lettrés
quantification, standardisation (largeur des routes, des roues des chars)

Sous les Han : réaction contre les excès des légistes -> appel aux confucéens -> sorte de religion d'Etat,
synchrétisme avec le taoïsme

A partir des troubles V-VI^{ème} s -> influence bouddhiste croissante. Réaction sous les Tang (845)

Taoïstes souvent mêlés aux jacqueries paysannes

Technologies et sciences

✓ Remarquables réalisations technologiques, très en avance sur le reste du monde et en progrès constants

- agriculture, transport, métallurgie, art de la guerre, médecine, techniques diverses : manivelle, papier et imprimerie, porcelaine, horloges mécaniques, instruments de musique, ...
- diffusion des innovations par la bureaucratie confucéenne pour la gestion de l'empire : sismographe, nivomètres, etc.

✓ Connaissances scientifiques avancées, tournées vers la pratique

- sciences naturelles, géographie, cartographie
- optique, acoustique, magnétisme, astronomie : manifestations des affinités du cosmos
- mathématiques : algèbre mais pas la géométrie rigoureuse des Grecs
- accent sur les classifications

agriculture

sériculture

- V s soc de charrue en fer
- II s tarare rotatif (pour séparer les balles du grain)
- II s semoir à rangs multiples
- I s pompes à godets pour l'irrigation



Semoir (Im. 1742)

métallurgie

- IV s fonte - pagode de fonte de Luoning coulée 1105
- IV s soufflet à piston à double action
- II s oxygénation de la fonte -> décarburation (méthode des « cent raffinages ») -> acier à 0.1 – 1.8% de C (« procédé Bessemer »)
- V s cofusion de fonte et fer doux -> acier (« procédé Martin »)

pagode en fonte de Luoning (1105)
hauteur 24 m



transports et énergie

- IV s harnais à traits
- IV s cerf-volant
- IV s utilisation du pétrole et du gaz naturel
- I s harnais à collier
- I s brouette, Europe XII s
- I s forages pour le gaz naturel
- I s transmission par courroie
- I s force hydraulique (moulins horizontaux) pour souffleries
- I s gouvernail
- II s navires à compartiments étanches
- III s étriers de fer et de bronze
- V s bateaux à aubes
- X s transmission par chaîne
- X s écluses à sas (Europe XIV s)

harnais à traits,
image Han (-I s)



Étrier en bronze
VI-VIème s.



brouette traditionnelle,
charge au-dessus de l'axe

art de la guerre

-IV s arbalète

-IV s gaz, bombes

IX s poudre à canon : fusées, canons

X s lance-flammes

XIII s canons, fusils et mortiers



canon lançant des obus
fumigènes empoisonnés



fusées attachées à des pointes
empoisonnées (XIV s)

céramique Tang
VII-VIII^{ème} s.



techniques diverses

-II s manivelle (IX s en Occident)

-II s suspension Cardan

-II s papier

III s porcelaine

III s moulinet de canne à pêche

VII s alcool distillé (« vin de gel »)

VIII s horloge à échappement (hydraulique) -> Occident XIII s

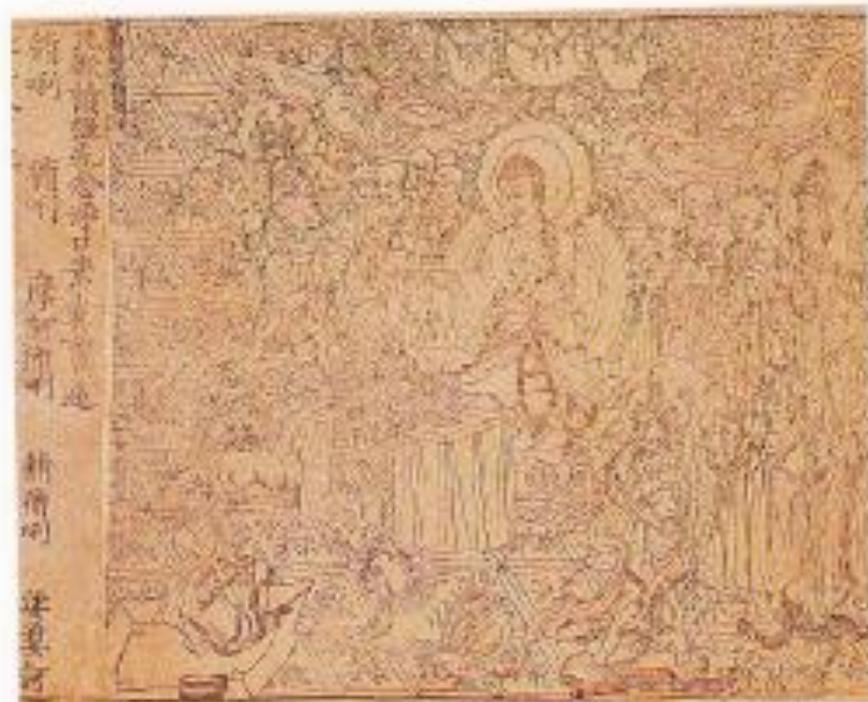
cf. tour-horloge astronomique de Su Song (1092), 10 m de haut

VIII s imprimerie : impression par blocs gravés au VII s; gravures bouddhistes puis livres en milliers d'exemplaires au IX s; polychromie

XI s imprimerie à caractères mobiles (idéogrammes) en céramique

IX s papier monnaie

XI s rouet pour fil de soie



Frontispice du Sutra du Diamant
(imprimé en 868)

génie civil

-III s Grand Muraille

I s ponts suspendus en chaîne en fer (?)

VII s ponts à arc surbaissé

VII s Grand Canal (1800 km)



Pont surbaissé (810 – rénové XX^{ème} s.

géographie, sciences de la Terre

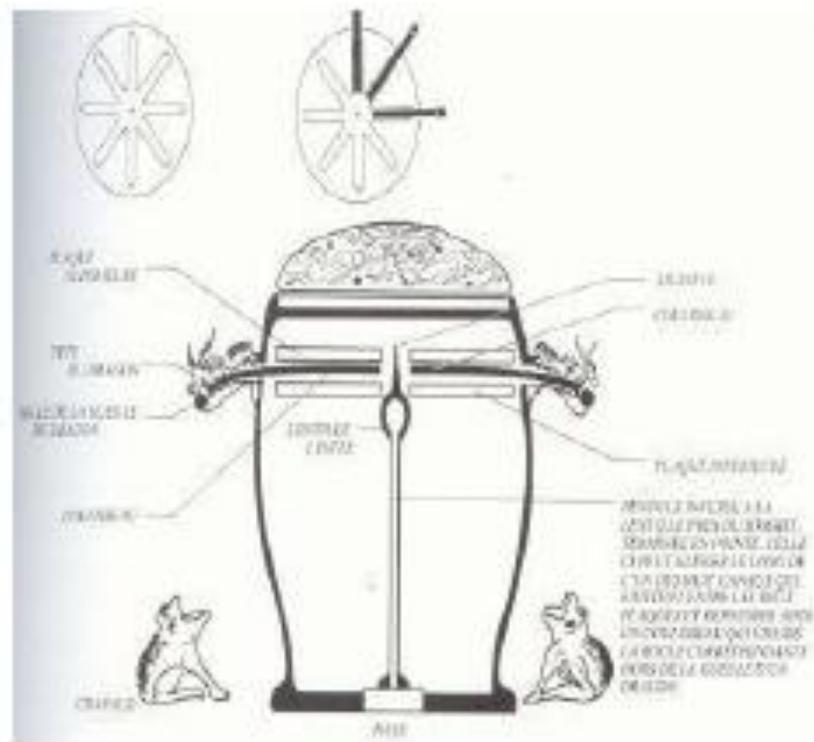
130 sismographe

II s représentations cartographiques avec quadrillage

III s cartes en relief

X s projection Mercator

Reconstit. du sismographe
de Zhang Hen (II^{ème} s)



astronomie

-IV s observation des taches solaire, systématique à partir du -I s

VI s queue des comètes due à « esprit (*qi*) du Soleil »

(observation systématique des comètes : 40 avant 1500)

X s projection de Mercator

XIII s instruments équatoriaux



sciences de la vie et médecine

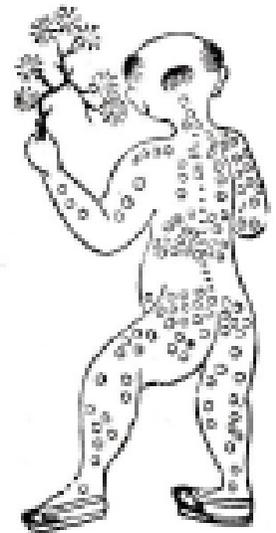
-VI s circulation du sang (*yin*) à partir du cœur (pouls) + souffle *qi*

-II s rythmes circadiens du corps

III s lutte biologique en agriculture (fourmis tueuses pour protéger mandariniers)

VII s diagnostic du diabète

X s inoculation de la petite vérole -> répandue fin XVI s -> Turquie -> Occident



magnétisme; boussoles

II s boussoles en forme de cuiller pour la géomancie (orientation des Palais)

III s cadrans à index

III s chariot montrant le sud pour géomancie

IX s déclinaison magnétique terrestre

IX s boussoles maritimes : avéré en 1117 (premières utilisations entre 850 et 1050 ?) ; Europe 1190, Islam 1232

XI s aimantation par refroidissement dans le champ magnétique terrestre (boussoles)

cuilier en magnéte, plaque
en bronze



compas de marine



« chariot montrant le sud »
(III s) (reconstt.)



fabrication d'aiguilles
aimantées pour boussoles



sciences physiques

- II s structure des cristaux de neige
- II s lanterne magique

acoustique

- VI s grande cloche accordée
- II s tambours accordés
- 1584 tempérament égal

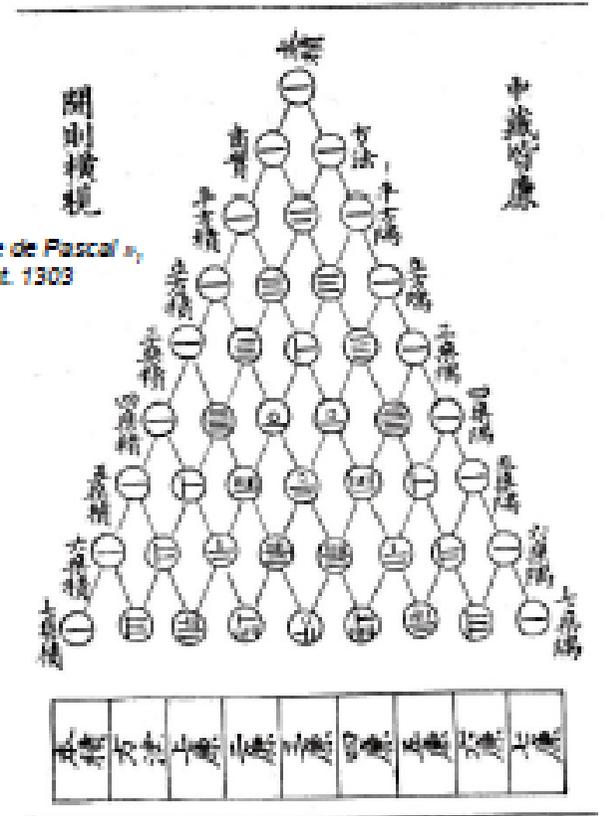
cloche en bronze à deux notes (-Vs)



mathématiques

- XVI système décimal
- IV s chiffre 0
- II s nombres négatifs (jonchets rouges)
- I s solutions d'équations numériques; carrées et cubiques
- I s fractions décimales
- III s valeur de π avec 5 décimales
- XII s triangle de Pascal

« triangle de Pascal », représent. 1303



Une « autre » science ?

Une approche différente de celle de l'Occident

➤ le monde comme grand organisme (incluant l'homme) :
chaque phénomène lié à tous les autres,
suivant un ordre hiérarchique, de l'individu à l'univers entier

➤ équilibre entre les 2 forces fondamentales :
yin : nuages et pluie, féminin, intérieur, froid, sombre
yang : rayonnement solaire, virilité, chaleur, ardeur

➤ correspondances

5 éléments (ou principes : feu, métal, bois, terre, eau), 5 points cardinaux,
5 couleurs, 5 goûts, 5 planètes, 5 métaux, etc.

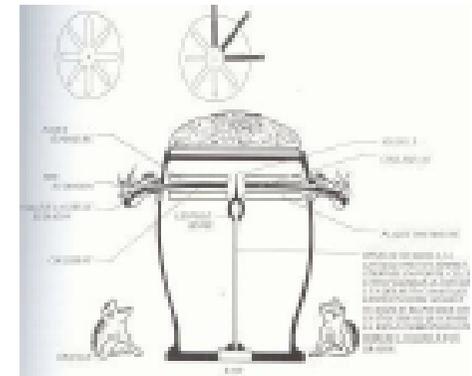
→ accent sur les relations plutôt que sur l'ontologie, l'individuel

(en particulier, pas de philosophies atomistes)

→ privilégient **action à distance** – cf. magnétisme, acoustique, sismologie, etc.
plutôt que contacts mécaniques

→ **une « autre » science ?**

Reconstit. du
sismographe
de Zhang Hen
(11ème s)



Le « problème de Needham », ou : pourquoi nous et pas eux ?

« stagnation » de la Chine / révolution industrielle en Occident

cf. les « quatre inventions » : papier, imprimerie, poudre, boussole – cf. F. Bacon (1561-1626)

Joseph Needham (1900 – 1995)

✓ Rôle de la révolution scientifique
épistémologie :

- « lois » scientifiques (divines / naturelles) <-> traumatisme légiste
- continuité microcosme – macrocosme / « relations » <-> mécanique / chocs
- place des mathématiques

✓ Classe bourgeoise très dynamique <-> bridée par la bureaucratie

+ (Jared Diamond) : Empire unifié <-> États (stables) concurrents
(cf. Royaumes combattants)

+ (Kenneth Pommeranz) : exploitation du Nouveau-Monde



Quelques références

J. Needham : « *La science chinoise et l'Occident* », *Points-Sciences S9*, Seuil

Plusieurs essais mettant en contraste la science chinoise et la science occidentale, par le spécialiste incontesté de la science chinoise.

C. Ronan : « *Histoire mondiale des Sciences* », *Points-Sciences S129*, Seuil

Introduction générale, d'accès aisé ; chapitres sur les sciences non européennes, en particulier chinoise.

R. Temple : « *Le génie de la Chine, 3000 ans de découvertes et d'inventions* », éd. Ph. Piquier, Paris 2000

Technologies et sciences en Chine, et leur avance sur l'Occident – d'après J. Needham.

Références principales

Histoire des sciences

M. Serres (dir.) : « *Éléments d'Histoire des Sciences* », Bordas, Larousse

Excellent ouvrage, très lisible, composé de 30 chapitres autonomes comportant une mise en contexte des questions abordées. Un exemple de *bonne* histoire des sciences !

Épistémologie

T. Kuhn : « *La structure des révolutions scientifiques* », Champs, Flammarion

Analyse philosophique et historique du fonctionnement de la science. Texte fondateur essentiel : notions de paradigme, de « science normale », de « révolution scientifique ».

D. Pestre : « *Introduction aux 'Science studies'* », coll. Repères, La Découverte, 2006

Excellente mise au point, introduction d'ensemble.

Références générales

Histoire des Sciences

C. Ronan : « *Histoire mondiale des Sciences* », Points-Sciences S129, Seuil

Introduction générale, d'accès aisé ; chapitres sur les sciences non européennes, en particulier chinoise.

Philosophie des Sciences

A. Chalmers : « *Qu'est-ce que la science ?* », La Découverte

Bonne introduction générale à la philosophie des sciences ; accès aisé.

P. Feyerabend : « *Contre la méthode* », Points-Sciences S56, Seuil

Approche brillante et iconoclaste, par l'une des personnalités les plus fortes de l'histoire des sciences du XX^{ème} siècle, – à prendre avec le grain de sel.