

Histoire des Sciences

HIST-F-101

(leçons 7-12)

« Pour l'honneur de l'esprit humain »

P. Marage

2004-2005

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

pmarage@ulb.ac.be

Histoire de la Terre et de la Vie

Biologie, géologie

La biologie ancienne

- **Savoirs pratiques très anciens !**
 - chasseurs-cueilleurs du paléolithique – cf. peintures animales de Lascaux
 - révolution néolithique (Proche-Orient, env. -10 000) : invention de l'agriculture et de l'élevage (sélection), qui permettent sédentarisation et division du travail, et dès lors développement des autres techniques
 - savoirs médicaux
- **Forts enjeux idéologiques** (mythes d'origine, magie, religions), à toutes les époques (aujourd'hui encore !)

Les grands empires fluviaux (Chine, Égypte, Mésopotamie) : connaissances agronomiques, médicales, physiologiques et anatomiques

Grèce

- ✓ Aristote : fonde la biologie scientifique
 - **systématique** : définition des espèces (reproduction) et classification des animaux
 - animaux à sang rouge (quadrupèdes vivipares (mammifères, dont cétacés et chauves-souris; quadrupèdes ovipares : lézards, tortues, batraciens + serpents; poissons; oiseaux), et dépourvus de sang rouge (corps mou: céphalopodes; corps mou + écailles : crustacés; corps mou + coquille: coquillages, oursins; insectes + vers); ces groupes subdivisés à leur tour
 - **biologie fonctionnelle** : anatomie des animaux (observations minutieuses), incluant l'homme
 - « *pourquoi* tel organe est-il comme il est ? quelle est sa fonction ? »; « la nature ne fait rien en vain »
 - NB.: cette recherche des **causes finales**, typiquement biologique, imprènera toute sa philosophie
 - Botanique : son successeur Théophraste; Dioscoride (I^{er} s.)
- ✓ Hippocrate de Cos (v. 460, 377) et école hippocratique : observations empiriques et efforts de rationalisation
Travaux expérimentaux à Alexandrie (Hérophile, Érasistrate : les seules dissections humaines jusqu'à la Renaissance) + écoles de médecine rivales (« méthodique », « empirique », « éclectique »)

Rome

Peu de travaux originaux, mais grande influence au Moyen-âge de l'« Histoire naturelle » de Pline
(en fait, une compilation de niveau peu élevé, animaux légendaires, etc.)

Un très grand médecin : Galien (v. 131-200) – qui aura une énorme influence jusqu'à la Renaissance
– théorie de l'équilibre des humeurs (4 humeurs, 4 tempéraments – cf. 4 qualités)
– mais insuffisances de certaines observations (dissections animales seulement)

Arabes

Bases théoriques de la science grecque (4 éléments, 4 qualités) + préoccupations pratiques :

- médecine : hygiène, hôpitaux, pharmacies; soins apportés au diagnostic (fièvre, pouls, urines) et recueils de cas clinique; ophtalmologie, chirurgie, usage d'anesthésiques; découverte de la petite circulation (cœur-poumons)
grands médecins philosophes : le traducteur Hunayn ibn Ishaq, Rhazès (Al-Razi, v. 854-v. 930); Avicenne (Ibn Sina, 980-1037 : *Canon de la Médecine*), Maïmonide
- agriculture : irrigation, importation d'espèces extrême-orientales

I. L'évolution des espèces (y compris un détour par la géologie)

De nouveaux mondes...

A la Renaissance, redécouverte des Anciens + observations scrupuleuses → plusieurs renouveaux :

- zoologie (dont poissons, insectes) et (plus encore) botanique; descriptions, classifications; herbiers et jardins botaniques (Pise 1543); traités (+ planches gravées : importance de l'imprimerie)
- anatomie et physiologie :
 - dissections par A. Vésale (1514-1564), contredisant Galien (« *Structure du corps humain* », 1543)
 - circulation du sang, par W. Harvey (1628) : le cœur comme pompe (vivisections, mesures quantitatives - cf. philosophie mécaniste) (NB. précurseur M. Servet, exécuté à Genève)

Mais surtout, du XV^{ème} au XIX^{ème} siècle, découvertes de nouveaux mondes

1. les grandes découvertes géographiques

Afrique (contournement par les Portugais au XV^{ème} s.), Amérique

→ découverte de nouvelles faunes et de nouvelles flores

plantes d'Amérique : manioc, maïs, pomme de terre, tomate, courgette, tabac, etc.

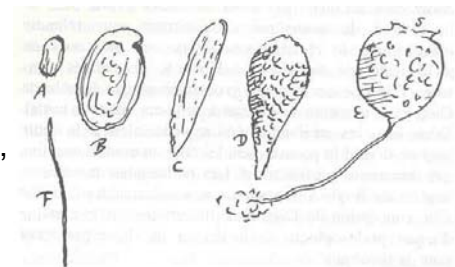
+ voyages systématiques d'exploration au XVIII^{ème} (Pérou, Sibérie, Sénégal, Extrême-Orient, ...)

2. le monde microscopique (1612, cf. l'invention de la lunette)

Dans la 2^{ème} moitié du XVII^{ème} (et malgré la qualité médiocre des instruments), permet le développement ou l'apparition de nouvelles disciplines, et la découverte de nouvelles espèces

- R. Hooke (*Micrographia*, 1665) : notamment yeux de la mouche, « cellules » du liège
- Swammerdam : dissections d'insectes au microscope, globules rouges
- M. Malpighi : étudie les tissus (histologie); embryologie du poulet; capillaires
- N. Grew : sexualité des plantes (étamines = organes mâles) (contre Aristote)
- et surtout A. Leeuwenhoek (1632-1723) : noyau cellulaire, spermatozoïdes; protozoaires, première observation de bactéries

3. les mondes éteints (fossiles, y compris humains : Boucher de Perthes, 1846)



La définition des espèces

Devant la multiplicité des formes animales et végétales, effort continu de classification scientifique :

- A. Césalpin (1519-1603) : utilise l'analyse de toute la plante, et en particulier fleur, fruit et graine
- J. Ray (1627-1705) : physiologiste, classe plus de 18 000 plantes (1686)
- Tournefort (1656-1708) : système naturel (plantes), présente la notion de genre

Mais *que* classe-t-on, et selon *quels* critères ?

Deux attitudes :

➤ « il n'y a que des individus » : toute classification est artificielle, due à l'homme : nominalisme (cf. Ockham)

Buffon : « les genres, les classes, les ordres n'existent que dans notre imagination »

➤ les espèces correspondent à une réalité

- soit une réalité *idéale*, qui renvoie à « l'essence » (immuable) des individus (« Socrate et Aristote ont en partage leur essence humaine ») : essentialisme

correspond assez bien à l'enseignement de la Bible : Dieu a créé les espèces et Noé a sauvé du Déluge un couple par espèce

- soit à une réalité *matérielle* : des ancêtres communs (mais espèces non figées – transformisme)

Définition de l'espèce

affermissage progressif du critère de la reproduction (notamment avec J. Ray; Buffon : + descendants fertiles), et clarification de la distinction espèce - variété

cette définition s'oppose à la confusion des traditions populaires (monstres nés d'accouplements « contre-nature » entre espèces différentes)

La classification des espèces

Pourquoi classer ?

➤ ***Classer pour identifier***

choix de critères visant seulement à être efficace; souvent approches dichotomiques (flores)

➤ ***Classer pour découvrir l'ordre de la nature***

les regroupements visent à être naturels

- faire intervenir *tous* les caractères
 - fin du XVIII^{ème}- début XIX^{ème} s. : B. et L.-A. de Jussieu, Adanson
 - années 1950 : phénétique numérique; cladistique contemporaine (ancêtre commun)
- réalisme des taxons supérieurs

Au XVIII^{ème} s., deux protagonistes majeurs :

- Linné (1707-1778) : essentialiste, esprit religieux; collaboration de nombreux élèves et grand prestige
 - classification artificielle, basée pour les plantes sur la seule fructification (fleur, fruit, graine)
 - introduit la classification binomiale genre – espèce, encore à la base du système actuel
- Buffon (1707-1788) : intendant du Jardin du Roi (créé en 1635), représentant typique des Lumières, grand retentissement dans le public cultivé (« *Histoire générale des animaux* », 40 volumes, de 1749 à 1804)
 - rejette cette classification artificielle
 - lui oppose la description de l'ensemble des caractères : anatomie d'ensemble, comportement, distribution géographique (biogéographie)
 - inclut l'homme dans l'échelle animale

Géologie (1) : le contexte

Remarques préliminaires :

1. double dimension de la géologie

- porte sur l'origine de la Terre et de ses transformations → dans toutes les cultures, forte imprégnation mythique et religieuse
- préoccupations pratiques (terrains métallifères, filons miniers, pétrole);
en retour, apports de la pratique : disposition des filons, découvertes de fossiles (mines, aménagement de routes et canaux)

2. en Occident, jusqu'au XIX^{ème} s., le cadre est fixé par la Bible, lue littéralement :

- histoire courte : 6 000 ans
- événement catastrophique : le Déluge, dont les eaux recouvrent toute la Terre

3. histoire de la géologie étroitement liée à celle de la biologie : paléontologie

(interprétation des fossiles, leur rôle pour dater les couches géologiques, leur rôle pour comprendre l'évolution)

A la Renaissance

- reconnaissance de terrains d'origines sédimentaire ou volcanique (mais nombreuses lacunes et erreurs)
- discussions sur la nature des fossiles : « végétations de pierre », engendrés par la roche (+ influences astrales), ou d'origine vivante et datant du Déluge (Fontenelle : fossiles = « médailles incontestables du Déluge »)

Au XVII^{ème} s.

- théories diverses sur l'origine et la structure de la Terre (Descartes, Leibniz, ...), et sur les fossiles (Hooke, ...)
- début de la stratigraphie : Niels Steensen (Sténon 1638-1686) explique la structure géologique de la Toscane par des processus physiques : superposition de couches sédimentaires + effondrements → couches inclinées et fossilifères; les couches les plus basses sont les plus anciennes

Géologie (2) : actualisme ou catastrophisme ?

Au XVIII^{ème} s.

1. - reconnaissance des corrélations à grande distance des mêmes couches (Werner), renfermant ou non des fossiles

- levé de cartes géologiques (Guettard et Lavoisier)

- progrès de la minéralogie (R.-J. Haüy)

2. Débat concernant la genèse des reliefs (orogénèse – études des Alpes par H.-B. de Saussure) :

➤ A. G. Werner (1750-1817) : théorie « neptunienne » : origine sédimentaire de toutes les roches + succession d'événements catastrophiques (effondrements)

→ approche « catastrophiste », compatible avec une histoire « courte »

➤ J. Hutton (1726-1797) : théorie « plutonienne » : chaleur interne de la Terre + pression + érosion → processus continu de génération des roches et des reliefs (plissements)

→ « uniformitarisme » ou « actualisme » : changements graduels dus aux causes encore actuelles

Avicenne avait déjà reconnu l'influence sur les paysages du volcanisme et de l'érosion – causes actuelles

→ Doutes concernant l'âge de la Terre : l'approche actualiste implique une histoire « longue »

Buffon « *Les époques de la Nature* » (1778) : utilise vitesse de sédimentation → Terre a « au moins » 75 000 ans

Lyell (1797-1875) et l'actualisme

Reconnaît le rôle de la pression et de la température dans le métamorphisme de certaines roches sédimentaires

Actualisme : non-recours à la divinité; mêmes causes qu'aujourd'hui, avec des intensités semblables; changements graduels malgré les événements violents et malgré les discontinuités stratigraphiques.

NB. fixiste en paléontologie



Fixisme ou transformisme (1) ?

Quelle est la réalité des taxons supérieurs ?

- Dieu a créé les espèces séparées par des barrières étanches : *fixisme* ⇒ tous les regroupements sont artificiels
Linné : évolue du fixisme des espèces vers la possibilité d'une origine commune des espèces d'un même genre, mais reste nominaliste en ce qui concerne les niveaux supérieurs
au XIX^{ème} s. : Cuvier, Lyell, Agassiz sont fixistes
- les regroupements correspondent à des ancêtres communs : *transformisme*
Buffon : transformisme « modéré »; reconnaît la disparition de certaines espèces, et les différences entre les faunes de l'Ancien et du Nouveau Monde
autres protagonistes : Maupertuis (1698-1759), E. Darwin, Et. et I. Geoffroy Saint-Hilaire, Lamarck, Ch. Darwin

Cuvier (1769-1832) et la paléontologie

- anatomie comparée → principes de « corrélation des formes » et de « subordination des caractères »
corrélations entre forme de l'intestin, type d'alimentation (herbivore / carnivore), dents, griffes, etc.
- fonde la *paléontologie* (vertébrés), qui utilise ces principes → succès spectaculaires et énorme influence
→ reconstitution des caractères généraux à partir de fragments caractéristiques (mammoth; utilisation des dents)
- succession des faunes : espèces différentes dans des couches différentes (*paléontologie stratigraphique*)
 - i) *extinctions d'espèces* : catastrophes
 - ii) nouvelles espèces : migrations entre continents ? créations répétées ? ne se prononce pas vraiment

Cuvier s'oppose farouchement au transformisme (opposition à Lamarck, fameux débat avec Etienne Geoffroy Saint-Hilaire devant l'Académie des Sciences en 1830) :

- corrélation des formes conçue de façon presque mathématique → pas de place pour des formes intermédiaires
- → philosophie essentialiste : discontinuités franches entre espèces
- et aussi fidélité à la lettre de la Bible (mais probablement secondaire)

NB. cet essentialisme accompagne « naturellement » son travail sur le rôle des fossiles dans la datation des couches: indispensable stabilité des espèces

Fixisme ou transformisme (2) ?

Lamarck (1744-1829) et le transformisme

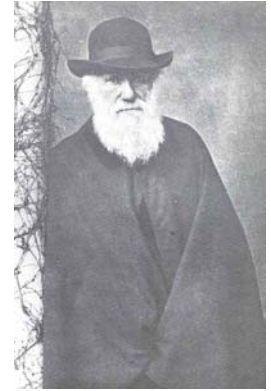
Ressemblances entre espèces + observation que les fossiles les plus anciens (couches les plus profondes) sont les plus différents des espèces actuelles → évolution des espèces (« *Philosophie zoologique* » 1809)

Mécanisme de l'évolution : processus lent et graduel, dû à l'adaptation aux modifications de l'environnement : « la fonction crée l'organe »

- changements de l'environnement → changement des actes → changement des formes (développement ou atrophie)
- transmission aux descendants des caractères modifiés
- NB. qu'il y a donc
 - *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)

Vives critiques de Cuvier : les formes intermédiaires ne sont pas observées – pas de continuité; Lamarck se défend en invoquant les lacunes des archives

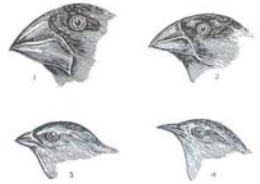
Darwin (1809-1882) et l'évolution



Petit-fils d'Érasme Darwin (1731-1802), favorable à un évolutionnisme proche de celui de Lamarck 1831-36 : naturaliste à bord du Beagle, visite l'Amérique latine, l'Océanie, les Galápagos, etc.

Imprégné des idées de Lyell (actualisme, et aussi fixisme), est frappé par

- la proximité entre certaines espèces vivantes et éteintes (tatous)
- la plus grande proximité entre espèces géographiquement proches, même si environnements physiques différents, qu'entre espèces de continents différents, même vivant dans des environnements physiques semblables
- la grande variabilité des espèces isolées géographiquement : tortues, pinsons des Galápagos



→ évolution des espèces

- « horizontalement » : variabilité géographique, importance de l'isolement

→ biogéographie (cf. Buffon, A. von Humboldt)

- « verticalement » : entre espèces fossiles et vivantes

→ mécanisme de l'évolution : sélection naturelle (influence de Malthus)

- influence de l'environnement et luttes interspécifiques, pouvant mener à la disparition d'espèces (≠ Lamarck : espèces s'adaptent – idée de « perfection »)

- et luttes intraspécifiques, entre individus de la même espèce, sélectionnant graduellement les caractères favorables, même de peu d'ampleur (ce rôle de la variabilité individuelle ≠ Lamarck)

cf. sélection artificielle des éleveurs

Avant de publier ses conclusions (plus de 20 ans après leur élaboration), Darwin se livre à des travaux approfondis en systématique

A. R. Wallace (1823-1913) : naturaliste en Amazonie (massifs forestiers isolés par bras de l'Amazone) et en Malaisie, est arrivé indépendamment aux mêmes conclusions que Darwin (évolution + sélection naturelle)

Présentation conjointe de deux communications à la Linnean Society le 1/7/1858

L'accueil du darwinisme

1859 « *L'origine des espèces* » : évolution et sélection naturelle (+ sexuelle), sur base de la variabilité individuelle :

- arguments détaillés, basés sur biogéographie, paléontologie, anatomie et physiologie comparées, morphologie, embryologie (grands progrès depuis l'époque de Lamarck !)
- l'homme inclus dans l'évolution (cf. « *La descendance de l'Homme* », 1871)

→ *révolution scientifique* : accueil favorable chez beaucoup de naturalistes et de paléontologues (contrairement à Lamarck, 50 ans plus tôt); diffusion active notamment par Th. Huxley (Angleterre, 1825-1895), E. Haeckel (embryologiste, Allemagne, 1834-1919 : l'ontogenèse comme répétition de la phylogenèse)

→ **et événement culturel majeur** – cf. Copernic

- scandale et réactions virulentes des Églises (création des espèces et surtout place de l'homme comme fruit de l'évolution, cousin du singe !)

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 ! »

- accueil enthousiaste des milieux progressistes (notamment Marx et Engels)

Impact :

- monde évolutif plutôt que statique – pour la première fois, irruption du **temps** dans la science
- négation de l'essentialisme
- processus matérialiste de la sélection naturelle plutôt que recours aux desseins divins ou à des processus téléologiques

Mais débats, qui dureront jusqu'à la « synthèse évolutionniste » des années 1930-40 (v. + loin) :

- sélection naturelle // hérédité des caractères acquis
- gradualisme // évolutions brusques (« mutations »)

En outre, utilisations sociales et politiques du darwinisme :

- « darwinisme social »
- eugénisme (F. Galton, cousin de Darwin)

II. L'hérédité

Génération et reproduction (XVII^{ème} – XVIII^{ème} s.)

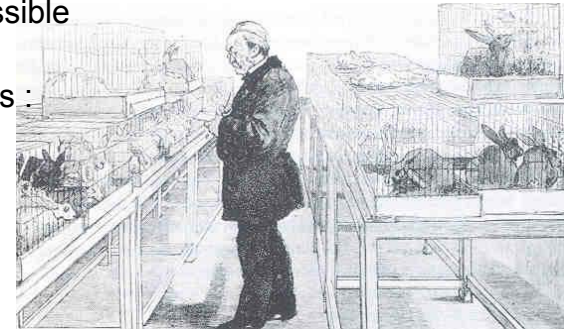
1. Question de la génération spontanée

Croyance longtemps partagée, y compris pour les animaux supérieurs (anguilles; Van Helmont pour les souris)

1668 (Fr. Redi) : pas de génération d'insectes dans enceinte isolée où ponte impossible

Spallanzani (1729-1799) : pas d'apparition des êtres microscopiques (infusoires) dans un milieu suffisamment chauffé et isolé. Mais objection des spontanéistes : le chauffage a tué la « force générative »

Pasteur (1822-1895) : polémique avec Pouchet (1861), techniques expérimentales scrupuleuses, stérilisation → microbiologie



2. La reproduction

Reproduction sexuée : immenses progrès dans la deuxième moitié du XVII^{ème} s. – rôle du microscope : spermatozoïdes (Leeuwenhoek 1677); sexualité des plantes (Camerarius 1694; connue par les agriculteurs depuis l'Antiquité, mais niée par Aristote); ovulation chez les mammifères (ovule observé pour la première fois par K. E. von Baer, 1819)

Mais aussi : parthénogenèse du puceron (Leeuwenhoek, Ch. Bonnet)

Qui porte le principe actif ?

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

3. Préformation ou épigenèse ?

Comment se fait la génération des formes ?

- préformation : préexistence du vivant dans les germes (opposés à la génération spontanée) – emboîtement des germes (« *homunculus* ») – cf. philosophie mécaniste
- épigenèse : construction progressive des formes pendant le développement de l'embryon (travaux de K. F. Wolff 1733-1794), sous l'effet d'une « *vertu formative* », « *principe vital* », par opposition au mécanisme

Cytologie, embryologie, reproduction (XIX^{ème} s.)

A partir du début du XIX^{ème} s. :

perfectionnements du microscope (combattre les aberrations; fabricant Zeiss) et des techniques de préparation
choix judicieux des matériels : végétaux, protozoaires, tissus (histologie : X. Bichat)

- ✓ universalité de la cellule
théorie cellulaire vers 1840 (Schleiden, Schwann)
distinction entre cytoplasme et noyau (Brown, 1831)
1830-1840 divisions cellulaires (« mitose ») durant le développement de l'embryon (von Baer, Reichert)
- ✓ les spermatozoïdes nécessaires à la fécondation de l'ovule (expériences de Spallanzani sur le crapaud; Nägeli chez les mousses et fougères)
gamètes (ovule et spermatozoïde) sont donc *ensemble* à l'origine de la formation de l'œuf
1875 : observation directe de la pénétration du spermatozoïde dans l'ovule (oursin)
- ✓ v. 1875-1885 : lors de la division cellulaire, matière du noyau se fractionne en chromosomes (Van Beneden, 1846-1910), en nombres pairs caractéristiques de chaque espèce
1887 : ovule et spermatozoïde comportent un nombre moitié de chromosomes (haploïdie) : réduction chromatique lors de la division des cellules mères des gamètes, la méiose (Van Beneden); l'œuf reconstruit la diploïdie
- ✓ dès lors, noyau et chromosomes reconnus comme siège de l'hérédité;
A. Weismann (1887) distingue catégoriquement dans l'organisme la lignée « germinale » (gamètes : génotype) et la lignée « somatique » (autres cellules : phénotype) → modifications affectant la lignée somatique ne peuvent affecter l'hérédité, portée par le « plasma germinatif »

→ néodarwinisme :
 - négation de l'hérédité des caractères acquis (que Darwin lui-même acceptait dans une certaine mesure)
 - variabilité génétique due à la recombinaison sexuelle (crossing-over durant la méiose)

La génétique mendélienne



G. Mendel (1822-1884) : croisements de pois (1865)

- procédure expérimentale soigneuse :
 - choix du matériel : lignées pures, caractères bien identifiés
 - éviter les contaminations (pollinisation artificielle)
 - quantification des résultats (+ admettre variance statistique) – ceci le différencie de ses contemporains (notamment Naudin, Nägeli, et aussi éleveurs et grainetiers)
- lois probabilistes, s'expliquant par l'indépendance des caractères (a heureusement choisi des caractères portés par des chromosomes différents), le type étant déterminé par la combinaison des gamètes des deux parents; distinction des facteurs dominant et récessif

Mais pas d'impact immédiat de ces travaux :

- Mendel publie peu (nouvelles fonctions monastiques), et éprouve probablement des difficultés d'interprétation d'autres expériences
- en l'absence de théorie sous-jacente, ces résultats sont essentiellement non interprétables

En 1900, les lois de Mendel sont « redécouvertes » par le botaniste H. De Vries (1848-1935), et indépendamment par E. von Tschermak et par C. Correns. Depuis Mendel, le contexte a cependant fort évolué, notamment avec le développement de la cytologie et les travaux de Weismann

De Vries insiste sur le rôle des variations héréditaires brusques et de grande ampleur (« *mutations* »).

Il s'écarte ainsi du gradualisme darwinien (sélection de variations individuelles légères, mais induisant un avantage compétitif, même faible); minimisation du rôle dynamique de la sélection naturelle, qui se limiterait à éliminer les « mauvaises » mutations

A partir de 1910, T. H. Morgan (1866-1945) montre, en étudiant les mutations de la drosophile, que les « *facteurs mendéliens* » (les *gènes*) sont portés par les chromosomes : repérage de caractères sur les chromosomes sexuels; liaison entre caractères (*linkage*), qui peuvent cependant être dissociés par enjambement (*crossing-over*), d'autant plus facilement qu'ils sont plus éloignés → réalisation de « cartes chromosomiques »

En 1927, H. J. Müller provoque artificiellement des mutations par exposition aux rayons X

Biochimie, ADN et code génétique

Fin du XIX^{ème} et XX^{ème} s. : développement considérable

- des techniques physiques et physico-chimiques : ultracentrifugation, microscopie électronique, marquage radioactif, électrophorèse, chromatographie
- des techniques biologiques et génétiques : cultures *in vitro*, construction de lignées mutées, génie génétique

1. A partir de la moitié du XIX^{ème} s., développement de la biochimie de la cellule (métabolisme) :

- *enzymes* (fermentation)
- *protéines*, reconnues comme macromolécules par centrifugation (1920)
- cycles énergétiques (ATP 1929)

2. La biologie moléculaire

- ✓ années 1930 : étude des effets des mutations mène à la loi : « un gène, un enzyme », qui lie génétique et métabolisme
- ✓ O. T. Avery (1945), M. Delbrück (1952 – « groupe du phage ») : l'information génétique est portée par l'ADN; relations quantitatives entre les 4 bases des nucléotides de l'ADN
- ✓ 1953 : Watson, Crick, Wilkins, Franklin : diffraction de rayons X par l'ADN → modèle de la double hélice : l'ADN agit comme un « code » (triplets de base correspondant à un des 20 acides aminés)
NB. solution originale au problème préformationnisme / épigénèse
- ✓ rôle de l'ARN pour transporter hors du noyau l'information de l'ADN, en vue de la synthèse des protéines (gènes codants et gènes régulateurs)

Le nouveau paradigme

Années 1930-1940 (Haldane, Wright, Fisher; puis Dobzhansky, Mayr, G.G. Thomson, J. Huxley) :

théorie synthétique de l'évolution, unissant génétique chromosomique et génétique des populations :

recombinaisons chromosomiques (*crossing-over*) et (micro-)mutations expliquent la variabilité au sein des populations; la sélection naturelle, particulièrement au sein de populations restreintes et géographiquement isolées, est dès lors le moteur de l'évolution

Théorie aujourd'hui largement popularisée, bien que probablement avec un accent unilatéral sur le rôle des mutations par rapport à la sélection

Influence forte sur les autres sciences (physico-chimie, certaines sciences humaines), par la place du temps, de l'histoire, de la notion de bifurcation

A partir des années 1950, la biologie moléculaire devient le nouveau paradigme de la biologie :

- cadre explicatif puissant, englobant tous les domaines de la biologie, en particulier génétique, évolution, métabolisme cellulaire
- outillage expérimental spécifique et très développé : équipements physico-chimiques; génie génétique
- programme de recherche : modalité d'expression des gènes; décryptage du génome
- forte structuration : institutions, équipements, financements
- enjeux sociaux majeurs : médecine, agriculture
- forte influence sur les autres sciences : notion de code

Ce paradigme fonctionne de manière extrêmement efficace. Il fonde une « science normale » qui est une formidable machine à produire des résultats. Cependant,

- certains pensent qu'elle est grosse d'une réévaluation révolutionnaire tellement elle s'est éloignée de la simplicité du cadre d'origine (*un gène, une protéine; le décryptage du code génomique fournira les clefs*) et s'est complexifiée (*plusieurs gènes, un caractère; un gène, plusieurs caractères; portions « non-codantes », dormantes, redondantes du code, etc.*)
- d'autres critiquent aussi le caractère non matérialiste, téléologique des idées de « code », « signal », etc.

Épistémologie de la biologie

1. Ne pas perdre de vue les contextes :
 - même si elle fournit le cadre paradigmatique contemporain, la biologie moléculaire n'est pas toute la biologie actuelle: physiologie (médecine), écologie scientifique
 - place des problèmes éthiques et rôle économique de la biologie (biotechnologies) au XXI^{ème} siècle
2. L'histoire de la biologie peut se raconter comme l'explicitation progressive de processus matériels à l'œuvre dans le vivant
 - le vivant ne requiert ni intervention divine
 - émergence progressive de la vie et modalités matérielles de l'évolution, plutôt que création divine
 - ni intervention d'un esprit vital non matériel
 - pas de séparation essentielle entre molécules prébiotiques et êtres vivants, pas de différence entre composés organiques et de synthèse, compréhension des mécanismes matériels de la reproduction et de la morphogenèse
3. Ceci ne conduit cependant pas à un « réductionnisme » pur et simple du biologique au physico-chimique :
 - la composition matérielle du vivant ne diffère pas de celle du monde inorganique, et les processus dans le monde du vivant ne contredisent pas les phénomènes physico-chimiques (pas de « vitalisme »);
 - souvent, étudier les phénomènes biologiques du point de vue de la molécule peut être très éclairant (ex. aspects moléculaires de la génétique);
 - cependant, les phénomènes biologiques concernent également les individus et les populations dans leur ensemble, où l'intégration des parties est la source de processus qui ne peuvent être compris par le simple examen des processus physico-chimiques sous-jacents (opposition au mécanisme)
 - de manière générale, la connaissance des hiérarchiques inférieurs dans l'ordre de la complexité n'éclaire que partiellement le fonctionnement des niveaux supérieurs, qui appellent des concepts différents (gène, mutation, recombinaison, population, isolement, etc.)
 - dans l'histoire de la biologie, l'approche purement mécaniste a généralement été un échec (« animaux-machines » de Descartes; préformationnisme opposé à l'épigenèse)

4. l'épistémologie de la biologie, c'est-à-dire son fonctionnement en tant que science, n'est donc pas la même que celle de la physique, et ne peut s'y ramener :
- par rapport à la physique la biologie se caractérise par le rôle central de l'histoire, du temps (embryologie, immunologie, évolution), qui joue un rôle actif, constructif, alors qu'il est essentiellement absent de la physique (il n'y apparaît que comme « toile de fond »);
 - ceci est lié au fait qu'en biologie l'aléatoire exerce une fonction dynamique, car en se déployant dans le champ immense des possibles, il sculpte l'évolution (des individus comme des espèces);
 - la biologie ne se reconnaît donc pas dans le déterminisme de la physique classique (prédictibilité, reproductibilité des phénomènes), ni même quantique (déterminisme statistique), – même si bien entendu il existe un déterminisme des processus physico-chimiques, de la physiologie (effet des poisons, des médicaments, etc.), et jusqu'à un certain point de l'hérédité;
 - en fin de compte, c'est le sens même de l'intelligibilité qui diffère entre physique et biologie :
 - avec la révolution scientifique a triomphé, dans la physique classique, l'intelligibilité comme relation constante (mathématique) entre phénomènes;
 - mais alors que la description mathématique joue un rôle constitutif pour la physique, elle n'a aucune puissance explicative en biologie (les mathématiques n'y jouent qu'un rôle d'appui, p. ex. pour une *modélisation* de certains problèmes qui ne se prétend pas une *explication*)
 - en effet, la biologie, singulièrement pour étudier l'évolution et la morphologie, renoue avec la question du « pourquoi », - du moins en tant qu'approche heuristique, excluant cependant finalisme et vitalisme

L'aspect de la Terre

L'âge de la Terre

Jusqu'au XIX^{ème} s. : influence générale d'une lecture littérale des Écritures

→ histoire courte (6000 ans)

→ catastrophisme : succession de Déluges – cf. neptunisme

Cette chronologie courte est remise en cause :

- par le courant « actualiste », se référant aux vitesses actuelles de sédimentation, d'érosion (cf. Buffon)

- et suite au développement de la stratigraphie (superpositions locales des couches et corrélations à distance : cartes géologiques) et de la paléostratigraphie (corrélation avec les fossiles)

→ définition d' « étages » superposés : p. ex. d'Orbigny (1802-1857) : 28 étages (et autant de « créations » !)

A la fin du XIX^{ème} siècle, une image globale se forme (incorporant la théorie de l'évolution) → estimation de l'ordre de quelques milliards d'années

cependant, estimations sensiblement plus courtes (env. 40 millions d'années) par le physicien Kelvin, qui ne prend pas en compte la radioactivité, non encore découverte

Au cours du XX^{ème} s. : chronologie absolue par la radioactivité des roches (NB. dans un cadre actualiste !)

L'aspect de la Terre

Comment s'est constitué l'aspect actuel de la Terre ?

- F. Bacon, puis Buffon, A. von Humboldt ont reconnu la similitude d'aspect des côtes européennes et américaines
- au cours du XIX^{ème} s. : reconnaissance de continuités géologiques et faunistiques (+ effets de l'évolution)

A la fin du XIX^{ème} s., dans un climat très optimiste (publication d'une « carte de la Terre »), une théorie générale est proposée (E. Suess (1831-1914) : « *La face de la Terre* »)

- le refroidissement de la Terre entraîne sa contraction → aspect « fripé » dû à l'effondrement de morceaux de croûte
- les continuités sont dues à d'anciens ponts continentaux effondrés

Cependant,

- la gravimétrie révèle que les continents (sial) sont moins denses que le substrat (sima) → effondrements impossibles
- la découverte de la radioactivité des roches s'oppose à la théorie du refroidissement

La tectonique

Frank B. Taylor (1860-1938) : chaînes du Tertiaire dues à des collisions entre protocontinents (1910)

Alfred Wegener (1880-1930) : en 1912-14 :

- critique la théorie des effondrements et insiste sur les continuités géologiques et paléontologiques, sur la similitude des côtes et sur les études paléoclimatiques (indiquant que les pôles se trouveraient sous environ 45° de latitude)
- explique l'aspect actuel de la Terre par la fragmentation de la « Pangée » (compression → montagnes, étirements → zones océaniques)

Du Toit (1878-1948) : années 1930 : 2 grands ensembles reconnus sur base stratigraphique : Gondwana (Amérique du Sud, Afrique, Inde, Madagascar) et Laurasia (Amérique de Nord et Eurasie)

Cependant, théorie mal accueillie :

- nombreuses critiques de détail sur les continuités relevées
- surtout : Wegener veut expliquer fragmentation et dérive par les effets de marée lunaires, alors que ces effets sont beaucoup trop faibles (+ de 10 ordres de grandeur), et de surcroît auraient dû arrêter la rotation de la Terre en 1 an !

Un nouveau paradigme

Après la deuxième guerre mondiale : convergence entre

- nouvelles données expérimentales :
 - le paléomagnétisme montre que les pôles semblent s'être déplacés de 50° (peu compatible avec stabilité de la rotation de la Terre), mais aussi que les déplacements évalués sur différents continents ne correspondent pas
 - études des fonds océaniques : les dorsales océaniques sont le siège d'activité volcanique; les couches sédimentaires à proximité des dorsales sont beaucoup moins épaisses et plus jeunes qu'attendu, et d'autant plus jeunes que plus proches
 - les inversions de champ magnétique (paléomagnétisme des laves) forment des bandes parallèles aux dorsales, qui se correspondent si l'on prend en compte des glissements parallèles aux dorsales (failles transformantes)
- et explication théorique :
 - A. Holmes (1890-1965) : volcanisme insuffisant pour évacuer la chaleur d'origine radioactive
 - courants de convection ascendants et descendants + force de Coriolis → tensions et compressions sous la croûte

Au cours des années 1960, la nouvelle vision s'impose comme paradigme, offrant un cadre pour la géologie, la volcanologie, le paléomagnétisme, etc.

Pourquoi ce long délai, alors que Wegener avait avancé l'essentiel des arguments retenus aujourd'hui comme convaincants ?

- le paradigme régnant depuis (Descartes et) Hutton, à savoir feu central (cf. volcans) et refroidissement, fournit un cadre suffisant à de nombreux spécialistes
- en outre, les dimensions pratiques de la géologie (mines etc.) ne sont *pas* affectées par le cadre théorique général, - même si les recherches spécialisées (océanographie, paléomagnétisme) apportent progressivement de nouveaux éléments

Dans ce contexte, l'approche de Wegener

- vient donc « trop tôt » (cf. Mendel) : il n'y a pas d'urgence à changer de paradigme
- et surtout elle ne possède pas de support théorique satisfaisant (l'explication de W. n'est pas plausible)

Histoires de mathématiques

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

A propos de l'histoire des mathématiques

Par rapport aux sciences naturelles, spécificités frappantes de l'histoire des maths. : permanence de certaines questions, pertinence des résultats, et des méthodes

→ dimension internaliste accentuée :

- questions posées par les sciences connexes (astronomie, physique, économie, etc.) peuvent être sources d'inspiration, mais l'histoire des math dépasse de très loin celle des math appliquées
- faible dépendance par rapport à l'instrumentation
- sociologiquement : travail individuel ou en très petits groupes, fertilisé par des séminaires

La périodisation de l'histoire des maths en termes de paradigmes, de révolution scientifiques et de « science normale » ne comporte donc pas au même degré l'ensemble des aspects structurant l'histoire des sciences naturelles.

Mais on peut y retrouver les caractéristiques principales de l'analyse kuhnienne :

- reconnaissance d'« anomalies » et identification de questions cruciales;
- l'identification de ces questions et les réponses qui y sont apportées caractérisent différentes « visions du monde », autour desquelles se développent des « écoles »;
- impacts de ces développements révolutionnaires sur les autres sciences et sur la culture.

cf. en particulier :

- débats sur les « fondements » : géométries non-euclidiennes; mathématisation de l'infini (Cantor); théorèmes d'indécidabilité (Gödel, Cohen), qui ont tous les aspects de « révolutions scientifiques »
- alternances entre périodes de recherches « empiriques » (début de l'analyse) et de « rigueur » (analyse, construction des réels au XIX^{ème} s.), entre « intuition » et « formalisme » (début du XX^{ème} s.) – en fait alternances dans la fertilité des approches plutôt que questions de principe !

En outre, débat sous-jacent sur la nature des objets mathématiques :

- approche « platonicienne » : objets mathématiques « préexistent » dans un « troisième monde » (Popper)
- objets mathématiques « construits » socialement
 - par abstraction (Aristote) : nombre, ligne, etc.
 - en raison de leur utilité, de leur fertilité (mathématique)

I. Les nombres

Nombres et dénombrement

En bref : histoire des nombres = histoire d'un élargissement progressif

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)

voir Égypte, Mésopotamie

En Grèce

- école pythagoricienne : « les nombres (naturels) sont tout » : mystique des nombres, législateurs de l'univers, aux propriétés merveilleuses; étude de leurs caractéristiques qualitatives (nombres premiers, géométriques, amis, etc.)
- insistance sur la rigueur de la *démonstration*

NB. contraste avec calculs approchés, mais pleins de dextérité, des babyloniens

« Crise des irrationnels » : $\sqrt{2}$ ne peut s'écrire sous la forme p/q → n'est pas un nombre

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

$\sqrt{2} = a/b \Rightarrow a^2 = 2b^2 \Rightarrow a^2$ est pair $\Rightarrow a$ est pair $\Rightarrow a^2$ est multiple de 4 $\Rightarrow b^2$ est pair $\Rightarrow b$ est pair \Rightarrow

a et b sont tous deux multiples de 2, contrairement à l'hypothèse.

→ la géométrie prend définitivement le pas sur le calcul (cantonné dans la sphère du pratique), car elle se prête à des démonstrations rigoureuses : Euclide, Apollonios, Archimède, etc.

(l'existence de lignes « incommensurables » (côté et diagonale du carré) est reconnue, mais on n'en prend pas le rapport → elles ne renvoient pas aux irrationnels)

Les chiffres indiens, l'algèbre

Moyen-âge arabe : influence des traditions grecque et indienne

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

- rapporte d'Inde la numération décimale et la notation de position, c.-à-d. les neuf chiffres + zéro comme *chiffre*

Traité sur l'art de compter des Indiens : présentation du système décimal + les opérations élémentaires + problèmes pratiques issus du commerce (change) et calculs d'héritages

- étude systématique de l'équation 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).

- pour s'y ramener : usage de « al-jabr et al-muqabala » : *algèbre*

Résolution par al-jabr et al-muqabala de

al-jabr: "complément": se ramener à coefficients positifs

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

coefficient 1 pour x^2

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

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

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

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

- démonstrations géométriques des algorithmes; seules les racines positives sont admises : ni nombres négatifs, ni zéro (ce n'est pas un *nombre*, c'est le *néant*)

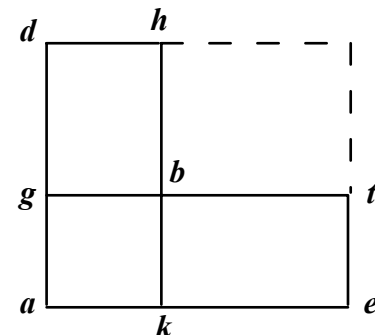
« Que le carré et dix racines valent 39 unités.

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. »

On retrouve bien l'algorithme moderne, avec pour seule solution acceptée la solution positive.

Al-Khwarizmi donne la preuve en posant 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 et Renaissance

Successeurs arabes : géomètres algébristes (notamment Omar Khayyam (ca. 1050,1123) (Samarkand, Ispahan) : solutions géométriques de l'équation du troisième degré

Résoudre $x^3 + ax^2 + b^2x + c^3 = 0$
On substitue $x^2 = 2py$ *parabole*
-> il vient $2pxy + 2a py + b^2x + c^3 = 0$ *hyperbole*
la solution est l'intersection des deux courbes

Moyen-âge occidental

- Gerbert d'Aurillac (940,1003) : contacts avec les Arabes en Espagne; première introduction des chiffres arabes
- les traducteurs (XII s): traductions d'Euclide, Ptolémée, Al-Khwarizmi, etc.
- XIIIe siècle : notamment Léonard de Pise, dit Fibonacci (1180,1250), fils de commerçant établi en Afrique du Nord : chiffres arabes + problèmes algébriques + questions difficiles de théorie des nombres
- mais au sein de l'Université (quadrivium), l'arithmétique = propriétés pythagoriciennes des nombres

Renaissance

Développement de l'intérêt pour le calcul (hors des universités !); sous l'influence du développement de la banque, nouveau milieu de mathématiciens professionnels

- traités pratiques (problèmes de change, comptabilité en partie double, partages de bénéfices); algèbre moins attachée aux démonstrations géométriques
- premières solutions négatives acceptées (influence de la comptabilité en partie double ?); affirmation du zéro comme *nombre*
- mise en place d'une notation symbolique

algébristes allemands notamment utilisent x pour la racine (la « chose »); signes + - = $\sqrt{\quad}$

S. Stevin (1548,1620) : notation des exposants pour les puissances

F. Viète (1540,1603) : utilisation de lettres pour les paramètres

Les imaginaires

Dans un contexte de « défis » entre mathématiciens : découverte d'algorithmes pour la résolution de l'équation du troisième degré (Fiore, Tartaglia, Cardan)

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

→ solutions pour lesquelles l'algorithme implique la racine de nombres négatifs !

$x^3 = 15x + 4$ admet pour solution 4, alors que l'algorithme donne $x = (2 + \sqrt{-121})^{1/3} + (2 - \sqrt{-121})^{1/3}$

Autre problème impliquant des racines de nb. négatifs : trouver deux nb. dont la somme est 10 et le produit 40 : $5 + \sqrt{-15}$ et $5 - \sqrt{-15}$

Bombelli (Bologne, ca. 1522,1572) a "*une pensée sauvage*", qui "*semble reposer sur un sophisme*" : il traite formellement et opère avec $\sqrt{-1}$. Progressivement, on s'habitue à manipuler les racines de nombres négatifs comme intermédiaires dans les calculs

Euler (1707,1783) $e^{ix} = \cos x + i \sin x$; la trigonométrie cesse d'être une branche indépendante des maths. étude systématique de l'équation de degré n → solutions complexes

Gauss (1777,1855) : représentation géométrique (cf. vecteurs) et notation $a + bi$: appel à l'évidence géométrique

Le concept de nombre s'est ainsi élargi aux négatifs (et au zéro !), aux irrationnels et aux imaginaires

Cependant, au XIX^{ème} s. encore, certains mathématiciens (Kronecker) refusent de considérer les irrationnels comme des nombres

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

Remarque : dans une tradition mathématique différente, marquée par l'intuition, l'analogie et l'association plutôt que par la rigueur grecque, les mathématiciens indiens ont manipulé le zéro comme nombre dès le VII^{ème} s. :

Brahmagupta (fl. 628) : solution générale de l'équation quadratique (y compris solutions irrationnelles et négatives)

Bhaskara (1114, ca. 1185) : le résultat de la division par zéro est l'infini

II. L'infini

Les apories de l'infini

Zénon d'Élée (v. -490, v. -425): le mouvement est impossible si l'espace est indéfiniment divisible

La Dichotomie: un mobile issu d'un point pour en atteindre un autre doit d'abord parcourir la moitié de la distance, puis la moitié de la distance restante, puis encore la moitié de cette moitié, etc. Il ne pourra donc pas atteindre son objectif en un temps fini.

L'Achille: Achille ne pourra rattraper la tortue partie avant lui: quand il atteindra l'endroit d'où est partie la tortue, elle aura progressé jusqu'en un autre point; quand il atteindra ce point à son tour, la tortue aura de nouveau avancé, etc.

NB. Zénon montre par d'autres apories (*la flèche*, *le stade*) que si l'espace et le temps ne sont pas indéfiniment divisibles, le mouvement est également impossible

→ pour les Éléates (Xénophon, Parménide, Zénon), le monde n'est qu'illusion

L'infiniment grand est également contradictoire

Si d'une ligne supposée infinie on enlève une partie finie, le restant est soit fini, soit infini

- dans le premier cas, la somme de deux quantités finies (ce qui est enlevé et le reste) serait infinie, ce qui est absurde
- dans le deuxième cas, la ligne tronquée mais infinie serait aussi grande que la ligne infinie initiale et la partie stricte serait aussi grande que le tout, ce qui est absurde

En géométrie, le rejet de l'infini se traduit pas la méthode d'exhaustion

Exemple : démontrer que le rapport de l'aire de deux cercles est comme le rapport du carré de leurs diamètres.

Soient les cercles d'aires a et A , de diamètres d et D . Il faut démontrer que $a / A = d^2 / D^2$.

Supposons qu'il n'en soit pas ainsi, et que $a / A > d^2 / D^2$.

Dès lors, il existe un cercle d'aire a' , avec $a' < a$, tel que $a' / A = d^2 / D^2$ (1)

Il existe donc un polygone d'aire p , inscrit dans a , et tel que $a' < p < a$ (2)

Considérons le polygone d'aire P , semblable à p et inscrit dans A . On sait par ailleurs que le rapport p / P est égal au rapport d^2 / D^2 des carrés des diamètres des cercles circonscrits a et A .

On a donc $p / P = a' / A$, par (1). Comme $p > a'$ par (2), il faut donc $P > A$, ce qui est absurde puisque P est inscrit dans A .

Une autre discussion par l'absurde, où $a / A > d^2 / D^2$, complète la démonstration.

On n'a donc en aucune manière considéré le cercle comme un polygone à nombre infini de côtés infiniment petits. On ne le considère pas non plus comme la *limite* d'une suite de polygones, notion étrangère aux Grecs. Tout se joue dans le fini.

L'infini et la pensée grecque

Le rejet de l'infini en mathématique rejoint sa dévalorisation générale par l'ensemble de la pensée grecque

La notion d'*infini* renvoie d'ailleurs à celle d'*indéfini* (απειρον), de chaos initial, de matière brute d'un monde non encore structuré, non mis en forme

1. La distinction entre acte et le puissance chez Aristote

« *L'être est, le non-être n'est pas* » : Parménide nie non seulement le vide, mais aussi le mouvement (qui est passage de l'être au non-être et du non-être à l'être) et le monde que nous croyons connaître, qui ne sont donc qu'illusion (cf. apories de Zénon)

Solution d'Aristote : distinction entre *acte* (ce qui existe réellement) et *puissance* (ce qui n'existe pas *réellement*, mais est contenu en puissance dans l'existant, et peut venir lui-même à l'existence)

Le mouvement est l'acte de ce qui est en puissance, en tant que qu'il est en puissance

L'infini n'existe pas en acte, réellement (cf. apories), mais il peut exister *en puissance*, comme dans la suite des nombres naturels, qui n'a pas de fin mais dont le terme (l'infini en acte) n'est jamais atteint

Cependant, en général et en particulier pour l'infini, le potentiel est inférieur à l'actuel, car il lui manque un bien suprême, l'existence

2. Physique et cosmologie

- le système d'Aristote est construit autour de la notion de monde sphérique, structuré autour d'un centre, qui est immobile, et forme le lieu naturel des graves – tout ceci est incompatible avec un univers infini (pas de centre, pas de référence pour le repos et le mouvement, toute la physique des lieux s'effondre)

- opposition radicale à l'atomisme, où les atomes dérivent dans le vide d'un monde infini

- NB. : pour Aristote, le monde est éternel, mais cette éternité du temps échappe aux impossibilités de l'infini en acte, car le passé et le futur ne coexistent pas → le temps n'est pas infini *en acte*

3. Logique

Pas de régression infinie des causes

Il existe un premier moteur, cause du mouvement dans l'univers, et ce premier moteur est immobile. Sinon en effet le moteur devrait lui-même être mis en mouvement, et ainsi de suite

Moyen-âge, Renaissance : valorisation de l'infini

Fin de l'Antiquité et Moyen-âge

La question de l'infini est abondamment discutée

- contexte scientifique aristotélicien
- mais nouvelles composantes, s'influençant réciproquement : néoplatonisme (Plotin, Proclus) et religions monothéistes (Philon d'Alexandrie, saint Augustin, Avicenne)
- et ces réflexions font éclater le cadre aristotélicien

1. Remise en cause de l'éternité du monde, contraire à la Révélation

argument philosophique : un monde éternel serait contradictoire

La Lune et le Soleil auraient tous deux parcouru un nombre infini de révolutions, mais en raison de leurs périodes différents, ces deux infinis seraient différents → absurde

Réponse de N. Oresme (1302-1382, Sorbonne et évêque de Lisieux) : on ne peut comparer des infinis différents

Le nombre des âmes formerait un infini actuel, ce qui serait absurde

Réponse d'Avicenne : l'infini en acte ne vaut que pour ce qui a une dimension matérielle

Par contre Dieu est éternel, et ceci n'est pas contradictoire

L'infini ne vaut que dans le quantitatif, et Dieu échappe à la quantité

2. L'infini est progressivement associé à Dieu

En effet, Dieu ne peut être défini positivement, mais seulement négativement : il est *in-fini*, *in-créé*, etc.

L'infini se charge désormais de valeurs positives

Lors de la condamnation à Paris des 219 thèses « averroïstes » en 1272, affirmation très forte de la toute-puissance de Dieu, qui ne peut être limitée par les cadres aristotéliciens (en particulier en ce qui concerne le vide et l'infini)

Renaissance

- La valorisation de l'infini éclate : N. de Cuse, G. Bruno (1548-1600)

Dans son infinie bonté, Dieu a peuplé l'univers infini d'une infinité de mondes → Bruno est copernicien, mais va plus loin que Copernic (resté fidèle à un univers sphérique et fini)

- Les réflexions sur l'infinité de Dieu et sa toute-puissance conduisent à penser un espace infini (mais non coextensif à Dieu), qui servirait de réceptacle au monde

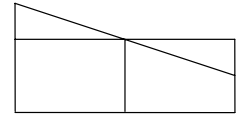
Rupture avec Aristote, où un corps et un « espace » séparé ne peuvent occuper le même lieu - préparation à l'espace newtonien

Le calcul différentiel et intégral

Les scolastiques

Au XIV^{ème} s., travaux sur le mouvement, préparant la notion de vitesse instantanée

Démonstration du théorème de la vitesse moyenne par N. Oresme (mouvement « uniformément difforme » = acc. constante)
Le temps est porté en abscisse, la vitesse (uniformément variée) en ordonnée. L'aire sous la courbe (trapèze) représente le chemin parcouru. Elle est la même que celle du rectangle de même base et de hauteur égale à la moyenne des vitesses initiale et finale.



Le tournant du XVII^{ème} s.

Kepler : manipule librement des « infiniment petits » pour calculer le volume des tonneaux (1615)

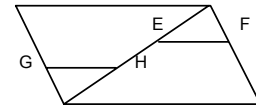
Cavalieri (1598,1647) : les « *indivisibles* » : pas définis précisément, mais ont une dimension de moins que l'objet à évaluer. Cavalieri évite de faire la « somme » d'un nombre infini d'éléments de taille « nulle »

La diagonale divise un parallélogramme en deux triangles égaux.

Démonstration : à chaque indivisible (càd à chaque segment) de l'un des triangles (EF) correspond un indivisible de l'autre (GH)

→ les deux triangles ont même aire.

NB. qu'on n'a pas dit que chaque triangle est la somme de ces indivisibles, mais on se sert de la correspondance entre eux pour calculer



Toricelli, Roberval, Fermat, Pascal, Wallis, Barrow travaillent les questions de la sommation (« quadratures » c.-à-d. mesure de la surface sous une courbe = intégrale définie) et de la différenciation (problème des tangentes)

→ fondation de l'analyse par Newton (dès 1666 mais non publié) et Leibniz (1685) (querelle de priorité...)

- Leibniz (1646-1716) : calcul différentiel → « algèbre des infiniment petits », intégrales définies; notations efficaces
→ large diffusion sur le Continent (avec Jacques et Jean I Bernouilli)

- Newton : se concentre sur l'intégrale indéfinie (taux de variation de l'aire)

Mais difficultés d'interprétation → 3 versions successives :

- infiniment petits – mais qu'est-ce qu'une somme infinie d'infiniment petits ?

- « *fluxions* » = vitesse instantanée de variation de quantités (*fluentes*) variant continûment avec une variable de référence (temps)
– plus intuitif, mais le problème est simplement déplacé

- « *méthode des premières et dernières raisons* » : la « *dernière raison des variations évanouissantes* » est la limite du rapport des fluentes; proche de la notion moderne de dérivée

Malgré la faiblesse des bases philosophiques, extraordinaire efficacité du calcul différentiel et intégral aux

XVII^{ème} - XVIII^{ème} s. ;

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

Mais une rigueur accrue devient nécessaire

exhibition de cas « pathologiques », p. ex. Bolzano : fonction continue non différentiable (1834)

Le XIX^{ème} s. : le siècle de la rigueur

- définitions systématiques par A.-L. Cauchy (1789-1857) :
concepts de nombre, variable, fonction, limite remplacent l'intuition géométrique ou cinématique comme bases de l'analyse
notions centrales = dérivée (pas différentielle) et somme (pas primitive)
- K. Weierstrass (1815, 1897) : *arithmétisation de l'analyse*
introduction du formalisme précis encore en vigueur aujourd'hui, la notion vague d'*infinitésimal* ayant désormais disparu de l'analyse
- Dedekind (1831, 1916) : définition des réels (coupure)
- Georg Cantor (1845, 1916) : construction de l'arithmétique à partir des ensembles

Une mathématique de l'infini

Cantor : les ensembles fondent les naturels, mais comment établir une théorie des ensembles infinis ?

en particulier, quand définir 2 ensembles infinis comme « égaux » ?

cf. la remarque de Galilée : l'ensemble des naturels semble plus grand que celui des pairs; pourtant, à chaque entier positif correspond son double, et inversement à chaque pair correspond un entier

→ notion d'égalité remplacée par celle de « puissance » (« cardinal ») :

2 ensembles ont même puissance si on peut établir entre eux une bijection (p. ex. entre naturels et pairs)

C'est un retournement : les « paradoxes » de l'infini sont utilisés pour le définir

Dedekind : ensemble infini : qui peut avoir la même puissance qu'une de ses parties strictes; ensemble fini : qui n'est pas infini

Sur cette base, et avec la notion d'*ordre*, une mathématique de l'infini devient possible :

- nouveaux nombres : transfinis

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

- comparer les infinis : parmi les réels, il existe 2 classes :

- on peut établir une bijection entre rationnels et naturels – ils ont la « *puissance du dénombrable* »

les rationnels peuvent être classés selon un ordre défini, avec chacun son numéro, d'après la somme de leur numérateur et de leur dénominateur

- les réels forment une classe qui n'est pas dénombrable – ils ont la « *puissance du continu* »

si une suite dénombrable de tous les réels était prétendue exister, on pourrait construire un nouveau réel qui n'appartiendrait pas à cette suite : représenter les réels de la suite sous forme décimale, et créer un nombre qui diffère du 1^{er} terme par la 1^{ère} décimale, du 2^{ème} par la 2^{ème}, etc.; ce nouveau nombre serait différent de chaque nombre de la suite, et n'y appartenirait pas.

Si de tels nombres étaient en quantité dénombrable, ils pourraient être ajoutés à la suite sans qu'elle cesse d'être dénombrable et on pourrait recommencer le raisonnement → ils doivent être indénombrables.

La théorie des ensembles semble donc offrir une base solide à l'arithmétique, qui elle-même fonde l'analyse.

Mais de terribles ébranlements :

– de nouveaux paradoxes obligent à la prudence (redéfinition des définitions acceptables d'ensemble)

paradoxe de Russel : soit l'ensemble E de tous les ensembles qui ne sont pas une partie d'eux-mêmes. Cet ensemble fait-il partie de E ?

Répondre oui (E est une partie de E) comme répondre non (E n'est pas une partie de E) mène à une contradiction

– surtout : dans le cadre d'un système d'axiomes supposé consistant, il existe des propositions indécidables (pouvant être vraies et pouvant être fausses) – en particulier, celle de savoir si le système est consistant ! (Gödel 1931)

– dans le cadre du système d'axiomes qui fondent l'arithmétique, l'*axiome du choix* (en pratique, la question de savoir si \aleph_0 la puissance du continu est immédiatement supérieure à celle du dénombrable) est *indécidable* (Cohen 1963)

III. Les géométries non-euclidiennes ; intuitionnisme et formalisme

Des géométries *anti-euclidiennes* aux géométries *non-euclidiennes*

Durant l'Antiquité, le Moyen-âge arabe (notamment O. Khayyam), au XII^{ème} et au XVIII^{ème} s. (Wallis, Lambert, Saccheri, Taurinus), nombreuses tentatives de démonstrations par l'absurde du postulat d'Euclide

L'espoir est d'arriver à des contradictions si l'on part d'une hypothèse contredisant la postulat ou l'une de ses conséquences (p. ex. sur la somme des angles du triangle)

Les mathématiciens se convainquent progressivement qu'il n'est sans doute pas possible de démontrer le postulat, mais la plupart pensent que seule la géométrie euclidienne a du sens.

Vers 1825, N. Lobatchevski (1793-1856) et J. Bolyai (1802-1860) construisent des géométries non-euclidiennes cohérentes, mais leurs travaux sont violemment rejetés; K. F. Gauss (1777-1855), arrivé aux mêmes résultats, n'a pas publié afin d'éviter les polémiques.

Après 1850, les choses changent progressivement suite aux travaux de Riemann (1826-1866), et avec la présentation de modèles de géométries non-euclidiennes sur des surfaces (p. ex. sphère) plongées dans l'espace euclidien.

Une nouvelle conception des mathématiques; l'approche formaliste

L'opposition des mathématiciens « intuitionnistes » est virulente :

« On ne peut servir deux maîtres à la fois; on ne peut servir à la fois le vrai et le faux. Si la géométrie euclidienne est vraie, alors la géométrie non-euclidienne est fausse; et si la géométrie non-euclidienne est vraie, alors c'est la géométrie euclidienne qui est fausse. »

Mais de nombreux mathématiciens reconnaissent que le critère de vérité d'une géométrie réside seulement dans sa cohérence, non dans son adéquation avec l'intuition ou le monde physique.

« Pour autant que la géométrie est certaine, elle ne nous dit rien du monde réel; et pour autant qu'elle nous dit quelque chose touchant notre expérience, elle est incertaine. » (A. Einstein)

La reconnaissance du caractère mathématiquement satisfaisant des géométries non-euclidiennes représente donc un choc profond, en rupture avec l'approche kantienne fondée sur l'évidence *a priori* de l'espace euclidien.

Avec les travaux sur l'infini, cette « *révolution copernicienne* » va conduire aux tentatives de construction purement axiomatique des mathématiques, sans recours à aucune forme d'intuition (D. Hilbert).

Mais cette approche formaliste elle-même connaîtra ses limites dans les théorèmes d'indécidabilité (Gödel, Cohen).

Les révolutions scientifiques du XX^{ème} s. en physique

Relativité

Mécanique quantique

Unifications et synthèses

I. Première moitié du XX^{ème} siècle : la mise en place

1. lumière, électricité, magnétisme

- nature ondulatoire de la lumière (franges d'interférence, T. Young 1801); 2 polarisations transversales
- électrostatique : XVII^{ème} s. : O. von Guericke; salons du XVIII^{ème} s.; Cavendish, Coulomb
courants : suite à l'invention de la pile par Volta; Ampère; Faraday
- magnétisme : propriétés des aimants : W. Gilbert (XVII^{ème} s.)
effets magnétiques des courants : Oersted, Ampère

2. le développement du machinisme et la thermodynamique

- S. Carnot : « *Réflexions sur la puissance motrice du feu* », 1824
- l'énergie et l'impossibilité du mouvement perpétuel de première espèce : Joule (1845), Meyer
- l'entropie et l'impossibilité du mouvement perpétuel de seconde espèce : Clausius (1850), Kelvin

3. les atomes

II. Deuxième moitié du XX^{ème} siècle : le temps des unifications

1. la synthèse électromagnétique

- unification de l'électricité et du magnétisme par Maxwell (1864), avec l'utilisation des concepts de champ (Faraday 1830) et de potentiel (cf. Lagrange en mécanique)
- unification avec la lumière, comprise comme une onde électromagnétique
- production et détection d'ondes « radiométriques » par Hertz (1887)

2. la synthèse mécanique et atomique

- synthèse newtonienne de la physique et de la cosmologie
- interprétation de la thermodynamique en termes de mécanique statistique (Maxwell, Boltzmann, Gibbs)

« Une science presque achevée »

Vers la fin du XIX^{ème} siècle, optimisme de « la Belle Époque »

- progrès de l'industrialisation (malgré les crises de surproduction périodiques)
- colonisation triomphante et « mission civilisatrice » (par le sabre et le goupillon !)
- progrès social : mouvement ouvrier
- recul de « l'obscurantisme clérical » (« *Scientia vincere tenebras* »)

Dans les sciences également, c'est l'euphorie :

- sciences de la Vie : progrès foudroyants de la médecine (Cl. Bernard, Pasteur); théorie de l'évolution; biochimie
- sciences de la Terre : pour la première fois, la Terre entière est connue; géologie, paléontologie
- explosion de la chimie, organique et inorganique, académique et industrielle
- quant à la physique :

La science physique forme aujourd'hui, pour l'essentiel, un ensemble parfaitement harmonieux, un ensemble pratiquement achevé.

Lord Kelvin

Au tournant du siècle :

- confirmation de l'atomisme, et approfondissement de la structure corpusculaire profonde de la matière : le « rayonnement cathodique » est composé d'électrons (J. Perrin, J.-J. Thomson 1897)
- et surtout, des découvertes absolument inattendues :
 - des rayons qui traversent la matière : les rayons X (Röntgen 1895)
 - et d'autres rayons encore, appelés à bouleverser la science et la société :
 - la radioactivité (Becquerel 1896)
 - de nouveaux corps (polonium, radium : P. et M. Curie 1898, 1902)
 - la transmutation radioactive (Rutherford et Soddy 1902)
 - le noyau de l'atome (Rutherford 1911)

Pourtant, Lord Kelvin avait identifié « *deux nuages* », concernant

- la mesure de la vitesse de la lumière à travers l'éther – le point de départ de la Relativité restreinte
- le rayonnement du corps noir – le point de départ de la Mécanique quantique

La théorie de la relativité

« Paradoxes » de la propagation de la lumière :

- onde, mais le milieu vibrant (l'*éther*) non détecté lors du mvt. des planètes (espace « vide » de la méca. de Newton)
- expériences de Michelson et Morley (1881 et 1887) : invariance de la vitesse c de la lumière, malgré mvt. de la Terre dans l'éther
=> violation de la loi galiléenne d'addition des vitesses

A côté des 2 principes de la thermodynamique, dimension *fondamentale* du « principe de relativité » (Poincaré, Einstein) :

impossibilité de détecter mouvement inertiel (cf. Galilée)

autrement dit : les lois de la physique doivent être *invariantes* pour transformations galiléennes

or les éq. de Maxwell ne le sont pas (ex. : constance de c)

1905 Einstein et Poincaré (cadres différents, mais mathématiquement équivalents) : **Relativité restreinte**

- *abandon du temps absolu* de Newton : 2 événements simultanés pour un observateur ne le sont pas nécessairement pour un autre; abandon de la simultanéité, de l'antériorité et de la postériorité absolues
- transformations de Lorentz (pour le mouvement inertiel) : *dilatation du temps*, *contraction des longueurs* d'un corps, lorsqu'ils sont mesurés par un observateur en mouvement
- unification de la masse et de l'énergie : $E = m c^2$
- chez Einstein : abandon de l'éther

1917 Einstein : extension du principe de relativité : équivalence entre mouvement uniformément accéléré et champ gravitationnel (le paradigme de l'ascenseur) → **Relativité générale**

vérification en 1919 : Eddington : déviation de la lumière d'une étoile par le Soleil lors d'une éclipse

Révolution scientifique « paradigmatique » (!)

- ✓ rôle d'une « anomalie » prise comme enjeu central pour certains savants → nouveau paradigme
- ✓ remise en cause du *cadre* newtonien (espace et temps absolus) – changement de *point de vue*
- ✓ mécanique newtonienne = *cas particulier* de la mécanique relativiste (pas simple alternance de théories !)

De plus, Relativité = violent **choc culturel**, au-delà même de la physique

- ✓ bouleversement des notions du temps, de l'espace, de la matière – abandon des conceptions de Kant (= *a priori*)
- ✓ climat de l'époque : « *tout est relatif* » : cf. effondrement des empires après la guerre ; cf. Freud et l'inconscient
- ✓ 2^{ème} moitié du XX^{ème} s. : diffusion de la théorie du Big Bang, dans le cadre de la Relativité générale

La mécanique quantique

Planck 1900 : spectre de rayonnement du corps noir implique émission discontinue d'énergie

Einstein 1905, 1907 : lien avec l'effet photoélectrique; diminution de la capacité calorifique des atomes à basse T

Rutherford 1911, Bohr 1913 : stabilité du modèle planétaire de l'atome expliquée par quantification du rayonnement

Einstein 1917 : émission spontanée et induite; concept de photon; Compton 1923 : vérification de la nature corpusculaire du photon

de Broglie 1924 : suggestion de la nature ondulatoire de l'électron; Davisson et G.P. Thomson 1927 : diffraction d'électrons

1925-1926 : mécanique quantique : 3 approches, reconnues mathématiquement équivalentes :

1. Schrödinger; 2. Heisenberg, Born et Jordan, et Bohr; 3. Dirac

Born : interprétation probabiliste de l'onde de Schrödinger (pas une onde matérielle)

Heisenberg 1927 : principe d'incertitude

Dirac 1928 : équation relativiste et antimatière; observation du positon par Anderson 1932

+ développements de la radioactivité et de la physique nucléaire

- ✓ structure discontinue du monde microscopique (quanta)
- ✓ dualité onde – corpuscule (équation de Schrödinger; diffusion Compton et diffraction d'électrons)
- ✓ nature intrinsèquement probabiliste du monde microscopique (principe d'incertitude)
- ✓ « réduction du paquet d'onde » lors de l'observation (cf. chat de Schrödinger)

Débat épistémologique (en particulier Einstein – Bohr Conseils Solvay de 1927 et 1930) :

l'aléatoire = notre ignorance (Einstein variables cachées, EPR), ou caractère intrinsèque du microscopique (Bohr) ?

la théorie quantique est-elle en ce sens « complète » ?

Nouvelle révolution scientifique, encore plus fondamentale que la révolution relativiste

- ✓ énorme impact sur pratiquement tous les aspects de la science et de la technologie (toute la micro- et nanophysique; toute la chimie; à travers elle toute la chimie du vivant; aussi physique nucléaire et physique des particules; cosmologie)
- ✓ ici aussi, physique classique *réinterprétée* dans nouveau cadre, comme cas limite
- ✓ du point de vue épistémologique : « *Personne ne comprend la mécanique quantique* » (R. Feynman)
 - remise en cause de la causalité « classique » (incluant dans ce terme la relativité)
 - rôle de l'observateur (réduction du paquet d'onde)
 - nouveau positivisme (abandon du réalisme « traditionnel »)

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

Indications bibliographiques (1)

La liste ci-dessous reprend quelques références pouvant offrir une première approche, d'accès plutôt aisé (sauf sans doute pour certaines « références générales »), le plus souvent en édition de poche.

Elle ne comprend ni les ouvrages spécialisés sur des questions particulières, ni nécessairement les références classiques (en particulier en philosophie des sciences).

Références principales

Histoire des sciences

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

Excellent ouvrage, lisible, composé de 30 chapitres autonomes, avec mise en contexte des questions abordées

Épistémologie

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

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

Références générales

Histoire des Sciences

M. Daumas (dir.) : « *Histoire de la Science* », Encyclopédie de la Pléiade, Gallimard 1957

Exposé systématique ; plusieurs contributions forment toujours de bonnes mises en perspective

B. Gille (dir.) : « *Histoire des Techniques* », Encyclopédie de la Pléiade, Gallimard 1978

Synthèse remarquable

D. Lecourt (dir.) : « *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences* », Quadrige, PUF 2003

Complet, lisible ; mais présentation forcément hachée (dictionnaire !)

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

Introduction générale, d'accès aisé ; chapitres sur les sciences non européennes

R. Taton (dir.) : « *Histoire des Sciences* », Quadrige, PUF, 4 volumes

Exposé systématique – la référence de base

Philosophie des Sciences

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

Bonne introduction générale à la philosophie des sciences ; accès aisé

J.-P. Changeux et A. Connes : « *Matière à penser* », Points – Odile Jacobs OJ22

Débat sur la philosophie des math. : découverte ou construction ?

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 XXème siècle – à prendre avec le grain de sel

S. Langier et P. Wagner (dir.) : *Philosophie des Sciences*, Vrin 2004, 2 volumes

Anthologie de textes essentiels du XXème siècle

D. Lecourt (dir.) : « *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences* », Quadrige, PUF 2003

Complet, lisible ; mais présentation forcément hachée (dictionnaire !)

P. Wagner (dir.) : « *Les Philosophes et la Science* », Folio Essais 408, Gallimard 2002

Présentation et discussion des positions de philosophes importants sur la science

Indications bibliographiques (2)

Sociologie de la science

M. Callon (dir.) : « *La science et ses réseaux* », *La Découverte*

Analyses sociologiques de divers cas intéressants

H. Collins et R. Pinch : « *Tout ce que vous devriez savoir sur la science* », *Points-Sciences S142, Seuil*

Discussion éclairante de plusieurs controverses scientifiques

B. Latour et S. Woolgar : « *La vie de laboratoire* », *La Découverte*

L'un des livres fondateurs de l'approche « ethnologique » de la science

Sciences particulières

Biologie

C. Cohen : « *Le destin du mammouth* », *Points-Sciences S156, Seuil*

A travers l'histoire de l'intérêt pour le mammouth, une histoire inattendue de la paléontologie - intéressant et bien fait

J.-P. Deléage : « *Une histoire de l'écologie* », *Points-Sciences S96, Seuil*

Une introduction

J.-M. Drouin : « *L'écologie et son histoire* », *Champs Flammarion*

Une introduction

S. J. Gould : *plusieurs articles historiques parmi les nombreux ouvrages publiés chez Points- Sciences (Seuil) et au Livre de Poche*

Approches critiques et décapantes, par un savant de premier tout premier plan et un grand humaniste

F. Jacobs : « *La logique du vivant ; une histoire de l'hérédité* », *Tel 2, Gallimard 1968*

Un classique de l'histoire de la biologie, par l'un des pères de la génétique contemporaine

E. Mayr : « *Histoire de la biologie* », *Livre de Poche « références »*, LP16-17

Par l'un des fondateurs de la synthèse darwinienne, fresque grandiose de l'histoire de la biologie. Intérêt particulier pour les questions d'épistémologie, notamment par rapport à l'épistémologie de la physique. Très grand livre.

M. Morange : « *Histoire de la biologie moléculaire* », *La Découverte*

Présentation de l'histoire de la biologie moléculaire, dans une perspective « kuhnienne »

A. Pichot : « *Histoire de la notion de gène* », *Champs 423, Flammarion 1999*

Récit détaillé de débuts touffus

A. Pichot : « *Histoire de la notion de vie* », *Tel 230, Gallimard 1993*

Anthologie commentée, d'Aristote à Darwin

Sciences de la Terre

A. Hallam : « *Une révolution dans les sciences de la Terre* », *Points-Sciences S5, Seuil*

La tectonique des plaques

G. Gohau : « *Une histoire de la géologie* », *Points-Sciences S66, Seuil*

Pas mauvais, mais assez confus et manque de hauteur

Indications bibliographiques (3)

Mathématiques

Dahan-Dalmedico et J. Peiffer : « Une histoire des mathématiques », Points-Sciences S49, Seuil

Très bonne introduction, accessible

J. Dieudonné : « Pour l'honneur de l'esprit humain », Pluriel 8515, Hachette (math.)

Par l'un des plus grands mathématiciens français (Bourbaki). Plus difficile, mais intéressant et profond

Physique

I.B. Cohen : « Les origines de la physique moderne », Points-Sciences S65, Seuil

Aristote – Galilée – Newton ; d'accès aisé

J. Gapaillard : « Et pourtant elle tourne » Science Ouverte, Seuil (mécanique)

Excellente discussion, allant jusqu'à l'époque contemporaine

B. Maitte : « La Lumière », Points-Sciences S28, Seuil 1981

Introduction, accès aisé

E. Segré : « Les physiciens classiques et leurs découvertes », Fayard 1987; « Les physiciens modernes et leurs découvertes », Fayard 1990

Plutôt une vulgarisation (de haut niveau) de la physique qu'à proprement parler une histoire – mais une référence...

S. Shapin et S. Schaffer : « Léviathan et la pompe à air ; Hobbes et Boyle entre science et politique », La Découverte 1993

La pompe, Boyle et la « science expérimentale » ; un classique, remarquable

Chimie

B. Bensaude-Vincent et I. Stengers : « Une histoire de la chimie », La Découverte

Approche centrée sur les enjeux, les débats (pas purement descriptif !) – excellent

M. Eliade : « Forgerons et alchimistes », Champs Flammarion

La dimension spirituelle de l'alchimie, par un très grand spécialiste de l'histoire des religions

Époques et régions particulières

A. Djebbar : « Une histoire des sciences arabes », Points-Sciences S144, Seuil

Une introduction à l'histoire des sciences arabes

G.E.R. Lloyd : « Une histoire de la science grecque », Points-Sciences S92, Seuil 1993

Par un grand spécialiste, accessible

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

Mise en contraste de la science chinoise et de la science occidentale, par le spécialiste incontesté de la science chinoise.

A. Pichot : « La naissance de la science. I. Mésopotamie, Egypte. II. Grèce présocratique », 2 vol., Folio Essais 154, 155, Gallimard 1991

Introduction.

P. Rossi : « Aux origines de la science moderne », Points-Sciences S159, Seuil

Mise en perspective de la « révolution scientifique » ; vaste mais très lisible

S. Shapin : « La révolution scientifique », Nouvelle Bibliothèque scientifique, Flammarion

Introduction synthétique à la période