Jan Lacki

Semestre d'hiver 2006-2007

## Pourquoi l'histoire et la philosophie des sciences ?

Un argument général :

L'activité scientifique va-t-elle de soi ? Pas plus aujourd'hui qu'à ses débuts, mais pour des raisons différentes :

Aujourd'hui ses apports positifs sont mis en doute : crainte des « dérapages » technologiques, relativisation de la notion de progrès scientifique ;

A ses débuts, la science dut convaincre de sa pertinence : problèmes de légitimité ; problèmes d'artefacts ;

Il est urgent de s'interroger sur ce qui fonde et comment s'est développée l'activité scientifique ; il faut aussi examiner ses rapports avec la technologie.

## A quoi et à qui peut servir une histoire et philosophie des sciences ?

#### Aux philosophes:

les interrogations métaphysiques : quelle ontologie sous-jacente du monde ?

les interrogations axiologiques : quelles valeurs véhicule la science ? les interrogations politiques : quelle modalité du contrôle citoyen sur la science ?

## Aux sociologues:

la science offre l'exemple un corps social d'un rare degré d'organisation :

→ corporatismes, stratégies institutionnelles, individu versus collectivité ;
collectivité versus société.

### Aux scientifiques enfin:

comprendre son histoire pour mieux décoder les tendances contemporaines,

pour mieux aussi rompre avec les habitudes du passé ; pour être à l'affût des interventions des préjugés et des doctrines ; par respect pour leur propre discipline

A tous ceux curieux enfin d'un de plus grands faits culturels de l'humanité

## Quelle perspective adopter ?

- -il ne faut pas de réduire le phénomène de la science au développement de ses contenus (excès « d'internalisme »);
  - → prendre en compte les scientifiques, leurs institutions, les facteurs socioculturels.
- mais on ne peut pas ignorer d'autre part la spécificité de l'entreprise scientifique (excès « d'externalisme ») :
- → nécessité, dans toute enquête sur la marche de la science, de se confronter à ses objets : concepts, théories, modèles.

## Pourquoi histoire <u>et</u> philosophie des sciences ?

Sans (une bonne) histoire des sciences, la philosophie des sciences court le risque d'une pure spéculation sans pertinence pour la théorie de la connaissance.

Sans une philosophie des sciences, l'historien des sciences est dépourvu des instruments pour interpréter les faits historiques.

Il y eut et il y a encore des intenses querelles entre les deux communautés : le virage « sociologique » des années soixante y est pour beaucoup.

## La perspective du cours

Impératifs : rendre justice aux apports croisées de l'histoire et de la philosophie des sciences.

Problème : il n'existe que peu d'ouvrages qui reflètent cette intégration (spécialisation ?).

Il y a par contre une pléthore de publications qui considèrent différents épisodes historiques ou commentent différents problèmes philosophiques ayant trait à la science. L'histoire des sciences s'est professionnalisée, la philosophie des sciences aussi.

Une source d'inspiration: ma propre pratique

- celle d'un praticien de la science (physicien théoricien)
- → regard de l'intérieur
- celle d'un historien qui juge sa pratique de scientifique, depuis ses études jusqu'à sa recherche, à travers sa connaissance de l'histoire et de la philosophie.

#### La méthode du cours

Pour souligner la nécessaire connivence de l'histoire et de la philosophie des sciences, il ne faut pas procéder selon deux exposés séparés et consécutifs.

Il s'agit plutôt de combiner les deux à l'occasion de l'évocation des situations historiques précises, ou des thèmes conceptuels bien circonscrits.

L'idéal consiste à susciter la réflexion philosophique comme une réponse naturelle face à l'examen historique des épisodes données du développement de la science

## 1. La « méthode expérimentale » contre le dogmatisme scolastique : la naissance de la science moderne.

Situation historique : la naissance de la science moderne sur fond de rupture avec la scolastique

#### Eléments de réflexion :

- les différentes visions du Moyen âge
- Différence entre l'observation du sens commun et celle préparée
- Les faits scientifiques sont des faits « calibrés »
- La science ne s'occupe que des faits calibrés
- Un fait calibré « appartient-il » à la Nature ?

Développements philosophiques : qu'est-ce que la méthode scientifique, la science décrit-elle le monde ? empirisme, rationalisme.

#### Textes:

Aristote: Physique, du Ciel, Histoire des animaux, Parties des animaux

Galilée : L'essayeur (il Saggiatore); Dialogues, Discours

Shapin et Shaffer : Leviathan et la pompe à air.

Goodman: Faits, Fictions et Prédictions.

## 2. Le problème de la quantification du réel et le rôle des mathématiques (I).

Situation historique : le dégagement de la notion moderne de mouvement (local), les débuts de la cinématique et le problème d'un mouvement accéléré (uniforme)

#### Eléments de réflexion :

- La « latitude des formes » le « théorème » du MertonCollege
- Science du mouvement : Galilée et le mouvement uniforme
- le problème de la définition de la vitesse instantanée
- les infinitésimaux, les indivisibles, etc...

Développements philosophiques : la construction de l'objet (physique), la constitution du langage objectif de la physique ; le morcellement du continu, philosophie des mathématiques

#### Textes:

Duhem, Système du monde

Galilée : Discours et démonstrations...

Blay, Les raisons de l'infini

Rougier : Traité de la connaissance

Marc Balaguer, Platonism in mathematics.

# 3. Les métaphysiques cachées de la science : au-delà de l'empirisme

Situation historique : La rédaction des *Principia* et la réception de la mécanique newtonienne

#### Eléments de réflexion :

- La méthode scientifique de Newton ? Laquelle ?
- L'espace et le temps absolus : nécessités empiriques ou impositions théoriques ?
- Critique de Leibniz
- Critique de Berkeley
- Le newtonianisme : un réductionnisme efficace

Développements philosophiques : Quelle ontologie pour la science ? Substances, relations, ou encore structures ? Une science purement empirique est-elle possible ?

#### Textes:

Newton, Principes (Principia): Scholie I et II;

Correspondance Leibniz-Clarke

Berkeley : De Motu Mach, La mécanique.

## 4. Causalité et déterminisme

Situation historique : ??

Eléments de réflexion :

- La critique de Hume

- La « solution » de Kant

- Développements modernes

Développements philosophiques : le problème de l'induction, le statut des lois.

Textes:

??

??

#### 5. Quelles théories sont des « bonnes » théories ?

Situation historique : Le développement des conceptions de la chaleur au XIXe siècle :

#### Eléments de réflexion :

- le passage d'une conception matérielle de la chaleur (calorique) à celle d'un mouvement
- émergence des principes de la thermodynamique,
- controverse autour de la théorie cinétique, les attaques contre l'atomisme à la fin du XIXe siècle.

Développements philosophiques : le positivisme comme interprétation minimale de l'activité scientifique, le statut des entités théoriques dans une théorie scientifique.

#### Textes:

Lavoisier et Laplace : Traité élémentaire de Chimie Carnot : Réflexions sur la puissance motrice du feu

Clausius : mémoires sur la chaleur Maxwell, interventions à la BAAS Duhem : La théorie physique

## 6. La science comme (unique) objet de la philosophie

Situation historique : la réception philosophique de la relativité d'Einstein

#### Eléments de réflexion :

- les critiques philosophiques de la relativité
- la relativité comme archétype d'une « bonne » théorie scientifique
- les débuts de l'empirisme logique
- l'analyse philosophique selon les empiristes logiques

Développements philosophiques : l'empirisme logique, la critique de l'empirisme logique

#### Textes:

- Meyerson : La déduction relativiste ; Identité et
- Bergson : Durée et simultanéité
- Schlick : Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik
- Reichenbach : The theory of space and time
- Ryckman : The reign of relativity

## 7. Du progrès scientifique : cumul régulier ou ruptures ?

Situation historique : les révoltions coperniciennes, quantiques et relativistes.

#### Eléments de réflexion :

- Le passage du monde aristotélicien au monde ouvert (infini) de la science moderne
- la véritable contribution d'Einstein
- la théorie quantique comme rupture avec le déterminisme

Développements philosophiques : la notion de révolution scientifique ; les paradigmes et autres matrices disciplinaires, l'incommensurabilité des théories, le relativisme (des Science Studies).

#### Textes:

Koyré, Etudes galiléennes Kuhn, La structure des révolutions scientifiques Lakatos, La méthodologie des programmes scientifiques Feyerabend, Contre la méthode

## 8. Théories explicatives versus théories descriptives.

Situation historique : les théories fondamentales du XXe siècle

Eléments de réflexion :

- les théories fondamentales comme théories « régulatrices »
- l'exact et l'approché
- le statut des « entités perturbatives »

Développements philosophiques : la théorie de l'explication scientifique, théories versus modèles, critiques récentes du réalisme, le problème de l'adéquation entre les mathématiques et les sciences.

Textes:

Cartwright, How the laws of physics lie Steiner, The applicability of mathematics as a philosophical problem

## La question du réalisme à la lumière de la science contemporaine.

Situation historique : les théories fondamentales du XXe siècle

Eléments de réflexion :

- Le rôle des mathématiques comme constitutives de la physique
- Les structures et les principes de symétrie : quels liens causaux avec notre monde
- le réalisme structurel
- le réalisme « voilé » de la physique quantique

Développements philosophiques : les différentes variantes du réalisme : du naïf au structurel

Textes:

A choix...

#### Le réductionnisme : aboutissement final de la science ?

Situation historique : L'héritage de Newton – corpuscules et forces, atomisme, l'avènement de l'électromagnétisme – la physique des champs, la théorie quantique – champs quantiques, cordes ?

#### Eléments de réflexion :

- Le mécanisme newtonien versus celui de Descartes
- Le newtonianisme : un réductionnisme efficace
- le programme de la vision électromagnétique du monde
- la quête des constituants élémentaires
- unification ou fragmentation?

Développements	philosophiques
----------------	----------------

Textes:

A choix ...

## Qu'est-ce que la Science: critères de démarcation et pseudo-sciences

Situation historique : astrologie et astronomie ; ...

Eléments de réflexion :

- Science comme méthode, science comme pratique
- la récupération de la science par des entreprises « non-scientifiques »

Développements philosophiques : problèmes de démarcation, critères méthodologiques versus critères sociologiques ; la science comme domaine public ; ...

Textes:

Bricmont et Sokal : Impostures intellectuelles

Pestre: Autour de l'affaire Sokal...

#### Eléments de réflexion :

- les différentes visions du Moyen âge
- Différence entre l'observation du sens commun, spontanée et/ou sporadique, et celle *préparée*, intentionnelle.
- Les faits scientifiques sont fabriqués, ce sont des faits
  « calibrés » ou « stylisés »
- La science ne s'occupe que des faits calibrés
- Un fait calibré « appartient-il » à la Nature ?

Développements philosophiques : qu'est-ce que la méthode expérimentale, la science décrit-elle le monde ? empirisme, rationalisme, relativisme

#### Les lieux communs de l'histoire de la science

Une certaine vision de l'histoire des sciences, heureusement révolue, présentait son développement selon des lieux communs dont voici quelques exemples :

Les débuts de la science doivent être identifiées avec le « miracle » grec qui voir s'instaurer une attitude de rationalité face au monde, attitude qui constitue l'étape initiale et nécessaire au développement de la science.

Avec le déclin de l'empire romain, héritier du classicisme grec, commence une période d'environ dix siècles (500 -1500) de totale stagnation où non seulement rien de nouveau n'est apporté, mais où au contraire les acquis du passé sont oubliés.

Avec la Renaissance commece une période de véritable renouveau où l'on retrouve la veine du classicisme antique, et où le progrès intellectuel reprend

La Renaissance débouche directement sur la modernité fondée par les travaux et réflexions des génies du XVIIe siècle, tels Galilée (1564 - 1642), Descartes (1596 – 1650), Newton (1642 – 1727) etc.

Désormais le train est en marche : après les Lumières, on entre dans le XIXe siècle qui voit l'édification de la science classique, puis, après les deux révolutions de la relativité et de la théorie quantique, on entre dans la période contemporaine.

## Les lieux communs de la philosophie des sciences

Les lieux communs de l'histoire ont un pendant philosophique. Ainsi :

Les grecs ont inventé la méthode déductive (axiomatique) et ont fixé une fois pour toutes les standards d'un discours scientifique dont la rigueur n'envie rien à la notre. Hélas c'étaient des piètres observateurs, et ils ne tenaient pas compte, dans leurs spéculations, des faits, pour lesquels d'ailleurs il n'avaient aucun intérêt particulier.

L'époque moderne met en place la méthode expérimentale qui rend possible et caractérise de manière essentielle la science moderne. Newton, l'expérimentateur, celui qui refusait de spéculer (le fameux *hypothesis non fingo*) s'impose face à un Descartes spéculateur qui a commis le pêché d'orgueil de la raison, et initie la démarche qui mène directement à notre science actuelle. C'est le triomphe de la méthode empirique et inductive qui prend acte des faits naturels, et les généralise en des lois universelles.

Les deux révolutions relativiste et quantique corrigent la science classique, mais ne changent pas essentiellement la méthodologie. Cependant, l'abstraction croissante de la science demande à tenir compte des sources non-empiriques dans la construction des hypothèses méthode → hypothético-déductive.

Le Moyen âge : une vision péjorative qu'il faut impérativement corriger

L'opposition entre un moyen âge obscurantiste, qui fut une éclipse de la raison, et une Renaissance ,renouveau de pensée débouchant sur l'époque moderne, est une vision qui remonte aux XVIIe et XVIIIe siècles, et elle fut souvent le fait des milieux anticléricaux qui ont voulu ainsi stigmatiser le rôle rétrograde de l'église. Il a fallu attendre la fin du XIXe siècle pour rendre justice à cette période en fait riche en innovations, découvertes et qui a su, y compris sur des points de la philosophie naturelle, rompre avec les dogmes de la philosophie péripatéticiens (Aristote).

Quelques citations qui montrent l'ampleur du préjugé dont fut victime le Moyen âge :

- « Une histoire barbare des peuples barbares qui sont devenus chrétiens mais n'en sont pas devenus meilleurs pour autant... On se doit de connaître cette histoire seulement pour la mépriser » (Voltaire !)
- « un millier d'années sans prendre de bain... »
- « un seul et immense hoquet dans l'histoire du progrès humain »

Selon cette vision caricaturale, « à un certain moment l'Europe s'est réveillée, a pris un bain, et s'est mise à penser et créer à nouveau » (Grant 2004)

Le Moyen âge : une période riche et constructive

Des nombreux progrès furent accomplis :

Les moulins actionnés par roues à aubes vers 800 et les moulins à vent à la fin du XIe siècle.

Les premières universités sont fondées : 1088 Bologne; autour de 1200 les universités de Paris et Oxford sont en fonctionnement.

Colomb découvre le nouveau monde (1492) et non, il ne s'agît pas ici de la prise de conscience que la Terre est ronde, toute personne éduquée au Moyen âge en était convaincue (→ Aristote)

1450 Gutenberg (1400 – 1468) invente la presse → changements dans la diffusion des connaissances, un étape cruciale non seulement car elle rend les ouvrages plus accessibles, mais aussi parce qu'elle uniformise les textes et rend possible un échange intellectuel véritable fondé sur une base commune!

Et surtout une grande richesse dans la pensée autour et contre la pensée d'Aristote: l'activité spéculative des écoles (les Universités d'alors → la scholastique) ne fut donc pas qu'une suite des commentaires oiseux et stériles de la pensée d'Aristote, ceci en particulier au XIVe siècle qui vit, à Paris et Oxford, des avancés de grande importance pour le développement ultérieur de la mécanique au XVIe siècle.

Au centre de la critique du prétendu obscurantisme, le style intellectuel des « écoles » : La critique de la scholastique

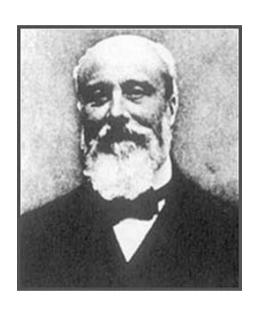
Selon ses détracteurs, e fut un enseignement centré sur des commentaires stériles de la pensée aristotélicienne, et la nécessité de respecter les dogmes de l'église. L'activité intellectuelle, logique, de philosophie naturelle et théologique de la scholastique est l'archétype même d'une pensée inféodée à des traditions et des systèmes du passé qui préfère l'argument d'autorité (celle d'Aristote) à celui basé sur l'usage de la raison assistée par la prise en compte de ce que l'expérience nous révèle.

Ce jugement négatif, depuis le XVIe siècle, s'explique, mis à part la polémique anticléricale déjà évoquée, par l'incapacité de ceux qui ont critiqué la scholastique d'entrer, faute de tradition perdue, dans la logique, le style argumentatif, enfin la signification et les enjeux des débats scholastiques. On n'en a retenu, et donc critiqué que les aspects anecdotiques et l'apparente gratuité des interrogations.

Il faut aussi prendre en compte que les textes des auteurs antiques qui pouvaient présenter une véritable altérnative au système englobant de la pensée aristotélicienne ne deviennent connus qu'à la fin du XVe siècle. Ainsi entre 1200 et 1450 la pensée aristotélicienne est dominante par défaut. Avec l'apparition des traductions de Platon et d'autres philosophes grecs, on entre dans une période d'intenses remises en question.

On peut en particulier souligner l'importance d'Archimède dont les travaux fonderont, à travers une postérité affirmée, un style autonome dans l'approche des problèmes de la statique et de la mécanique  $\rightarrow$  histoire de la statique de Pierre Duhem.

Le Moyen âge : la réhabilitation



Le physicien, historien et philosophe Pierre Duhem (1861 – 1916) entreprend, dès le début du siècle (Les Origines de la Statique tome I, 1905 et tome II, 1906) un ambitieux projet de réhabilitation des savants du moyen âge pour contrecarrer les thèses d'une église facteur exclusif d'obscurantisme. Bien qu'à son tour il exagéra dans l'autre sens, attribuant tous les mérites aux penseurs du Moyen âge (voir par exemple son évaluation du rôle de Leonardo da Vinci), il contribua à mettre en évidence ce que la science moderne doit en fait aux savants du XIII, XIV et XV siècles. Depuis, des nombreux travaux ont approfondi (en les purgeant des exagérations) les constats du Duhem.

## La scolastique, une pensée figée ?

Ce fut certes un système intellectuel complexe, entièrement basée sur la logique des syllogismes et la philosophie naturelle héritées d'Aristote.

Mais il est faux d'affirmer que toute la pensée du Moyen âge ne se résume qu'à un long commentaire stérile et totalement non-critique du philosophe grec. Il eut, surtout au XIVe siècle, des critiques profondes et des propositions originales pour amender le système aristotélicien. Exemple le plus célèbre : la théorie de « l'impetus », « cause » dumouvement violent.

- opposition entre mouvements naturels (chute des graves), et mouvements violents (lancer de pierre).
- problème aristotélicien : qu'est ce qui meut la pierre une fois qu'elle a quittée la main ? → réponse aristotélicienne peu convaincante
- -la théorie de « l'impetus » : Jean Buridan (1300-1358), ancêtre de notre notion de l'inertie ? Non, Buridan a encore besoin d'une cause au mouvement qu'il ne conçoit pas, comme nous le faisons, comme un « état »

La scolastique et les dogmes de l'église : effet nécessairement rétrograde ?

La soumission aux impératifs des dogmes chrétiens ne fut pas que contreproductive. Exemple : la condamnation, en 1277 par l'évêque de Paris Etienne Tempier, de 219 thèses, condamnation qui paradoxalement ouvre le champ à la spéculation et à l'innovation intellectuelle. Tempier condamne ces thèses au nom de l'absolue omnipuissance de Dieu à qui on ne peut rien « interdire », en particulier rien de ce qui, pour la philosophie naturelle d'Aristote est impossible (questions relatives au vide, à la place du Cosmos, etc.). Parmi les thèses condamnées par Tempier, on trouve ainsi :

Dieu ne peut pas avoir fait plus d'un monde; Dieu ne peut pas mouvoir les cieux d'un mouvement rectiligne; Dieu ne peut pas faire exister deux corps au même endroit en même temps; ...;

Selon Duhem, l'interdiction eut pour effet de promouvoir le développement de la science moderne en forçant les penseurs à rompre avec Aristote.

→ Voir, dans le cours 3, l'argumentation de Leibniz contre Newton

Aristote (384 av. J-C. (Stagire) - 322 av. J-C. (Chalcis)

- Son œuvre ne comporte presque pas de détails biographiques.
- Il n'existe guère de témoignages contemporains qui nous soient parvenus.

Fils de Nicomaque, médecin d'Amyntas III de Macédoine, et d'une sage femme.

Part à Athènes suivre les cours d'Isocrate. Pas satisfait, décide de rentrer à l'<u>Académie de Platon</u> à l'âge de 18 ans (vers <u>367</u> aJC). Il y est remarqué notamment pour son intelligence. <u>Platon</u> lui donne même le droit d'enseigner. Il y rédige de nombreux récits. Il demeure à Athènes jusqu'en <u>348</u> aJC, (mort de <u>Platon</u>). Il rejoint à <u>Assos</u>, en <u>Éolide</u>, le roi

Il demeure à Athènes jusqu'en <u>348</u> aJC, (mort de <u>Platon</u>). Il rejoint à <u>Assos</u>, en <u>Eolide</u>, le roi <u>Hermias</u>, un ancien condisciple. À la mort de son protecteur, il rentre en Macédoine et devient le précepteur d'<u>Alexandre le Grand</u>.

En revenant à Athènes (insatisfait par <u>Xénocrate</u>, successeur de <u>Platon</u> à l'<u>Académie</u>) il décide de fonder le <u>Lycée</u>, également appelé <u>École péripatétique</u> en <u>335</u> aJC.

Menacé par le parti anti-macédonien à la mort d'<u>Alexandre le Grand</u>, il fuit <u>Athènes</u> et, sentant la mort arriver, rédige son testament où il lègue son Lycée à <u>Théophraste</u>. Il meurt finalement à <u>Chalcis</u> en <u>322</u> aJC.

## A propos de la valeur de l'observation: une vieille opposition entre Aristote et Platon

Platon : la connaissance véritable ne peut nous venir de l'observation. Ce que les sens nous révèlent ne sont que des simulacres des formes idéales → le mythe de la caverne dans le dialogue *La Republique*, livre VII.

Aristote: Il n'y a pas de séparation entre les choses de ce monde et les formes idéales: l'observation est réhabilitée. Pour Aristote, l'observation fournit aussi la base des constats à venir. On ne peut parvenir à l'universel, objet de la science, que par prise en compte de l'individuel. Il ne s'agit cependant pas d'un empirisme, et le but principal est la connaissance des causes (→ les quatre causes aristotélicinennes), but avec lequel les représentants de la philosophie expérimentale du XVII seront fortement en désaccord, voir plus loin

Aristote et ses héritiers : la nécessité de l'observation

Aristote souligne le rôle de l'observation, et est un observateur attentif dont la sens du détail force encore aujourd'hui l'admiration. C'est le cas surtout dans ses observations animales (*Histoires d'animaux*, *Parties des animaux*).

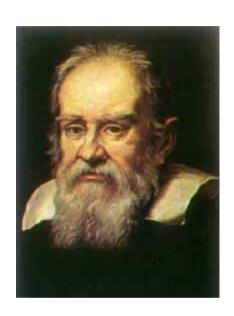
Il lui arrive même de faire des véritables expériences, comme lorsqu'il observe, en cassant les œufs à différentes stades du développement, l'évolution de l'embryon du poulet (*Histoires...*)

Pour l'aristotélisme tel que développé par Thomas d'Aquin (xxx), l'observation, l'induction, et l'expérience sont toujours en éveil pour recueillir tout ce que la raison est capable de connaître par elle-même, du plus général, universel et commun, au plus particulier, précis et distinct. Thomas d'Aquin nous invite à un effort d'observation, d'induction et d'expérience, à un respect intelligent pour tous les faits.

Conclusion : plus que l'expérience, c'est l'expérimentation et la vie expérimentale qu'il faut examiner comme facteurs de la modernité

Si donc la science moderne naît; ce n'est pas (seulement) en introduisant le recours systématique à l'observation, ni même au recours sporadique à des formes d'expérience. Il y a autre chose: pour le comprendre, il faut examiner en premier lieu la différence qui existe entre l'observation du sens commun et l'observation *préparée*, celle susceptible de conduire à un *fait de la Nature*. Dans la même veine, il existe une grande différence entre une expérience sporadique, et une activité systématique et méthodique de la pratique expérimentale, où les conditions qui président aux phénomènes sont variés, et ces variations sont rapportés à la variation des effets. Il faut donc opposer ici l'expérience de l'expérimentation comprise dans ce dernier sens, et dont le corollaire, sur un plan plus sociologique, est l'émergence d'une « vie de laboratoire » (vie au sens de pratique). Pour beaucoup d'historiens contemporains, cette « vie expérimentale » constitue en fait, plus que le simple recours à l'expérience, la véritable circonstance déclenchant l'avènement de la science moderne au XVIe siècle. Ceci nous amène à examiner le rôle exemplaire des fondateurs de la Royal Society de Londres, et leur philosophie expérimentale.

## L'avènement de la philosophie expérimentale



Nous connaissons les épisodes emblématiques qui voient Galilée expérimenter. Il faut citer ici en particulier ses expériences sur le plan incliné. Galilée est volontiers présenté comme le père de la méthode expérimentale. Mais là aussi des analyses historiques apportent des éclairages divergents. Dans les années cinquante, le philosophe et historien des sciences Alexandre Koyré dénonçait le mythe d'un Galilée « faiseur d'expériences »→ thèse inverse (contre le mythe dominant de l'expérimentalisme): si Galilée est parvenu à formuler une loi de la chute des graves, c'est parce que justement il s'est tenu à l'écart des faits bruts de l'expérience.

Avec la découverte de nouveaux documents, l'historien Stillman Drake a souligné au contraire le travail expérimental effectif de Galilée (*Galileo at Work*).

D'autres ont par contre a mis en évidence le rôle surtout rhétorique de l'expérience chez Galilée.

Voir par exemple P. Thuillier, *D'Archimède à Einstein*, 1998.

## L'avènement de la philosophie expérimentale



## L'avènement de la philosophie expérimentale

Alors que Galilée est avant tout un savant isolé, une vingtaine d'années après sa mort, un groupe de savants britanniques s'organise autour d'une véritable *philosophie expérimentale*. Cet épisode nous permettra d'examiner quelques points essentiels dans le passage d'une science ayant recours à une observation occasionnelle, spontanée, à une science **qui se définit comme science des faits expérimentaux**.

Avant de commencer, il faut préciser que la naissance de la science expérimentale ne doit pas être comprise comme l'avènement de ce qui nous est familier aujourd'hui, c'est-à-dire la démarche hypothético-déductive où les hypothèses donnant lieu à des théories sont testées par des expériences qui ont une fonction essentiellement corroborative (ou falsificatrice, voir cours suivants).

Il s'agît plutôt d'un moment fort de l'histoire de la science où la science sera définie comme une démarche de connaissance qui fait **de la production des faits (scientifiques) son but**, et qui y trouve sa validité et sa (seule) justification. La notion de production des faits va nous intéresser ici de plus près.

Un peu de recul par rapports aux « faits »

Nous établissons naturellement, dans la science, une distinction entre d'une part, les théories et les hypothèses et, d'autre part, les faits. Les premiers, dans la mesure où ils voient l'intervention humaine, sont révocables; les seconds, reflétant la Nature, sont permanents et à jamais valides.

Une théorie jugée d'abord bonne, peut par la suite s'avérer mauvaise. Elle garde néanmoins toujours son statut de théorie. Un fait que l'on révoque est reconnu comme n'en ayant jamais été un !

Il est bon de se pencher un peu sur ce statut des faits, et la manière dont ils l'acquièrent. Le lieu privilégié où le faire est l'épisode fondateur de la philosophie expérimentale autour des travaux et des écrits de Robert Boyle et de l'établissement de la Royal Society dont il fut un des membres fondateurs les plus éminents.

Institutionnalisation de la science et création de ses organes

L'Académie del Cimento, (Florence, 1657)

La naissance de la Royal Society, (Londres, 1660)

→ Philosophical Transactions

Académie royale des sciences (Paris, 1666)

→ Comptes rendus de l'Académie

Le Journal des Scavans: 1665

. . .

# Quelques savants fondateurs de la Royal Society

Robert Boyle <u>1627</u> -<u>1691</u>

Robert Hooke <u>1635</u> -<u>1703</u>

John Wallis <u>1616</u> - <u>1703</u>

Christopher Wren 1632 -1723





Christian Huygens <u>1629</u>-<u>1695</u> membre de la RS en 1663, fonde en 1667 l'Académie Royale française.





# Robert Boyle <u>1627</u> - <u>1691</u>

Expériences avec la pompe à air (1657-1659), d'après une invention 1657) d'Otto von Guericke (1602-1686).

#### Quelques écrits :

1660 - New Experiments Physic-Mechanical: Touching the Spring of the Air and their Effects (43 expériences rapportées)

1661 – The Skeptical Chemist

1663 - Considerations touching the Usefulness of Experimental Natural Philosophy (deuxième partie 1671)

Sa controverse avec le jésuite Linus (1595-1675), ainsi que le philosophe mécaniste Thomas Hobbes (1588-1679) donnera à Boyle l'occasion d'exposer ses vues sur la philosophie expérimentale, en déhors de laquelle il n'y a simplement pas de science; ses écrits sont ainsi des véritables manifestes de la science comme « vie de laboratoire. ».

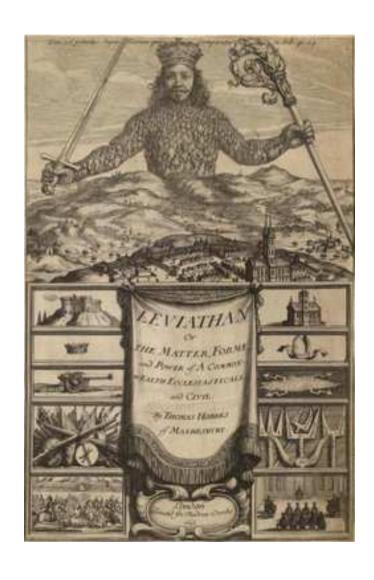
# Pourquoi la philosophie expérimentale ?

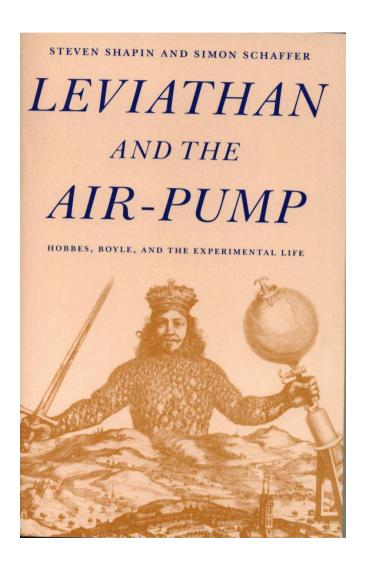
Robert Boyle et ses pairs ont douté de la possibilité de connaître les (véritables) causes des phénomènes. Derrière un phénomène, on peur imaginer des multiples schémas causaux, ou explicatifs, mais on ignore lequel est celui effectivement choisi par Dieu pour produire ses effets  $\rightarrow$  métaphore de l'horloge.

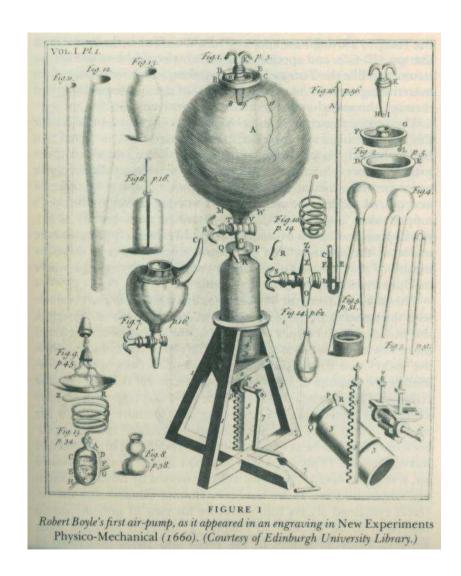
La connaissance des causes est donc au mieux une connaissance probable, elle manque de certitude. Pour fonder une connaissance certaine, il faut donc se rabattre sur les faits, seuls accessibles et seuls susceptibles de susciter l'assentiment général.

Mais qu'est-ce qu'un fait ? → la production des faits (*Facts making*)

Voir Steven Shapin et Simon Shaffer, *Léviathan et la pompe à air,* 1985: réfléchir sur la « naturalité », le caractère d'aller de soir d'un fait naturel, d'un fait expérimental.







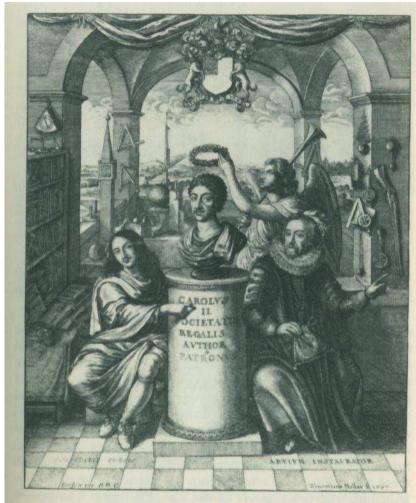


FIGURE 2

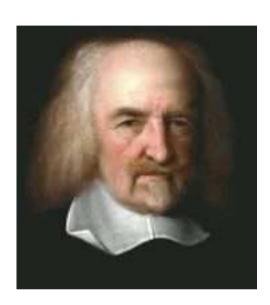
Frontispiece to Sprat's History of the Royal Society (1667). Engraving by Wenceslaus Hollar, design probably by John Evelyn for John Beale in about 1666-1667, and transferred to Sprat's book later. Boyle's revised version of the air-pump is in the centre-left background (see also figure 17). The three figures in the foreground are the president of the Royal Society, Lord Brouncker (left); the King (bust, centre, being crowned by Fame); and Francis Bacon (right). (Courtesy of the British Library.)

# Les trois « technologies » dans la production d'un fait

Dans l'excellente étude *Leviathan et la pompe à air*, les auteurs Schaffer et Shapin discutent les détails de la controverse entre Boyle et Hobbes avec comme enjeux, la définition de la science comme science exclusive des faits expérimentaux. Dans les écrits de Boyle, la construction des faits se voit accompagné des trois circonstances que l'on voir essentielles:

- -les faits sont obtenus suite à des manipulations codifiées (et laborieuses) effectuées sur des machines, des instruments types. Ainsi, dans la philosophie pneumatique, il s'agît de la pompe à air, véritable « cyclotron » de l'époque (1658).
- ces faits sont publics: il y a toujours des témoins dignes de foi dont l'assentiment mutuel à ce qu'ils constatent établit le fait. Les lieux qui accueillent les expériences (les ancêtres de nos laboratoires) non seulement accueillent les instruments, mais sont des espaces d'un «cérémonial», et en dehors desquels il n'y a pas de production des faits.
- ces faits sont susceptibles d'être disséminés sur la base des témoignages des présents (témoins crédibles), et sur la base de compte rendus aux règles de rédaction précises.

La critique de la philosophie expérimentale par Hobbes



Dans son ouvrage polémique *Dialogus Physicus*, le philosophe mécaniste Thomas Hobbes (<u>1588-1679</u>) a directement critiqué les travaux de Boyle. Son désaccord ne se résumait pas qu'à son refus du vide et des conclusions dans ce sens de Boyle. **C'est tout le programme et la justification de la philosophie expérimentale qu'il rejetait en fait.** 

#### Critiques de Hobbes:

- Désaccord de fond : la philosophie expérimentale ne peut pas amener à un véritable assentiment sur une connaissance donnée. Seule une philosophie naturelle qui connaît les causes et comment elles donnent lieu aux effets peut faire cela.
- Critique détaillé de la production des faits :
- les faits de Boyle ne sont pas si publics que ça...
- le fonctionnement de la pompe n'est pas celui que Boyle croît...

Les faits de la philosophie expérimentale sont donc des faits produits et soumis à une calibration du fait de leur association au fonctionnement des instruments agréés. Hors d'un discours sur ces faits, il n'y a pas de science.

Notre science contemporaine en est l'héritière plus ou moins directe, et nombre de ses caractéristiques s'expliquent par ses racines qui plongent dans la philosophie expérimentale. De plus, des nombreux problèmes de philosophie des sciences sont directement liés à la notion et au statut épistémologique de la notion de fait. Hobbes, dans sa critique de la philosophie expérimentale, avait en fait anticipé un certain nombre de problèmes dont celui qui fonde tout sur la notion de fait doit être conscient et qu'il doit prendre en compte dans la critique de sa propre démarche.

#### Parmi ceux-ci, nous avons:

Le problème du « theory ladeness of facts » (les faits sont chargés des théories, Boyle a une idée préconçue de comment fonctionne sa pompe à air !).

Le problème de la nécessité de l'assentiment préalable sur ce que sont les faits scientifiques, ou plutôt sur ce que sont les faits scientifiques pertinents pour un domaine donné. L'histoire des sciences montre que des faits jugés sans importance deviennent par la suite emblématiques et fondateurs de nouvelles théories (voir la conception des révolutions scientifiques de Thomas Kuhn), alors que, réciproquement, des faits capitaux d'une science se voient relégués au rang de simples illustrations, sont réinterprétés comme des produits des mécanismes fondamentaux décrits par des théories bien différentes, ou carrément sont jugés comme des artefacts.

# Critique anti-empiriste

Dans la seconde moitié du XXe siècle, on questionne la séparation entre faits et théories (en somme, la séparation à la base de la philosophie expérimentale). Des auteurs comme Hanson, Kuhn, Feyerabend Toulmin, avancent des critiques que l'on peut regrouper sous les points suivants (Suppe 1977) :

- -l'observation est chargée de théorie (the theory-ladeness of observation) : les mêmes phénomènes ne sont pas observés de la même manière (version extrême : on ne voit pas les mêmes choses) par ceux qui ne partagent pas la même vision du monde → variantes fortes et faibles (idéalisme!).
- -les significations dépendent des théories: les termes descriptifs changent de sens en fonction de la théorie au service de laquelle ils sont mis à contribution.
- -les faits sont chargés des théories: ce qui a valeur de fait est déterminé par la conception du monde associée à la théorie : il n'existe pas d'ensemble neutre de faits permettant d'évaluer l'adéquation relative de deux hypothèses rivales. Variante modérée: selon la théorie considérée, certain faits sont jugés pertinents, et d'autre mis au second plan.

Faits chargés de théories : bibliographie

#### **Débuts**

Pierre Duhem, La Théorie Physique, 1905.

#### **Ouvrages classiques**

Norwood Russel Hanson, Patterns of Discovery, 1958

Thomas Kuhn, *The structure of scientific revolutions (La structure des revolutions scientifiques)*, 1962, 1970.

Paul Feyerabend, Against Method (Contre la méthode), 1975.

Stephen Toulmin, *Human Understanding, vol. 1 The Collective Use and Evaluation of Concepts*, 1972.

Frederick Suppe (et al.), The structure of Scientific Theories, 1977.

Nelson Goodman, Facts Fictions and Prediction (Faits, Fictions et prédiction, 1975, et Ways of World-making, chap. 1 et surtout 5, 1978.

# Morcellement du continu phénoménal.

Avant même de parler de faits et de s'interroger sur leur neutralité, il faut prendre acte de ce que, avant le début même toute enquête scientifique, l'esprit s'est livré à une série d'opérations, dont le résultat semble aller de soi, mais qui est en fait loin d'être trivial. Elles ont pour but de dégager, dans le flot des sensation qui nous entourent, celles qui seront interprétées comme résultant de l'action d'un monde externe sur moi (voir la construction de l'espace selon Poincaré). La suite de l'analyse permettra de dégager, dans cette action, le jeu des objets spatialement délimités, et temporellement cohérents (condition de leur individuation  $\rightarrow$  problème avec la non-séparabilité quantique).

Enfin, le chois des échelles de mesure, les décisions prises quant à la finesse de la subdivision des phénomènes mettront en évidence telle régularité, et feront disparaître telle autre  $\rightarrow$  voir *facteurs d'échelle*, aussi *théories* effectives.

Voir G. Bachelard, Essai sur la connaissance approchée, 1928; L. Rougier, Traité de la connaissance, 1955; ...

#### But du cours

L'avènement de la science moderne au XVIIe siècle est concrétisé, de manière indéniable, par la création de la science de la mécanique couronnée par les *Principia* de Newton (1686-87). Pour y arriver, il a fallu surmonter des difficultés considérables liées, en premier lieu, à la description du mouvement (cinématique), en particulier à la conceptualisation et la définition mathématique de la vitesse instantanée. Ces difficultés étaient déjà connues et étudiées au Moyen âge, et des avancés notables y ont été enregistrées. Galilée et ses contemporains, puis ceux qui ont prolongé son œuvre, ont pu s'appuyer sur ces premiers résultats, pour finalement bâtir un outil mathématique performant pour exprimer la variation du mouvement sous l'effet de forces, et poser ainsi les bases de la science de la mécanique. En examinant quelques épisodes de ce développement, nous pouvons prendre conscience d'un certain nombre de traits remarquables dans la manière dont nous quantifions le réel, et dans la manière dont nous mettons à contribution les mathématiques pour le décrire et le comprendre.

#### Eléments de réflexion :

La « latitude des formes » et le problème de la variation d'une qualité (grandeur intensive)

Galilée, le mouvement uniforme et la théorie du mouvement uniformément accéléré Le problème de la définition de la vitesse instantanée

Les infinitésimaux, les indivisibles

Le statut des êtres mathématiques: problèmes de la philosophie des mathématiques.

# Les apports de la scolastique à la mécanique

A partir des travaux de Pierre Duhem au début du XXe siècle, repris et amendés par Anneliese Maier et plus récemment par Marshall Clagett et nombre de ses élèves, on s'accorde à penser que la scolastique médiévale a apporté des réelles avancées dans le domaine de la mécanique. Duhem dans ses *Etudes sur Léonard de* Vinci, puis Maier et Clagett, ont établi que les milieux scolastiques du début du XIVe siècle, surtout à Paris et à Oxford, avaient développé une cinématique (le mouvement étudié selon l'effet ) et une dynamique (le mouvement étudié selon la cause ) comportant des éléments remarquablement novateurs par rapport aux traditions antique ou arabe. En particulier, un courant anti-aristotélicien au cours du XIVe siècle a rompu avec certaines positions du péripatéticien et a ouvert la voie aux concepts modernes du mouvement et à sa mathématisation.

#### Références:

Pierre Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, Paris, Hermann, 1913, *reprint* Paris, Gordon and Breach, 1984; Le système du monde, *vols 7 et 8: La physique parisienne au 14e siècle,* Paris, 1954.

Anneliese Maier, Zwischen Philosophie und Mechanik, Rome, Edizioni di storia e letteratura, 1958; Zwei Grundprobleme der Scholastischen Naturphilosophie, Rome, 1968.

Marshall Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages*, Madison, The University of Wisconsin Press, 1959

# La notion de mouvement dans la scholastique 1

Chez Aristote, et la scholastique reprendra cette conception, le mouvement se définit proprement dans trois *catégories*, celles de la quantité, de la qualité, et du lieu. La notion de mouvement chez Aristote est donc bien plus générale que la notre, que nous associons de manière exclusive au changement de position spatiale. Le changement de position dans l'espace, qui n'est qu'un cas particulier de la notion générale de mouvement, reçoit, chez Aristote, le nom spécifique de mouvement *local*. Les trois catégories qui admettent un mouvement au sens d'Aristote sont la *quantité*, la *qualité* et le *lieu*. Aristote distingue encore d'autres catégories dans son *Organum* (les catégories correspondent à ce que l'on peut prédiquer du sujet, voir par exemple ...), mais elles ne sont pas sujettes au mouvement et, à ce titre, ne nous intéressent pas ici.

Le mouvement, compris donc dans le sens général d'un changement, est plus ou moins facile à concevoir selon la catégorie considérée.

Dans le cas de la quantité, qu'elle soit discrète ou continue (divisible à l'infini) le mouvement est compris comme un mouvement d'augmentation (ou de diminution) qui se réalise en additionnant (ou soustrayant) à la quantité actuelle des parties de même espèce. En effet, de par la définition d'une quantité, celle-ci admet des parties, homogènes entre elles, et que l'on peut alors cumuler ou séparer : une quantité est dans ce sens « extensive ». Le mécanisme de sa variation découle donc immédiatement de sa définition.

## La notion de mouvement dans la scolastique 2

Le mouvement selon la catégorie de la *qualité* est plus délicat à concevoir : il n'est tout d'abord possible que pour une certaine espèce de qualités, celles susceptibles justement de varier dans leur « intensité » (voir plus loin). Ceci étant dit, le mouvement d'une qualité, qui n'admet de prime abord pas de parties, ne peut se concevoir en termes de l'ajout ou de soustraction de parties homogènes. Une qualité correspond donc, en terminologie moderne, à une notion « *intensive* » (songeons au concept de température). Le mouvement d'une qualité ne peut donc être un mouvement d'augmentation, et on parlera plutôt d'un mouvement le *d'altération*. Le problème que ses poseront les maîtres du Moyen âge sera de concevoir un mécanisme par lequel s'effectue le mouvement des qualités.

Le mouvement selon le lieu consiste en un changement de lieu: c'est le mouvement local proprement dit. Même s'il nous apparaît plus familier, il fut, au Moyen âge, également l'objet de maintes interrogations. Un changement de lieu pose en effet immédiatement des questions délicates : ainsi, le mobile quitte-t-il complètement, avant de rejoindre son lieu suivant, le lieu où il se trouvait, ou y a-t-il superposition partielle, etc... > paradoxes usuels rattachés à la notion de continu, d'infinie divisibilité, etc.

Prenant en compte cette notion généralisé de mouvement, la notion de sa « *velocitas* », terme latin que nous traduirions volontiers par « velocité » est à comprendre ce par quoi un mouvement peut être jugé plus rapide qu'un autre. Ce n'est pas une qualité puisque le mouvement n'est pas une substance, mais on peut parler de son intensification (exaltation, dixit Duhem) ou atténuation.

## La notion de mouvement dans la scolastique 3

Autant le mouvement selon la catégorie de la quantité est donc facile à concevoir, autant le mouvement selon la catégorie de la qualité est problématique. Comment comprendre en effet l'altération dans une qualité? Le problème n'est pas trivial comme le montre le cas bien connu et débattu par la scolastique, celui de donner un sens à des variations, ou à des jugements sur variation de la ... charité. La scolastique, qui s'appuyait essentiellement sur une pratique de commentaires d'œuvres précédentes, s'était en effet posée le problème de la variation des qualités à l'occasion d'un texte de l'évêque de Paris, Pierre Lombard (environ 1100 -1160), qui dans son fameux *Livre des Sentences* (*Libri quatuor* sententiarum,1152) avait posé un jugement d'inégalité entre deux charités. Les docteurs et commentateurs qui suivirent Lombard, toujours friands de défis intellectuels où ils pouvaient faire preuve de leur subtilité et de leur science, s'emparèrent de ce problème, en l'abstrayant de ses origines théologiques, pour en faire le terrain d'une réflexion générale sur la théorie du mouvement selon la catégorie de la qualité.

Le mouvement critique, au XIVe siècle, envers la pensée d'Aristote, et que nous avons déjà évoqué à l'occasion de la théorie de l'impetus de Jean Buridan, avait là aussi conduit à reconnaître l'insuffisance des conceptions aristotéliciennes. Dans le cas de la variation d'une qualité, la pensée péripatéticienne concevait ce changement en termes d'un changement de la participation du contraire de la qualité envisagée. Cependant, ce mécanisme, pour ingénieux qu'il soit, ne semble pas s'appliquer au cas de la charité, puisque celle-ci n'a pas de contraire.

Il a donc fallu imaginer une autre conception de la variation.

# Le problème de la latitude des formes 1

Parmi les formes qui pouvait affecter le sujet, on distinguait les « essentielles », qui ne peuvent être conçues comme susceptibles de variation car elles participent directement à l'essence du sujet (ainsi l'essence d'un Homme c'est son humanité, et celle-ci ne peut varier, si l'Homme est censé demeurer Homme), et les « accidentelles », qui peuvent varier dans leur « intensité », sans que cela ne vienne affecter l'essence du sujet (ainsi un Homme peut être par ailleurs plus ou moins « blanc », la blancheur étant définie ici comme une qualité accidentelle). Les formes accidentelles susceptibles de variation au sens ci-dessus étaient dites susceptibles de « latitude », et le problème de comprendre le mécanisme de leur variation était connu, à l'époque comme le problème de la latitude des formes.

C'est dans le cadre de tentatives de résoudre le problème de la latitude des formes que les docteurs de la scolastique développèrent des outils conceptuels qui se révélèrent utiles, en fin de compte, pour penser le changement de vitesse d'un mouvement. Appliqués à l'analyse d'un mouvement local variable, ces outils furent cruciaux pour l'avènement d'une cinématique du mouvement, c'est-à-dire d'une science qui décrit le mouvement dans ses caractéristiques spatiales et temporelles. Les études scholastiques ouvrirent ainsi la voie à une conceptualisation de la notion d'un mouvement local à vitesse variable et, en fin de compte, à la notion de vitesse instantanée, et de l'accélération. C'est l'une des grandes contributions du Moyen âge à la science moderne. Dans la suite, nous examinerons quelques aspects du problème de la latitude des formes et nous verrons ensuite comment on en trouve encore des traces chez Galilée.

# Le problème de la latitude des formes 2

On peut distinguer, en gros, au Moyen âge, deux conceptions du mécanisme par lequel une qualité susceptible de latitude peut varier. Ceux qui suivent l'opinion de Saint Thomas d'Aquin (vers 1225-1274), à qui nous devons l'accommodation de la pensée aristotélicienne aux dogmes de l'église, conçoivent une variation de la qualité dans un sujet comme une variation de la manière dont le sujet participe à la qualité en question. Cette dernière, pour Thomas et ses continuateurs, ne peut pas, en effet, varier en elle-même : les jugements sur une différence d'intensité d'une qualité donnée dénotent donc nécessairement des variations dans la manière dont le sujet y participe. Pour reprendre un exemple, il n'y a pas différentes blancheurs, mais différents manières de participer à une seule et unique blancheur qui elle-même demeure unique et immuable. Thomas d'Aquin dira : On ne peut pas dire d'une blancheur qu'elle est plus ou moins blancheur, mais bien d'un corps qu'il est plus ou moins blanc.

Les critiques de la position de Thomas d'Aquin, regroupés derrière la figure du maître Henri de Gand (c1217-1293), estiment au contraire qu'une variation de la qualité est possible de manière intrinsèque, par variation de ses « degrés ». Cette position connaître une grande popularité au XIVe siècle, où elle sera reprise et poussée plus loin. En particulier, on en viendra petit à petit à concevoir que la variation d'une qualité se fait en ajoutant à ses degrés déjà actuels des nouveaux degrés qui l'intensifient ainsi dans le sujet. Le langage des degrés, et le mécanisme associé de la variation d'une qualité, auront pour effet de gommer toute différence entre la catégorie de la quantité et celle de la qualité, du moins en ce qui concerne leur mécanisme de variation. Le grand bénéfice qui en sera retiré consistera dans la possibilité de donner une représentation graphique des variation de la qualités dans le sujet.

Réf. P. Duhem, Système du monde, vol. 7, pp. 484-487 et suivantes.

# Le problème de la latitude des formes 3

On pourrait se demander quel intérêt y-a-t-il d'examiner, pour une histoire des sciences, le problème de la latitude des formes. Celui-ci semble, sous certains aspects, exemplaire des problèmes oiseux et détachés du monde dans lesquels se complaisaient les docteurs de la scolastique, et l'on ne voit pas comment il a pu avoir une quelconque influence sur le développement de la science.

La réponse est simple. La critique de la conception aristotélicienne (thomiste) du mécanisme de l'altération d'une qualité tendait de fait à gommer la différence entre la catégorie de la quantité et celle de la quantité en reconnaissant à une qualité des *degrés*, susceptibles de varier. En prenant le parti de cette critique, les docteurs du XIVe siècle ont initié un mouvement d'arithmétisation, donc de mathématisation, dans l'étude de ces qualités. En effet, si le mouvement d'altération d'une qualité (douée de latitude) consiste en une addition ou soustraction des degrés, on peut alors avoir recours, pour exprimer cette altération, aux mêmes mathématiques que celles déjà en usage pour traiter des quantités. On peut associer en particulier aux degrés une représentation en termes de grandeurs continues comme le sont les segments géométriques. Comme nous le verrons sous peu avec Nicole Oresme, cela permettra de représenter les modalités de la variation sous une forme graphique, et de dériver un langage spécifique qui permette de les classer. Un des résultats spectaculaires de ce développement sera leur application à l'analyse du mouvement local: le long de ce cheminement intellectuel, on apprendra à conceptualiser la cinématique du mouvement local, et en particulier exprimer ses caractéristiques de vitesse et d'accélération.

# Les franciscains du Merton College : la loi de Bradwardine

Dans la première moitié du XIVe siècle, Oxford connaît un remarquable mouvement prolongeant la réflexion d'un de ses maîtres emblématiques, Thomas Bradwardine (fin XIIIe- 1349). Dans son *Traité des proportions* (1328), celui-ci a entre autres donné la loi qui porte son nom, et qui résulte de sa tentative de donner un sens aux considérations dynamiques d'Aristote dans sa *Physique*. La loi de Bradwardine constituait une première tentative de quantifier la physique d'Aristote.

Bradwardine va proposer comme expression quantitative de l'affirmation d'Aristote la proportionnalité de la vitesse à la force et à l'inverse du poids et de la résistance. Malgré le caractère erroné de cette loi, il s'agît d'un moment important dans les débuts de la réflexion dynamique. Il est très instructif de bien mesurer à cette occasion combien notre conception moderne diffère de celle de Bradwardine. Un monde les sépare, celui de la reconnaissance de l'inertie et avant même cela, de l'ubiquité du frottement, qui rend impossible sa constatation empirique directe. De toute façon, même en l'absence idéale de frottement, l'inertie échappe au contrôle expérimental car elle implique une durée d'observation infinie.

Réf. P. Duhem, Système du monde, vol. 7, pp. 470.

# Les franciscains du Merton College : le théorème de la vitesse moyenne

La réflexion sur le problème de la latitude des formes engendra, chez les maîtres d'Oxford, un résultat mathématique remarquable. Celui-ci, connu sous le nom de la règle de Merton, permet de comparer un mouvement uniformément accéléré à un mouvement uniforme équivalent. Plus précisément, la règle de Merton donne la vitesse du mouvement uniforme qui correspond à un même espace total parcouru qu'un mouvement uniformément accéléré.

Un peu plus tard, le grand savant Nicole d'Oresme (1320 – 1382) proposera une représentation graphique de ce théorème en termes de ce qui suggère fortement, pour nous, un système d'axes de coordonnées. Il faut cependant rester très attentif à ne pas se laisser trop fortement influencer par des similarités de surface: la réalité intellectuelle dans laquelle venaient s'insérer les diagrammes d'Oresme dépasse largement nos considérations de géométrie analytique au service de la représentation des gradeurs que nous jugeons bonnes à mathématiser (→ penser à l'exemple de la charité!).

Réf. P. Duhem, Système du monde, vol. 7, pp. 601 et suivantes.

# Nicole Oresme : un grand docteur de la scolastique

Nicole Oresme est né vers 1320 près de Caen. En 1348 il est admis au collège de Navarre, fondé en 1304 pour accueillir, sans condition de naissance, de famille ou d'âge, tout français pauvre qui se destinait à l'étude de la grammaire, de la logique ou de la théologie Nicole Oresme y reste treize ans et s'y distingue très vite; il en devient finalement grand-maître le 4 Octobre 1356.

Devenu protégé du roi Charles V il entame une nouvelle carrière. En 1362 il bénéficie de prébendes au chapitre de Rouen et devient doyen du chapitre en 1364. Il séjourne à Rouen, mais en même temps fréquente la cour, il a le titre de secrétaire du roi puis de conseiller et de chapelain. Dans cette dernière partie de sa vie, Oresme écrit ses œuvres en français et publie ses traductions commentées des livres d'Aristote. Il est sacré évêque de Lisieux le 28 janvier 1378. Nicole Oresme s'installe à Lisieux à partir de juin 1378. Il meurt à Lisieux le 11 juillet 1382. Son corps est déposé dans la cathédrale, près de la porte gauche du chœur.

# Nicole Oresme : la représentation graphique de la variation des qualités

Nicole Oresme expose sa méthode de représentation graphique des variations d'une *qualité* dans son traité Tractatus de configurationibus qualitatum et motum (Traité sur la configuration des qualités et du mouvement, titre original et date de composition inconnus).

Examinons comment Oresme traite le cas d'un un corps dont la chaleur (la qualité) n'est pas homogène mais varie suivant l'endroit où on la mesure. Afin de représenter ces variations de la chaleur, il imagine une droite tracée dans une dimension de ce corps. Il appelle *longitudino* la longueur qui sépare un point courant de la droite à un point origine arbitrairement fixé. En chaque point de cette droite il élève une perpendiculaire dont la hauteur (*latitudino*) est proportionnelle à l'intensité de la chaleur au point correspondant du corps. Il obtient ainsi une figure géométrique dont l'examen rend plus aisé l'étude des variations de la chaleur (voir figure 1). «Les propriétés de cette qualité, écrit-il, en seront examinées plus clairement et plus facilement dès lors que quelque chose qui lui est semblable est dessiné en une figure plane, et que cette chose, rendue claire par exemple visible, est saisie rapidement et parfaitement par imagination ...car l'imagination des figures aide grandement à la connaissance des choses même»

Il se livre ensuite à une étude mathématique des figures planes que produisent les représentations graphiques des qualités. Il leur fait subir des transformations géométriques simples en cherchant des propriétés invariantes, ce qui le conduit à une classification des courbes. Il semble que nous assistions là aux premiers balbutiements de la géométrie analytique. C'est pour cela que certains considèrent Nicole Oresme comme un précurseur de Descartes.

Réf. P. Duhem, Système du monde, vol. 7, pp. 534-561.

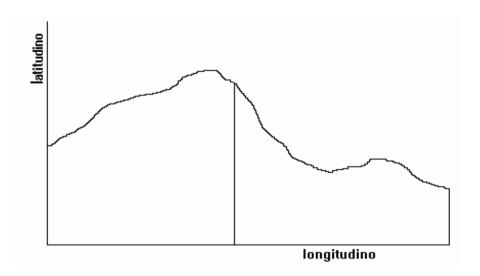


Figure 1

# Nicole Oresme : la représentation graphique de la variation des qualités

La représentation graphique introduite par Oresme permet une démonstration très suggestive de la règle de Merton. Tout d'abord, Oresme s'intéresse à la portion de plan balayée par des perpendiculaires successives de sa représentation. Par l'examen de cas particuliers simples et en généralisant, il aboutit à la conclusion que l'aire de la surface balayée par les perpendiculaires élevées au dessus de chaque graduation d'un intervalle de longitudino donné est proportionnelle à la quantité de la qualité. Dans le cas de l'application au mouvement local, avec la vitesse comme latitudino, on obtient comme quantité du mouvement la distance parcourue. Oresme démontre la règle de Merton à partir de l'observation géométrique suivante (figure 2)

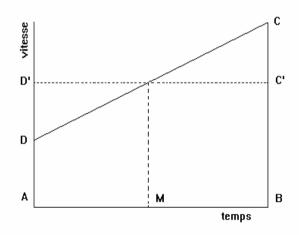
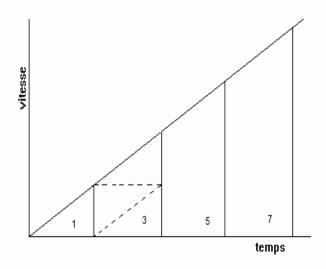


Figure 2

# Nicole Oresme : la représentation graphique de la variation des qualités

Utilisant la même représentation graphique, Oresme obtiendra un résultat remarquable pour le mouvement uniformément difforme, c'est-à-dire, dans le langage de l'époque, pour le mouvement où la vitesse varie proportionnellement au temps, c'est-à-dire pour le mouvement uniformément accéléré. Ce résultat se retrouvera bien plus tard chez Galilée dans sa fameuse discussion de la loi du mouvement uniformément accéléré (*Discours*, troisième journée, 1638). On constate, par examen de la figure, et dans la même logique que pour la démonstration de la règle de Merton, que la suite des espaces parcourus dans un mouvement uniformément accéléré, est comme la suite des nombres impairs : 1,3,5...



# La mathématisation du mouvement au XVIIe siècle : le continu en embuscade

Le XVIIe siècle va hériter des difficultés de la scholastique à conceptualiser la variation continue des qualités. Ces difficultés se retrouveront dans le cadre des tentatives de développer une science mathématisée du mouvement uniformément accéléré. En particulier, deux difficultés conceptuelles devront être surmontées.

La première sera de conceptualiser le passage du mobile d'une vitesse nulle à une vitesse finie donnée (lâcher d'une pierre par exemple). Passe-t-on par tous les degrés de vitesse ? Mais alors comment est-ce possible en un temps fini ? Fait-on plutôt des sauts de vitesse ? Galilée, dans ses *Discours*, explique brillamment ce qu'il faut en penser. Le débat va cependant continuer bien après sa mort (La Nature fait-elle des sauts ?!→ le continuisme de Leibniz).

La seconde difficulté sera de définir la vitesse instantanée de manière à rendre aussi clair que possible (« satisfaisant la raison » comme dira Fontenelle, le secrétaire de l'Académie des Sciences entre ) le lien entre l'historique de sa variation (l'évolution de sa variation), et l'espace parcouru total qui en résulte.

Dans les deux cas, nous nous heurterons à des difficultés liées directement au problème de l'infini, et sur lesquelles le sophiste Zénon avait déjà joué dans ses fameux paradoxes :

- infini des degrés successifs des vitesse à mettre en parallèle avec l'infini des instants temporels associés, et qui renvoient à la continuité (divisibilité à l'infini) du temps, de l'espace, et donc du mouvement:
- infini dans la mise, « bout à bout », des tronçons de mouvement où la vitesse peut être considérée comme constante, pour obtenir l'espace total parcouru comme sommation infinie des segments de parcours infiniment petits.

# Galilée (1564-1642) : quelques dates et événements

Galilée (Galileo Galilei) naît à Pise le 15 février 1564.

En 1581, Galilée est inscrit à l'université de Pise où il suit tout d'abord des cours de médecine.

En <u>1583</u>, il est initié aux <u>mathématiques</u> par <u>Ostilio Ricci</u>, élève de <u>Tartaglia</u>. Il réoriente ses études vers les <u>mathématiques</u>.

En 1589, il obtient la chaire de mathématique de l'université de Pise.

En <u>1590</u> et <u>1591</u> Galilée expérimente sur la chute des corps et rédige son premier ouvrage de mécanique, le *De motu*, encore d'inspiration largement aristotélicienne.

En <u>1592</u>, Galilée part enseigner à l'<u>université de Padoue</u> ; il y restera 18 ans. Il enseigne la mécanique appliquée, les mathématiques, l'<u>astronomie</u> et l'<u>architecture militaire</u>.

En 1604 Galilée fait plusieurs avancés: il teste sa pompe à eau, découvre la loi du mouvement uniformément accéléré ; il débute aussi ses observation d'une <u>nova</u>.

En <u>1609</u>, Galilée construit sa première lunette. Il observe les phases de la <u>Lune</u>, la nature de la <u>Voie lactée</u>, les anneaux de <u>Saturne</u>.

En 1610, il découvre les lunes de Jupiter, <u>Callisto</u>, <u>Europe</u>, <u>Ganymède</u> et <u>Io</u>. Il publie ses découvertes dans <u>Le</u> <u>Messager des étoiles</u> (Sidereus Nuncius).

La même année, Galilée quitte <u>Venise</u> pour <u>Florence</u> où il a accepté le poste de <u>Premier Mathématicien</u> de l'<u>Université de Pise</u> (il est dispensé d'enseignement) et celui de <u>Premier Mathématicien</u> et <u>Premier Philosophe</u> du <u>grand-duc de Toscane</u>.

En 1616, le pape Paul V condamne la théorie copernicienne.

En <u>1622</u>, le cardinal <u>Maffeo Barberini</u>, favorable à Galilée, est élu <u>Pape</u> sous le nom de <u>Urbain VIII</u>.

En <u>1632</u>, Galilée, qui se croît protégé par le <u>pape Urbain VIII</u> fait paraître son chef d'œuvre, le <u>Dialogue sur les deux grands systèmes du monde</u>) ouvertement <u>pro-copernicien</u>. La même année, il est convoqué par le Saint-Office pour s'expliquer.

Le 22 juin 1633, Galilée est condamné à la prison à vie (peine commuée en résidence à vie par Urbain VIII).

En 1636, Galilée publie son dernier livre, les Discours sur deux sciences nouvelles.

Galilée s'éteint à <u>Arcetri</u> (Florence) à l'âge de 78 ans le <u>8 janvier 1642</u>.

# Galilée héritier de la scolastique : l'étude du mouvement uniforme

Au début de la troisième journée de ses *Discours*, Galilée pose les axiomes du mouvement uniforme. Sous leur caractère anodin, voire trivial, ces axiomes ont en fait une fonction importante et leur énoncé laisse apparaître tout l'ancrage de la réflexion galiléenne dans la tradition, les problématiques, et le vocabulaire de la théorie du mouvement de la scholastique (voir documents unif1-unif3).

Réf: Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze in Opere di Galileo Galilei, Favaro éd., Edizione nazionale, Florence, 1890-1909; traduction française de Maurice Clavelin, Discours concernant deux sciences nouvelles, P.U.F. 1995, Troisième journée, pp. 125-130.

Document : les axiomes galiléens du mouvement uniforme

voir pages scannées unif1, unif2 unif3

#### Discussion des axiomes du mouvement uniforme

Les axiomes du mouvement uniforme de Galilée ont pour but de rendre possible l'étude de ce mouvement au moyen de la théorie des proportions impliquant des rapports des grandeurs nécessairement homogènes (cette théorie est exposé dans le livre V des Éléments d'Euclide). La vitesse, terme primitif, n'apparaît donc qu'implicitement, comme une caractérisation du mouvement qui permet sa comparaison avec un autre, mais elle n'est pas définie explicitement en termes d'un quotient de l'espace parcouru par le temps de ce parcours. On pourrait dire que cette vitesse constante, qui caractérise le mouvement uniforme de manière complète, et qui épuise ainsi sa signification, est le concept autour duquel « tournent » les axiomes, sans pour autant pouvoir l'expliciter. Cette manière indirecte d'invoquer la vitesse, de la dire, sans pour autant la définir comme un rapport de quantités inhomogènes, explique l'apparente redondance des axiomes galiléens: pour nous, qui sommes habitués à la définition de la vitesse en termes d'un quotient d'un espace par un temps, Galilée semble tourner dans tous les sens une même proportionnalité (A partir de la simple relation x=v.t, mais que justement Galilée ne définit pas, on obtient successivement v = x/t, t=x/v, ou encore v=x/t).

## Galilée, entre tradition et innovation : l'étude du mouvement accéléré 1

Dans l'étude du mouvement accéléré qui suit celle du mouvement uniforme, la tradition scolastique dans laquelle baigne encore Galilée est plus flagrante. On le voit manier un vocabulaire qui laisse transparaître qu'il pense le problème d'un mouvement accéléré, où la vitesse varie continument, encore en termes d'une situation où une qualité, forme du mouvement, est sujette à un mouvement d'altération. Tout comme les docteurs du XIVe siècle qui avaient choisi de prendre le contre-pied la de philosophie péripatéticienne, il analyse la variation de la vitesse en termes d'un ajout, aux degrés de vitesse déjà existants dans le mouvement, de nouveaux degrés (voir documents diff1-diff6). En fait, le situation mentale de Galilée est plus complexe. Comme le montre la suite de son texte, Galilée, tributaire encore du vocabulaire et de certains modes de pensée qui deviendront sous peu obsolètes, se projette pourtant déjà dans une problématique résolument moderne: il a déjà les intuitions caractéristiques de la science moderne, mais ne possède pas encore les moyens conceptuels, et formels (mathématiques), pour exprimer ces intuitions d'une manière dénuée d'ambiguïté...

Le meilleur exemple de ce Galilée qui garde encore un pied dans le Moyen âge, et a placé déjà l'autre dans la science moderne, est fourni par sa discussion de la loi du mouvement uniformément accéléré. Tout d'abord, il s'agit de se donner la règle de Merton.

Réf.: Discours concernant deux sciences nouvelles, P.U.F. 1995, Troisième journée, pp. 130-141.

Document : la démonstration galiléenne de la règle de Merton ;

voir pages scannées diff6 et diff7

## Galilée, entre tradition et innovation : l'étude du mouvement accéléré 2

La preuve de Galilée de la règle de Merton présuppose, comme condition de son acceptation, que les verticales représentant les degrés de vitesse (voir le texte de Galilée) ont un lien clair avec les espaces parcourus. C'est seulement sous cette condition que l'on peut inférer, à partir de l'égalité entre « l'agrégat des verticales du triangle », et l'agrégat des verticales du trapèze, que les espaces parcourus sont les mêmes. Malgré l'invitation de Galilée à accepter ce lien, il n'est, à ce stade, pas du tout justifié. Il nous faut bien comprendre ici que ce qui nous fait, aujourd'hui, « comprendre » ce que Galilée veut dire, et accepter donc sa conclusion, est justifié seulement par le concept de vitesse instantanée, et par son lien avec l'espace total parcouru à travers la sommation des espaces infinitésimaux de parcours correspondants (donc une intégrale). Galilée semble en avoir l'intuition, mais il ne peut pas nous expliquer, faute de langage adéquat, pourquoi nous devrions le croire.

Son disciple Evarista Torricelli (1608-1647), qui pourtant reformulera d'une manière plus rigoureuse certains résultats galiléens après sa mort, fera ici un peu mieux sans pour autant atteindre, à vrai dire, plus de rigueur (voir document torri). L'intuition intéressante de Torricelli est celle d'attribuer au point spatial sur le chemin d'un mouvement plus rapide (OH dans son texte) plus de « longueur » qu'à celui situé sur le mouvement uniforme plus lent (GF). Ce faisant, il considère en fait les segments infinitésimaux parcourus avec les deux vitesses instantanées différentes. C'est bien vu de sa part, mais ses mathématiques ne sont pas adaptées à dire cette intuition.

Réf. Michel Blay, Les raisons de l'infini. Du monde clos à l'univers mathématique. Gallimard, 1993.

Document : la discussion torricelienne de la relation entre profil de vitesse et espace parcouru ; voir page scannée torri

### Cours 2 Le problème de la quantification du réel et le rôle des mathématiques

### Galilée, entre tradition et innovation : l'étude du mouvement accéléré 2

La règle de Merton acceptée, toute la stratégie démonstrative de Galilée, pour obtenir sa loi du mouvement accélérée, va consister à comparer le mouvement uniformément accéléré à un mouvement uniforme ayant le même « effet total » c'est-à-dire correspondant, dans le temps du mouvement accéléré donné, au même espace parcouru. Voilà pourquoi la règle de Merton est ici absolument cruciale : elle permet de parler du mouvement uniformément accéléré par le truchement d'un mouvement uniforme « équivalent » (voir documents diff7-diff8). Il semble qu'on a ainsi contourné l'obstacle de l'absence d'une définition explicite de la vitesse instantanée. Bien entendu, ce n'est pas le cas : comme nous venons de le voir, le problème a été simplement renvoyé à la démonstration de la règle de Merton, où il réapparaît immédiatement dans toute sa difficulté.

Passé cet (gros) écueil, on peut néanmoins savourer la preuve galiléenne de sa loi, qui affirme que dans un mouvement uniformément accéléré, les espaces successifs parcourus sont comme les carrés des temps.

Il est crucial de remarquer que l'écueil de la vitesse instantanée n'est pas qu'un obstacle à une démonstration qui aurait alors toutes les marques de la rigueur. Ce qui se joue ici est en fait la possibilité même d'une véritable mathématisation du mouvement qui met en correspondance univoque les concepts cinématiques et leurs relations, d'une part, avec la représentation mathématique qu'ils reçoivent et qui permet de les exprimer, de les penser, et surtout d'analyser les conséquences nécessaires de leur déterminations, de l'autre.

Réf. Michel Blay, Les raisons de l'infini. pp..

# Document : la démonstration galiléenne de la loi du mouvement uniformément accéléré

voir pages scannées diff7-diff8

## Cours 2 Le problème de la quantification du réel et le rôle des mathématiques

# Christian Huygens, l'étude du mouvement accéléré dans l'esprit euclidien

Christian Huygens (1629-1695), un des plus grands savants du XVIIe siècle, va reprendre la mécanique galiléenne dans les années 1650-1660 en en dérivant des résultats remarquables qu'il publiera plus tard dans son fameux ouvrage le *Horologium Oscillatorium* (1673), un des monuments de la mécanique du XVIIe siècle, avant d'être éclipsé par els *Principia* de Newton. En particulier, évitant de se confronter frontalement aux problèmes de la sommation des verticales galiléennes», il dérivera une démonstration très élégante de la règle de Merton, dans le plus pur style euclidien, mais qui pour cela, est aussi bien indirecte et peut sembler, pour le lecteur moderne, inutilement compliquée (documents huy1-huy3). La prouesse de Huygens consiste a approximer (en minorant et majorant) l'espace couvert par le mouvement accéléré par deux espaces parcourus par des mouvements fictifs faits de tronçons de mouvements uniformes. Prenant ce que l'on appellerait aujourd'hui une limite, Huygens aboutit sur la base de deux raisonnements par l'absurde, à la conclusion voulue. Le lecteur averti remarquera que Huygens n'évite pas vraiment la difficulté, mais qu'il la masque par le recours à la limite, ce qui est déjà bien dans l'esprit de nos définitions modernes.

Réf. Michel Blay, Les raisons de l'infini. pp.

Document : la preuve de Huygens de la règle de Merton

voir pages scannées huy1, huy 2, huy3

#### Cours 2 Le problème de la quantification du réel et le rôle des mathématiques

# Leibniz: l'avènement d'un calcul (algorithme) différentiel

En 1684, Leibniz publie dans les *Acta Eruditorum* un texte très condensé qui expose son calcul différentiel. Laissons de côté la question de sa rivalité (attisée par d'autres) avec Newton sur la question de la paternité des méthodes différentielles (voir aussi prochain cours). Examinons plutôt les premières pages de son texte (voir documents leib1-leib2): Leibniz définit ses différentielles sur la base de la pente des tangentes correspondantes, et de manière remarquable donne, comme s'il définissait les règles d'un jeu calculatoire, les résultats bien connus correspondants à la différentiation des produits, quotients, etc. L'idée des règles d'un calcul qui permet une certaine automatisation des problèmes est bien présent dans l'esprit de Leibniz, qui appellera son calcul un algorithme! Bien que Leibniz ait perdu la bataille de la priorité contre Newton, c'est ses notations et son esprit que le XVIIIe siècle reprendra, et qui sont encore les nôtres aujourd'hui.

Malgré la difficulté et la nouveauté du calcul leibnizien, celui-ci se répand peu-à-peu sur le continent (la situation en Angleterre est différente → méthode des fluxions). Les frères Bernoulli (Jacques 1654-1705, et Jean 1667-1748) l'assimilent et sont les acteurs principaux de sa diffusion en France dès les années 1690 (Marquis de l'Hospital (1661-1704) → premier traité, *l'Analyse des infiniments petits pour l'intelligence des lignes courbes*). L'académie Royale devient le lieu ou le nouveau calcul s'impose malgré des résistances. Bientôt, les mathématiciens suisses et français perfectionneront ses méthodes, étendront de manière spectaculaire son domaine d'applications et reformuleront complètement la mécanique comme un algorithme de calcul différentiel.

Document : l'idée maîtresse de Leibniz et son algorithme différentiel ;

voir pages scannées leib1, leib2

#### Cours 2 Le problème de la quantification du réel et le rôle des mathématiques

# Varignon : la première définition « précise » de la vitesse instantanée

L'analyse de Michel Blay montre de manière convaincante que, en contraste avec ce que ferait croire une histoire des sciences aveuglée encore jusqu'à peu par l'étoile glorieuse et exclusive de Newton, c'est à un « second couteau » que l'on doit l'impulsion décisive pour une mathématisation moderne, différentielle, de la notion de vitesse instantanée.

Pierre Varignon (1654-1722) est membre de l'Académie Royale. Devenu ardent défenseur du nouveau calcul (il le défendra notamment contre les attaques de Michel Rolle (1652-1719)), il développe, dès les années 1695, l'application des méthodes différentielles leibniziennes aux problèmes mécaniques. En particulier, dans deux mémoires de 1698, il définit, en langage différentiel, le concept de vitesse instantanée, et donne ainsi à la science du mouvement un nouveau point de départ (voir documents vari1-vari6).

L'astuce de de Varignon consistera à considérer la vitesse correspondante à l'instant t, et de la déclarer valide sur tout l'intervalle infinitésimal de temps dt (où dt est la différentielle leibnizienne) en faisant remarquer que cette vitesse ne varie pas sur l'intervalle dt, puisque l'on a que t+dt ~ t (sic!) et ainsi v(t)~v(t+dt). Ce passage a un sens dans le calcul des infinitésimaux leibniziens, mais il causa néanmoins beaucoup d'émoi, voire de dérision chez certains critiques (comme le Berkeley de *l'Analyste* 1734) du nouveau calcul différentiel. Il faudra atteindre le XIXe siècle pour voir le calcul des « infiniment petits » remplacé par des énoncés fondés sur la notion de limite de quotients finis (ce sera l'œuvre de Cauchy). Néanmoins, grâce à son astuce, Varignon peu dès lors facilement écrire que v=dx/dt, ou alors encore que dx=v.dt, qui est la clé du lien entre l'espace total parcouru et l'effet successif des vitesses arbitraires le long du parcours.

Réf. Michel Blay, Les raisons de l'infini. pp. 163-168.

Document : la vitesse instantanée de Varignon dans le langage du calcul leibnizien ;

voir pages scannées vari1-vari6

#### But du cours

Situation historique : La rédaction des *Principia*, la réception de la mécanique newtonienne, et sa postérité.

#### Eléments de réflexion :

- La méthode scientifique de Newton ? Laquelle ?
- L'espace et le temps absolus : évidences empiriques ou nécessités théoriques ?
- Critique de Leibniz
- Critique de Berkeley
- Critique de Mach, le principe de Mach

Développements philosophiques : Quelle ontologie pour la science ? Substances, relations, ou encore structures ? Une science purement empirique est-elle possible ?

#### Textes:

Newton, Principes (Principia): Scholie I et II;

Correspondance Leibniz-Clarke

Berkeley : De Motu Mach, La mécanique.

#### But du cours

En 1686, Newton entame la publication de ses *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*. Cet œuvre passe, et c'est amplement justifiée, pour l'un des plus grands traités scientifiques jamais écrits. Si son contenu strictement scientifique ne souffre d'aucune discussion, au sens ou la mécanique newtonienne est toujours adéquate à rendre compte des phénomènes connus et visés par Newton (elle n'est surclassée que par des théories - relativité, mécanique quantique - rendues nécessaires par une physique des phénomènes hors de la catégorie des phénomènes du monde du sens commun), le cadre « philosophique » dans lequel Newton place sa conception de la mécanique ne bénéficie pas de la même cohérence et laisse apparaître des sérieux manquements aux règles mêmes que Newton s'était fixé pour conduire sa démarche. Si sa physique est solide, elle baigne dans une métaphysique luxuriante que la méthode déclarée de Newton ne peut pourtant pas cautionner. Le cours se propose d'examiner ces aspects « métaphysiques », et pour cela controversés des *Principia*, de discuter comment ils ont pu s'imposer en bénéficiant de l'effet d'entraînement de la mécanique newtonienne, et comment des philosophes critiques des thèses philosophiques newtoniennes, et lucides sur leur manque des fondement, n'ont pas réussi à s'y opposer efficacement faute de n'avoir pas su proposer une alternative scientifique aussi efficace. En arrière-fond de la séance, la question récurrente sera celle de la possibilité de formuler des théories scientifiques qui soient véritablement libres de toute métaphysique. L'exemple newtonien sera pris comme suggérant une réponse négative, et la question que nous poserons en fin de compte, sera celle de savoir si une isolation à tout prix entre le contenu scientifique et les positions philosophiques sous-jacentes n'est pas, non seulement impossible, mais en fait, si elle n'est pas, d'une certaine façon, même souhaitable (dans les cadres de certaines limites qui garantissent bien sûr sa compatibilité avec ce que nous admettons être la pratique de la science...)!



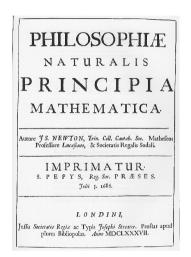


Isaac Newton naît à Woolsthorpe [Angleterre] le 25 décembre 1642 dans une famille de fermiers. Orphelin de naissance (son père décède deux mois avant sa naissance), Newton, qui s'accommode mal du remariage de sa mère, est partiellement élevé par sa grand-mère ; son enfance n'est pas très heureuse. A l'école publique de Grantham, Newton ne ressort pas du lot, au contraire. Vers 16 ans, il est rappelé par sa mère pour s'occuper du domaine familial, mais ce travail ne lui convient guère, et il retourne à l'école pour préparer son entrée à l'Université. Il entre au Trinity College de Cambridge en 1661.

A l'été 1665, la peste s'abat sur l'Angleterre, et Newton fuit le fléau en retournant dans sa région natale. La période de deux ans qui suit est pour lui d'une extraordinaire créativité : de là datent ses premières avancées spectaculaires en mathématiques, physique, et plus particulièrement en optique (expériences du prisme). A son retour à Cambridge, son maître Isaac Barrow détecte son génie, l'aide à réussir ses derniers examens universitaires, et en 1669 lui cède sa chaire de mathématiques. En 1672, Newton entre à la *Royal Society* de Londres.

Suite à une sollicitation de Edmund Halley (1656-17), Newton rédige son œuvre majeure, les *Philosophiae naturalis principia mathematica* qui apparaissent sous forme complète en 1687.

En 1693, Newton souffre d'une grave crise de dépression nerveuse, qui lui fait abandonner toute recherche nouvelle, au profit d'une synthèse et des perfectionnements de ses résultats antérieurs. Il occupe également des fonctions administratives prestigieuses : il est nommé directeur de la Monnaie, et en 1703, il est élu Président de la Royal Society. Anobli en 1705, il décède le 19 mars 1727 à Londres, et est inhumé à l'abbaye de Westminster, aux côtés des rois d'Angleterre.





# Les Principia: circonstances historiques

Newton retourne chez lui pour fuir la peste qui sévit en Angleterre ; il passe la période 1664-1666 quasiment reclus. L'origine de ses plus importantes découvertes date de cette époque.

En particulier, Newton réfléchit au problème de la force centrifuge et fait quelques estimations concernant le mouvement de la lune (1666);

La controverse de 1672 autour de la théorie des couleurs l'éloigne de la Royal Society ;

Newton reprend le problème du mouvement à force centrale suite à l'échange épistolaire, en 1679-1680, avec Hooke, qui essaie de rétablir les contacts de la RS avec lui.

Newton reçoit la visite de Halley à Cambridge en août 1684. Celui-ci lui pose le problème de la forme d'une orbite résultant de l'action d'une force centrale.

La réponse complète de Newton (c'est une ellipse) est le traité *De Motu Corporum in Gyrum*. Ce sera l'embryon des *Principia*: Halley, enthousiaste, persuade Newton de rendre ses résultats publics sous la forme d'un ouvrage plus exhaustif.

La rédaction des versions consécutives dès les premiers mois de 1685 (livre I), puis rédaction, en 1686 des livres II et III, déposition du livre I en avril 1686 (décision de publication aux frais de la RS en mai), jusqu'à la publication de la totalité des *Principia* en 1687.

Il y aura du viant de Newton deux rééditions, 1713 et 1725

Halley

Les Principia: contenu

#### Les trois livres des Principia :

- livre 1: principes du mouvement (définitions et axiomes) et théorèmes généraux
- livre 2: théorie du mouvement dans des milieux résistants → réfutation du mécanisme cartésien (tourbillons)
- livre 3: Le système du monde: application de la mécanique à la théorie de la gravitation

Les passages à contenu explicitement philosophique : « scholies » et autres « règles de raisonnement »

- scholie du livre 1 : cadre philosophique général pour une mécanique.
- les règles de raisonnement en philosophie du livre 3.
- le scholie général de la fin du livre 3 : considérations méthodologiques et statut de sa théorie

Les Principia : le scholie du livre 1

Le scholie du livre 1 est situé à la fin de l'énoncé des définitions qui ouvrent le livre I ; Newton s'y propose de revenir sur un certain nombre de notions qui figurent en filigrane des définitions. Il s'agit en particulier de spécifier ce que l'on entend par espace, temps, et aussi de préciser quel est, au-delà des évidentes applications, l'objectif plus profondément philosophique de l'ouvrage. Comme nous le savons aujourd'hui, la réflexion « philosophique » de Newton était en fait encore plus « métaphysique » que ce que Newton voulait bien laisser transparaître dans ses propos → Newton alchimiste, initié, et féru d'ésotérisme.

# La notion d'espace absolu

Lecture de la définition : constats et interrogations :

- la relativité galiléenne est assimilée
- la notion d'espace absolu: quelle évidence empirique ?
- la notion d'espace absolu: quelle fonction au sein de l'édifice de la mécanique ?

#### Lecture de la suite du scholie :

- les deux expériences de pensée à l'appui de l'existence de l'espace absolu
- l'objectif épistémologique des *Principia* : distinction entre mouvement vrais (absolus) et les mouvements relatifs.

Problème : quelle validité attribuer à l'argumentation de Newton ?

Se rapporter à l'annexe réunissant les citations de Galilée, Newton, Leibniz, Berkeley et Mach, avec un commentaire et une bibliographie sur le sujet.

# Intermède : la méthode scientifique de Newton

Les règles du raisonnement en philosophie, livre 3

Le scholie général, livre 3 : (le fameux hypotheses non fingo)

Lettres à Henry Oldenburg (1615-1677) de 1672 : statut des hypothèses et méthode expérimentale

Lettre à Roger Cotes (1682-1716) de 1713

Les Queries de l'Optique (Opticks, 1704)

Autres motivations ? Donner un sens à la mécanique en tant que bâtissant toute la théorie du mouvement en prenant comme norme le mouvement inertiel  $\rightarrow$  difficulté à extirper la notion de l'espace absolu de la construction newtonienne.

Questions d'importance : comment faisons-nous aujourd'hui ? → la notion de référentiel inertiel

La notion d'espace absolu : critique

L'argumentation de Newton n'a pas été accepté par tous. Des philosophes de premier plan en avaient décelé des faiblesses, motivés en général par un désaccord de fond avec la philosophie naturelle de Newton. Leibniz et Berkeley ont en particulier mis en doute les conclusions de Newton, soit en mettant en lumière les aspects paradoxaux de l'hypothèse de l'existence de l'espace absolu (Leibniz), soit en rejetant d'emblée les prémisses du raisonnement de Newton (Berkeley). Ce que les critiques de Leibniz et Berkeley ont essentiellement en commun, c'est avant tout la mise en évidence de l'absence d'un support empirique aux thèses de Newton. On ne perçoit que des mouvements relatifs, d'un corps par rapport à un autre corps. Newton semble être allé, sur la question de l'espace absolu, bien au-delà des faits, en violation de ses déclarations d'intention méthodologiques (voir ses règles de raisonnement, ses scholies (le je ne forge point d'hypothèses), et ses lettres à Oldenburg ou Cotes).

# La critique de Leibniz (1646-1716) : espace absolu ou espace relationnel ?



Entre 1714 et 1716. Leibniz échange quelques lettres avec le révérend Samuel Clarke, porte-parole de Newton, que l'on devine aisément derrière ses propos. Après un début de prime abord peu relevant pour le débat sur l'espace absolu, et où il semble être plus question de théologie que de physique, l'échange s'intensifie considérablement en débouchant sur la question de l'espace absolu en rapport avec sa conformité avec le principe leibnizien de la raison suffisante, et avec ses « preuves » expérimentales. L'argumentation va crescendo, passant du plan métaphysique au plan proprement physique. La conception leibnizienne, qui apparaît a posteriori comme singulièrement moderne, et qui, en attendant, est certainement plus respectueuse des données de l'expérience, n'arrive cependant pas à s'imposer, faute essentiellement de pouvoir donner une réponse satisfaisante à l'argument dynamique de Newton. Leibniz meurt en laissant sans réponse la dernière lettre de Clarke où ce dernier clame la victoire de la conception newtonienne. Il en sera ainsi pour encore presque deux siècles.

# La critique de Berkeley (1685-1753) : le mouvement n'est concevable que relativement aux autres corps



En 1721, le philosophe irlandais George Berkeley, fin observateur de la vie scientifique de son époque et son critique plein de lucidité (voir ainsi son *Analyst* de 1734), publie un court traité, le *de Motu*, dans lequel il insiste, entre autres, sur les insuffisances des preuves newtoniennes de l'existence de l'espace absolu. La substance de la critique de Berkeley se résume à faire observer que la perception du mouvement, et en fait son intelligibilité même, ne peuvent se faire sans qu'il ne soit apprécié en tant que ayant lieu relativement à un autre corps. On retrouve donc là une communauté de point de vue avec Leibniz, mais Berkeley n'ira pas jusqu'à formuler une conception relationnelle de l'espace.

Référence : Berkeley, *Du mouvement*, (*De Motu* ; titre exact : *Sive de Motus Principio & Natura, et de Causa Communicationis Motuum*), 1721.

# Leibniz et Berkeley : l'impuissance face à l'argument dynamique

Ni Leibniz, ni Berkeley ne sont en mesure d'opposer à Newton un argument qui puisse rivaliser et offrir une alternative crédible à ses deux expériences qui mettent en jeux toute la question de l'explication de l'inertie. Newton suggère en effet que l'espace absolu développe un effet physique sur les corps qui sont en mouvement (non uniforme), effet par lequel on peut donc le déceler indirectement. Si nous reformulons le problème en termes anachroniques qui seront ceux de la discussion qui émergera de la preuve de Newton (principe de Mach, relativité générale, voir plus loin), on peut dire que Newton « prouve » l'existence de l'espace absolu par la nécessité d'introduire un principe qui distingue les mouvements qui donnent lieu à la manifestation de l'inertie, et les autres, ce qui revient à poser la question de l'origine, de l'explication de l'inertie. Cet effet, c'est l'opposition du corps à ce que son état de mouvement change, et qui se manifeste par sa tendance à l'inertie. Les forces que l'on voit ainsi se manifester (l'eau qui remonte le long des parois, le fil tendu entre les deux sphères en rotation, voir scholie du livre 1), dites les forces « inertielles », témoignent de cette « résistance », dont elles témoignent indirectement de l'existence de l'espace absolu. L'espace absolu est chez Newton le générateur de l'inertie au sens où un mouvement non uniforme dans (par rapport à) cet espace donne lieu à la manifestation des effets inertiels : pour maintenir ce mouvement non uniforme, il faut contrebalancer ces effets par l'application des forces qui contrebalancent les forces inertielles.

# La critique de Mach (1838-1916) : la dénonciation de la pétition de principe newtonienne



La force et le prestige de la mécanique newtonienne réussiront à faire passer, de siècle en siècle, et « en contrebande », ses conceptions absolutistes, même si l'on se rend compte pourtant, de manière croissante, qu'elles ne sont pas vraiment indispensables pour fonder sa mécanique.

Ainsi, nous avons les jugements sceptiques de James C. Maxwell (la reconnaissance du caractère inobservable de l'espace absolu) ou encore la conception de Carl Neumann (1832-1925) du corps hypothétique « alpha » qui est une manière de «relativiser » l'espace absolu, sans pour autant éviter d'introduire de « l'inobservable »

En 1883, le physicien et philosophe des sciences Ernst Mach propose une critique minutieuse de la mécanique newtonienne en mettant en évidence tous ses dépassements métaphysiques. Il démonte en particulier les arguments newtoniens en faveur de l'espace absolu et ce faisant fonde une nouvelle conception de l'inertie. Selon Mach, Newton commet une pétition de principe. La seule chose que l'on peut conclure de l'expérience du seau est que le mouvement de l'eau par rapport aux étoiles (le fond du ciel, entendu ici comme tout ce par rapport à quoi l'eau ne tourne pas dans la première phase de l'expérience, voir scholie du livre 1) engendre les forces inertielles : celles-ci sont donc encore une affaire d'un mouvement relatif par rapport aux autres corps qui remplissent l'Univers ce qui s'accorde bien avec l'observation épistémologique que nous ne percevons que des mouvements relatifs, et que la physique ne doit pas céder à la « métaphysique ». La généralisation de la critique de Mach porte le nom de

« principe de Mach ».

# Le mot final de l'histoire : l'espace relationnel de Leibniz et la relativité

On aime à considérer l'avènement de la relativité comme le coup final et définitif porté contre la notion d'espace absolu. Il convient d'apporter à ce propos quelques précisions.

- La relativité met fin à la possibilité de déterminer une vitesse absolue par rapport à l'éther, siège hypothétique de la propagation du champ électrodynamique. L'éther de la théorie électromagnétique pré-relativiste joue, en offrant un cadre de référence à cette détermination, le même rôle que l'espace absolu newtonien, et c'est dans cette mesure que la mort de l'éther est synonyme d'une (seconde) mort de l'espace absolu (la première est déjà due à Mach).
- Cependant, du point de vue de la physique relativiste, l'idée d'un « vaste réceptacle », siège des événements physiques, le « contenant » de la physique, n'est pas à proscrire: ce que la relativité affirme, c'est l'impossibilité totale et définitive de pouvoir se repérer dans ce cadre, et non pas l'inexistence de ce cadre en tant que tel. Pour nier l'existence de ce cadre, il faut adjoindre, aux conclusions de la relativité, une position de positivisme (fort), qui nie l'existence de tout ce qui est superflu à l'expression des lois physiques, et qui n'a aucun effet physique attesté.

Ceci dit, il ne faut pas voir dans les conceptions leibniziennes une remarquable anticipation des idées relativistes. Leibniz défend avant tout une thèse ontologique, faisant de l'espace une notion relationnelle, alors que la physique contemporaine ne s'avance pas sur ce terrain ontologique (enfin, pas explicitement, voir les développements récents dans les domaines frontières, et encore largement spéculatifs, comme celui de la gravitation quantique).

# Introduction à l'histoire et à la philosophie des sciences

IVe séance : Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Université de Genève Flavia Padovani@lettres unige ch

23 Novembre 2006

#### Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations Hume et le problème

de la causalité Le problème de

l'induction

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

#### Résumé de la séance

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

David Hume : les œuvres de théorie de la connaissance

David Hume et sa méthode

Impressions, idées et relations

Les impressions : le point de départ

Les associations entre idées

Hume et le problème de la causalité

Deux vérités

L'analyse de la causalité

La critique de la causalité

Le problème de l'induction

La méthode inductive

Les problèmes logiques impliqués par la causalité

Une conclusion sceptique?

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

Les lois du point de vue ontologique

Entre théorie de la connaissance et ontologie

< □ > < ⑤

Causalité et lois de

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations Hume et le problème

de la causalité

Le problème de l'induction

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

#### David Hume

David Hume (26 avril 1711 - 25 août 1776) : philosophe, économiste et historien, qui fut l'un des plus importants penseurs de la période des Lumières écossaises. Il fut l'un des fondateurs de l'empirisme moderne, et l'un des plus radicaux critiques, avec Locke (et Berkeley) de la philosophie de Descartes.

Hume est bien connu comme l'un des grands empiristes anglais. Son œuvre majeure est le Traité de la nature humaine, qu'il écrit durant son séjour en France dans les années 1734-37. Cette œuvre fondamentale, publiée à Londres en 1739-40, comprend trois livres : le premier est dédié à la connaissance, le deuxième aux passions et le troisième à la morale et à la politique. En 1748 il remanie les idées contenues dans le premier livre, et il publie les Essais philosophiques sur l'entendement humain – une œuvre consacrée à la théorie de la connaissance, désormais connue sous le titre de Enquête sur l'entendement humain, suivie, en 1751, par l'Enquête sur les principes de la morale et par une série d'essais de nature politique, économique et littéraire. Les Dialogues sur la religion naturelle, aussi de 1751, seront publiés posthumes.

Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David David Hume : les

œuvres de théorie de la connaissance David Hume et sa métho de

Impressions, idées et relations

Hume et le problème de la causalité

Le problème de l'induction

La solution trans cen de nta le

Les lois de nature dans la réflexion

Bibliog raphiques

#### David Hume et sa méthode d'analyse

La méthode d'analyse de David Hume est inspirée de Newton et consiste en l'examen psychologique de nos idées, c'est-à-dire à faire de l'expérience la seule source de nos connaissances. Comme dans les écrits de Newton, pour Hume la science est inductive, et doit se limiter à la découverte des lois, des relations constantes dont notre raison ne peut pas pénétrer la vraie nature profonde.

Poursuivant le travail de Berkeley (critique des idées abstraites et de l'idée de matière), l'étude de Hume consiste à examiner ce que nous avons dans l'esprit lorsque nous pensons les choses au moyen de certaines notions (notamment : la notion de causalité).

La réflexion au cœur de la pensée de Hume est que chaque idée trouve son origine dans une impression. Il s'agit alors de découvrir et de comprendre quelle impression sensible chacune de nos idées reproduit, car toute idée n'est au fond que le rappel d'une ancienne sensation

(À noter : Ernst Mach, dans *L'analyse des sensations* (1897) : réduction du monde matériel à un complexe de sensations)

Causalité et lois de

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David David Hume : les

de la connaissance David Hume et sa méthode

Impressions, idées et relations

Hume et le problème de la causalité

Le problème de l'induction

trans cen de nta le

Les lois de nature dans la réflexion philosophique

Bibliographiques

Impressions, idées et relations

Les impressions : le point de départ entre idées

Hume et le problème de la causalité

Le problème de l'induction

trans cen de nta le

Les lois de nature dans la réflexion philosophique

Bibliographiques

## Les impressions comme donnée absolue

Les impressions sont les perceptions plus vivides, qui nous dérivent du contact direct des nos sens avec la réalité matérielle. Les idées sont le souvenir de ces impressions, et donc des perceptions moins vivides, engendrées, comme pour Locke, autant du souvenir des expériences de la réalité externe, que de la réflexion sur nos opérations mentales et de la perception des nos états intérieurs. Entre impressions et idées il n'y a qu'une différence de degré.

La pensée a une limite très précise dans l'élaboration des idées. Cette limite se trouve dans le fait que les idées, par leur nature, dérivent toujours de l'expérience. L'entendement peut tout simplement les élaborer, les organiser en idées plus complexes à partir des idées simples. Cela n'a jamais lieu de manière arbitraire mais suivant des règles. En fait, les impressions qui persistent après avoir été produites par l'expérience se conservent dans la mémoire comme idées simples, qui, en s'associant selon des dynamiques très précises, produisent les idées complexes.

⇒ Ce sont ces impressions qui constituent pour nous la donnée absolue, une donnée dont nous ne savons pas découvrir l'origine ni connaître la nature la plus profonde.

#### Hume: Les associations entre idées

Hume étudie essentiellement les associations entre idées, et soutient que, mis à part l'espace et le temps (qui nous sont donnés), les relations/associations entre idées n'ont rien d'objectif, mais reposent sur les dispositions cognitives du sujet connaissant, et sont donc le résultat des mouvements de l'esprit. Les idées simples deviennent en fait complexes grâce à l'imagination, qui permet à l'homme d'élaborer les matériaux fournis par les impressions. L'imagination élabore une impression singulière et synthétise des impressions différentes.

Les associations entre idées sont régulées par trois relations précises : l'identité, la situation dans l'espace et le temps, la causalité. Une idée nous rappelle une autre idée, dans notre entendement, quand il y a une similitude entre les deux, ou car les deux idées sont contiguës dans l'espace et le temps, ou bien si elles sont en connexion causale entre elles.

⇒ La 'force de conjonction' des idées

Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations Les impressions : le

point de départ Les associations entre idées Hume et le problème

de la causalité

Le problème de l'induction

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

#### Vérités de raison vs vérités de fait

Parmi les associations qui produisent croyance, Hume identifie le principe de causalité. Selon Hume, les sciences mathématiques ont comme objet les relations entre idées qui sont comprises par intuition (comme la relation entre majeur et mineur) ou par démonstration (les théorèmes de la géométrie). Intuition et démonstration n'ont aucune valeur quand il s'agit de matières de fait. En ce cas, il n'y a rien qui soit immédiatement évident, ou rigoureusement démontrable.

En accord avec la distinction leibnizienne entre vérités de raison et vérités de fait, dans le cas des vérités de fait, on peut imaginer un état de fait contraire à une certaine vérité observée sans entrer en contradiction avec la raison, car notre analyse ne peut pas concevoir une infinité de cas et que, par définition, l'ensemble des données d'observation étant infini, le contraire d'une proposition relative à une vérité d'observation est toujours pensable sans contradiction.

⇒ Les vérités de fait ne sont en principe pas définitives ou prouvables rigoureusement (au moyen des concepts mathématiques d'intuition et démonstration)

[À noter : distinction entre analytique et synthétique]

Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations

Hume et le problème de la causalité Deux vérités

L'analyse de la causalité La critique de la causalité

Le problème de l'induction La solution

trans cen denta le

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

# La relation entre faits est souvent établie par recours à une

relation fondamentale, le principe de causalité : chaque effet doit avoir une cause, et respectivement, étant donné une cause, l'effet doit suivre nécessairement. Donc, en observant une cause actuelle, on croit avoir les moyens pour prévoir un effet futur.

"[...] des trois relations qui ne dépendent pas uniquement des idées, la seule qui peut être suivie au delà de nos sens et qui nous informe de l'existence d'objets que nous ne voyons ni touchons c'est la causalité." [Traité, p. 147]

"Quand une espèce particulière d'événements a toujours. dans tous les cas, été conjointe à une autre, nous n'hésitons pas plus longtemps à prédire l'une à l'apparition de l'autre et à employer ce raisonnement qui peut seul nous apporter la certitude sur une question de fait ou d'existence. Nous appelons alors l'un des objets cause et l'autre effet. Nous supposons qu'il y a une connexion entre eux, et un pouvoir dans l'un qui lui fait infailliblement produire l'autre et le fait agir avec la plus grande certitude et la plus puissante nécessité." [Enquête, p. 142]

Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations

Hume et le problème de la causalité Deux vérités L'analyse de la ca usa líté La critique de la

ca usa lité Le problème de l'induction

La solution trans cen de nta le

Les lois de nature dans la réflexion philosophique

Mais le principe de causalité dérive aussi, au fond, des nos impressions, comme toute idée.

"Pour connaître pleinement l'idée de pouvoir ou de connexion nécessaire, examinons son impression; et, pour trouver l'impression avec plus de certitude, cherchons-la à toutes les sources d'où elle peut découler. Quand nous regardons hors de nous vers les objets extérieurs et que nous considérons l'opération des causes, nous ne sommes jamais capables, dans un seul cas, de découvrir un pouvoir ou une connexion nécessaire, une qualité qui lie l'effet à la cause et fait de l'un la conséquence infaillible de l'autre." [Enquête, p. 130]

Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David

Impressions, idées et relations

Hume et le problème de la causalité Deux vérités L'analyse de la causalité La critique de la

Le problème de l'induction

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique

#### L'exemple des boules de billard

Dans l'Enquête, Hume analyse un événement, à savoir : quand deux boules de billard se heurtent. Normalement, nous disons que le mouvement de la première cause le mouvement de la deuxième. Il analyse le procès et il note clairement que ce que nous pouvons trouver c'est seulement que :

- a. la première bille a touché la deuxième et qu'il n'y a pas eu aucun intervalle de temps entre la collision et le mouvement de la deuxième (contiguïté dans l'espace et dans le temps);
- b. le mouvement de la première précède le mouvement de la deuxième (*antériorité temporelle* de la cause par rapport à l'effet).

En essayant avec d'autres billes, nous observons que le mouvement de la deuxième bille nous est toujours suggéré comme le résultat de son contact avec la première ou de leur impulsion. C'est-à-dire: nous observons une **connexion constante**. Sur cette base, l'expérience passée nous conduit à prévoir certains effets quand nous nous trouvons à observer certains faits que nous croyons des causes dans des situations pareilles.

Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations

Hume et le problème de la causalité Deux vérités L'analyse de la causalité La causalité

Le problème de l'induction

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

#### L'exemple des boules de billard (cont.)

"La première fois qu'un homme vit le mouvement se communiquer par impulsion, par exemple par le choc de deux boules de billard, il ne put affirmer que l'un des événements était en connexion avec l'autre : il affirma seulement qu'il y avait conjonction. Une fois qu'il eut observé plusieurs cas de cette nature, alors il affirma que les faits étaient en connexion. Quel changement s'est produit, qui engendre cette nouvelle idée de connexion? Rien, sinon que maintenant cet homme sent que ces événements sont en connexion dans son imagination et qu'il peut aisément prédire l'existence de l'un de l'apparition de l'autre. [...] Il ne peut y avoir de conclusions plus agréables au scepticisme que celles qui font découvrir la faiblesse et l'étroitesse du champ de la raison et des capacités humaines." [Enquête, p. 143]

⇒ Selon Hume, nous *croyons* que le deuxième événement se produira en tout cas, à savoir : nous nous formons une attente qui dérive de notre **accoutumance** envers cette connexion, mais nous ne pouvons pas en *démontrer* la nécessité.

Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations

Hume et le problème de la causalité Deux vérités L'analyse de la causalité La critique de la causalité

Le problème de l'induction

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique

#### Un lien potentiellement trompeur : la causalité

"Il n'y a rien dans un objet considéré en lui-même qui puisse nous apporter une raison de tirer une conclusion qui le dépasse; et même après l'observation d'une fréquente ou constante conjonction d'objets, nous n'avons aucune raison de tirer aucune inférence au sujet d'aucun objet autre que ceux dont nous avons eu l'expérience." [Traité, pp. 222-23] "Si nous définissons une cause comme un objet antérieur et contigu à un autre, tel que tous les objets semblables au premier soient placés dans une relation semblable de priorité et de contiguïté par rapport à des objets semblables au second, nous pouvons aisément concevoir qu'il n'y a pas de nécessité absolue, ni métaphysique, à ce que tout commencement d'existence s'accompagne d'un tel objet." [Traité, p. 259]

⇒ La causalité peut représenter un lien trompeur si nous oublions son origine. On ne peut déduire aucun argument de manière *déductive* à partir de l'expérience!

Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations

Hume et le problème de la causalité Deux vérités L'analyse de la causalité La critique de la causalité

Le problème de l'induction

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

Le rapport causal est établi, en réalité, en présupposant que le cours de la nature soit régulier, et qu'elle agira de la même façon aussi dans le futur. La présupposition de la régularité de la nature est donc condition nécessaire afin de considérer comme valable la connexion causale. Ainsi, l'entier système de la science repose sur une assomption tacite, mais qui n'est pas démontrable.

DONC : L'inférence causale se fonde seulement sur l'expérience et sur l'habitude (accoutumance), à savoir sur le fait que notre expérience passée nous a toujours présenté la même régularité de nature. Mais cette forme de régularité aussi (lire : induction) n'est au fond qu'une projection d'une croyance qui dérive de notre habitude.

Il s'agit d'une vérité de fait, néanmoins importante pour nous pour les prévisions que nous en tirons. Il faut donc la juger pour son aspect pratique, non pas pour son aspect théorétique : la connexion causale n'est pas démontrable mais elle est utile pour notre vie quotidienne.

Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations Hume et le problème

Deux vérités L'analyse de la causalité La critique de la causalité

de la causalité

Le problème de l'induction

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

#### La méthode inductive : une règle

Qu'est-ce qu'une régularité? Qu'est-ce qu'une induction? Une argumentation inductive est une argumentation dans laquelle les prémisses portent avec une bonne évidence à une conclusion. Le problème est de savoir ce que signifie 'bonne évidence', ce qui est le problème des tentatives actuelles de justification de l'induction...

La méthode inductive se fonde sur la conformité du futur au passé, sur la nécessité de la connexion causale, bref : sur l'uniformité de la nature. Mais ces sont des présuppositions qu'on ne peut pas démontrer et sur lesquelles nous avons une confiance qui nous dérive seulement de l'habitude.

Déjà Newton avait réuni ces présupposés sous la catégorie des *Regulae philosophandi*. En fait, il s'agit de certaines règles que nous devons accepter avant de faire de la philosophie naturelle, à savoir de présupposés méthodologiques et à la fois aussi 'métaphysiques'.

Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations

Hume et le problème de la causalité

Le problème de l'induction

La méthode inductive Les problèmes

logiques impliqués par la causalité Une conclusion sceptique?

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

## Les problèmes logiques impliqués par la causalité

Du point de vue strictement logique, la justification de la causalité dans le cadre de la critique humienne présente deux problèmes :

- L'inférence inductive ne peut pas être établie logiquement, car elle passe de cas observés à des cas non observés, sur lesquels on ne peut en principe connaître ou savoir absolument rien. L'inférence inductive 'dépasse' illicitement les cas observés;
- L'inférence inductive (ou de probabilité) ne peut pas être justifiée empiriquement, car il est impossible d'inférer sa validité du fait qu'elle a toujours fonctionné jusqu'à présent dès le passé; cette inférence est elle-même une inférence probabiliste, qui se fonde sur la conception de l'induction qu'on voulait démontrer. Preuve circulaire!

Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence: David Hume

Impressions, idées et relations

Hume et le problème de la causalité

Le problème de l'induction La méthode

La méthode inductive Les problèmes

logiques impliqués par la causalité Une conclusion sceptique?

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

## Conclusion sceptique et consolation pragmatique

La conjonction constante de deux événements et l'attente ou anticipation qui en résulte pour nous est tout ce que nous pouvons connaître de la causalité, i.e. nos idées ne peuvent pénétrer plus avant dans la nature de la relation de la cause à effet.

En général, nous n'avons pas la possibilité d'obtenir d'une connaissance vraie et nécessaire (= vérité de raison) de la nature, mais nous avons une connaissance pratique, fondée sur la méthode inductive, sur laquelle nous pouvons néanmoins construire nos certitudes scientifiques solides, mais relatives du point de vue logique.

#### Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations

Hume et le problème de la causalité

Le problème de l'induction La méthode

inductive

Les problèmes
logiques impliqués
par la causalité
Une conclusion

sceptique ? La solution

trans cen denta le

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

Le problème demeure : qu'est-ce qui justifie notre croyance en la connexion causale et en quoi consiste cette connexion? Pour Hume, cette croyance est une sorte d'instinct, fondé sur le développement de nos habitudes et de notre système nerveux. Cette croyance est donc inéliminable, mais ne peut être prouvée par aucune sorte d'argument (déductif ou inductif).

La difficulté présentée par Hume est encore tout à fait d'actualité dans le débat philosophique et elle est telle que des 'humiens' fameux comme Bertrand Russell ont entièrement rejeté l'idée de causalité, idée qu'ils ramenèrent à une sorte de superstition populaire.

#### Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations

Hume et le problème de la causalité

Le problème de l'induction La méthode

Les problèmes logiques impliqués par la causalité Une conclusion

sceptique ?

transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

# Kant et le problème humien (1)

"David Hume, qui est, parmi tous les philosophes, celui qui s'est encore approché le plus de ce problème [ = la différence entre les jugements analytiques et les jugements synthétiques, sans toutefois, tant s'en faut, le penser de facon suffisamment déterminée et dans sa généralité, mais en en restant uniquement à la proposition synthétique de la liaison de l'effet avec ses causes (*Principium causalitatis*) crut pouvoir en retirer qu'un tel principe a priori est tout à fait impossible, et, à suivre ses raisonnements, tout ce que nous nommons métaphysique aboutirait à une simple illusion d'un prétendue intelligence rationnelle de ce qui, en fait, est seulement emprunté à l'expérience et a pris, par habitude, l'apparence de la nécessité : dans une telle affirmation, qui détruit toute philosophie pure, il ne serait jamais tombé s'il avait eu devant les yeux notre problème dans sa généralité, étant donné qu'alors il aurait aperçu que, selon son argument, il ne pourrait pas non plus y avoir de mathématique pure, dans la mesure où celle-ci contient assurément des propositions synthétiques a priori – affirmation dont son bon sens l'aurait alors, sans nul doute, préservé." [Kant, Critique, p. 107]

## Causalité et lois de

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations

Hume et le problème de la causalité

Le problème de l'induction

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

## Kant et le problème humien (2)

Immanuel Kant (1724-1804) admet que toute notre connaissance commence avec l'expérience, mais il souligne qu'elle ne termine ni dérive pas complètement de l'expérience. Ce que l'expérience ne peut ni fonder ni montrer, comme l'a souligné Hume, est une validité universelle et nécessaire de notre connaissance (dette de Kant envers Hume, déclarée dans la 'Préface' aux *Prolégomènes*: il l'a réveillé de 'son sommeil dogmatique').

Selon Kant, les intuitions et les concepts sont les éléments essentiels et fondamentaux de la connaissance et leur coopération est nécessaire pour pouvoir parler de connaissance. Nous ne devons pas mettre en doute la connaissance (scientifique) du moment qu'elle *est*, nous devons plutôt nous demander quelles sont les conditions de sa possibilité.

#### Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations Hume et le pro<u>blème</u>

de la causalité

Le problème de l'induction

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

## La révolution copernicienne

Le but de Kant est de construire un système qui puisse fournir et garantir la validité et nécessité des instances de la raison par rapport à la connaissance en général. La validité universelle et nécessaire qui est typique des jugements mathématiques est le modèle de référence de l'analyse de Kant. Ces jugements sont vrais en vertu des opérations de la pensée, mais pas indépendamment de l'expérience, ou bien d'une forme de contenu qui est en fin de compte reconductible à une synthèse sensible. Dans le langage de Kant, ce sont des connaissances a priori mais aussi synthétiques, à savoir qui apportent de toute façon un contenu de connaissances authentique.

La révolution proposée par le système Kantien par rapport à la philosophie précédente est toute dans l'idée que notre connaissance ne dépend pas du monde, mais que au contraire la représentation que nous en avons dépend de notre pouvoir de connaître. Ainsi, "c'est non pas le sujet qui doit se régler sur l'objet, mais l'objet sur le sujet" (= révolution copernicienne de Kant).

#### Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations

Hume et le problème de la causalité

Le problème de l'induction

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

## La solution transcendentale

Les connaissances scientifiques (la physique et les mathématiques du XVIIIe siècle) sont en partie le résultat de l'activité cognitive du sujet. En d'autres termes les connaissances mathématiques et physiques sont rendues possibles par le sujet connaissant. Elles ne sont donc pas le fruit d'une simple observation dans laquelle le sujet serait passif.

Quand Kant souligne que c'est le sujet connaissant qui constitue les objets, il entend par là le fait que le sujet **constitue** les objets de la connaissance.

Les objets de la connaissance sont tels pour nous parce qu'ils résultent de l'activité du sujet qui les pense. Ils sont véritablement construits par nous (grâce à la structure de l'entendement) et par le matériel que nous dérivons de l'expérience sous forme de sensation.

⇒ Nous ne voyons pas les choses telles qu'elles sont mais telles qu'elles nous apparaissent, i.e. telles que les structures de notre sensibilité et de notre entendement nous les font voir (distinction entre entendement et sensibilité, et rôle des jugements synthétiques a priori).

#### Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations

Hume et le problème de la causalité

Le problème de l'induction

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

## Lois de nature : Quelle définition ?

En général, l'idée de loi implique une certaine forme de nécessité (objective ou subjective, basée sur une interprétation probabiliste ou universaliste, etc : cela importe moins).

Le problème : qu'est-ce que ça signifie une *loi de nature*? Qu'est-ce qu'une 'loi'? Qu'est-ce qu'on entend par 'nature'? Selon la définition qu'on donne à l'un ou à l'autre terme, il en ressort une position philosophique différente.

#### Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David

Impressions, idées et relations Hume et le problème

de la causalité Le problème de

La solution transcendentale

Linduction.

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

Les lois du point de vue ontologique Entre théorie de la connaissance et ontologie

## Les lois de nature du point de vue ontologique

On peut distinguer trois positions (Mumford 2004, p. 15) :

- 1. La position qui nie l'existence des connexions dans la nature et qui soutient que, comme chez Hume, il n'existe pas de lois de la nature. Le monde serait composé d'entités qui sont distinctes et 'modalement' inertes, au sens où ce qui leur advient ne correspond à aucune nécessité, et en particulier, n'est dicté par aucune loi. Les lois, ici, ne sont que des assertions qui ne possèdent aucune nécessité objective et aucune existence du point de vue ontologique. (Humean lawlessness);
- 2. Le réalisme nomologique, qui soutient que les objets ne sont que des entités 'inanimées' (comme dans le cas précédent) mais que ce sont les lois de la nature qui les 'animent'. lci, ce sont les lois qui sont 'modales' au sens où c'est en elles que réside 'le principe" de l'activité des objets du monde, tandis que les propriétés des entités ne le fournissent pas, donc ne sont pas dans ce sens 'modales'. (Nomological realism);

Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations Hume et le problème

de la causalité

Le problème de l'induction

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

Les lois du point de vue ontologique Entre théorie de la connaissance et ontologie

# Les lois de nature du point de vue ontologique (cont.)

3. La position la plus cohérente du point de vue du réalisme qui soutient qu'il n'existe aucune loi mais qui accepte l'idée qu'il y a des connexions nécessaires dans la nature. En fait, toutes les entités possèdent un caractère modal dans le sens qu'elles portent en elles le principe de leur activité, mais elles ne nécessitent pas d'être 'activées' ou 'mues' par une loi (elles ont en elles-mêmes une 'disposition' spécifique à produire certaines connexions entre elles. lci, il n'y a rien à un niveau non modal : les entités développent des interactions. (Realist Lawlessness).

### Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations

Hume et le problème de la causalité

Le problème de l'induction

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

Les lois du point de vue ontologique Entre théorie de la connaissance et ontologie

# Quelques positions sur les lois (1)

- Une lois peut être entendue comme une assertion qui exprime une régularité que nous trouvons dans la nature (Hume)
- ▶ Une lois peut être entendue comme le résultat d'une construction artificielle. Les régularités que nous observons dans la nature et sur lesquelles nous comptons dans l'élaboration des théories scientifiques ne sont que le résultat des opérations (instrumentations de laboratoire, apparats techniques, constructions théoriques = machine nomologique) qui nous permettent de formuler une loi. (Cartwright)

Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations Hume et le problème

de la causalité Le problème de

La solution transcendentale

L'induction

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

Les lois du point de vue ontologique Entre théorie de la connaissance et ontologie

## La réalité n'est qu'un 'patchwork' des lois?

"To ascribe a behaviour to the nature of a feature is to claim that the behaviour is exportable beyond the strict confines of the ceteris paribus conditions, although usually as a 'tendency' or a 'trying'. [... The] laws of contemporary science are, to the extent that they are true at all, at best true ceteris paribus. In the nicest cases we may treat them as claims about natures. But we have no grounds in our experience for taking our laws - even most fundamental laws of physics - as universal. Indeed, I should say 'especially our most fundamental laws of physics', if these are meant to be the laws of fundamental particles. For we have virtually no inductive reason for counting these laws as true of fundamental particles outside the laboratory setting - if they exist there at all. [...] Reality may well be just a patchwork of laws." [Cartwright (1999), pp. 33-34]

Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations Hume et le problème

de la causalité

Le problème de

l'induction

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

Les lois du point de vue ontologique Entre théorie de la connaissance et ontologie

# Quelques positions sur les lois (2)

- Nous pourrions tout simplement faire sans cette notion, utilisant des notions comme la symétrie et la probabilité (typiquement défendue par van Fraassen);
- Une loi peut être entendue comme une caractéristique nécessaire (Bigelow, Ellis & Lierse; Shoemaker) ou contingente (Dretske; Tooley; Armstrong) du monde (universel de deuxième ordre);
- ▶ Une loi peut être comprise uniquement à l'intérieur et à partir d'un système déductif (Earman, selon l'interprétation dite de 'Mill-Ramsey-Lewis')

Causalité et lois de nature

Un philosophe empiriste par excellence : David

Hume

Impressions, idées et relations Hume et le problème

de la causalité Le problème de

l'induction La solution

transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

Les lois du point de vue ontologique Entre théorie de la connaissance et ontologie

## L'interprétation des lois à la 'Mill-Ramsey-Lewis'

"Roughly, the idea is that the laws of this world are the axioms or theorems of the best deductive system, where a deductive system is an axiomatizable, deductive closed set of true statements and where the best such system is the one that achieves the best compromise between simplicity and strength. Scientific theorizing can be seen as a groping towards the optimal system. I emphasize the world 'groping'. Even with respect to a limited domain of inquiry - say, gravitational physics scientists don't consider all possible theories (=deductive systems) of the domain. For given our limited computational powers and limited imaginations we are lucky if we can explicitly produce more than a handful of theories that would be judged as minimally adequate." [Earman (1993), p. 416]

Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations Hume et le problème

de la causalité Le problème de

l'induction

La solution

transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

Les lois du point de vue ontologique Entre théorie de la connaissance et ontologie

## Quelques Références Bibliographiques

- Armstrong, D.M. (1985), What Is a Law of Nature, Cambridge: Cambridge University Press.
- Bigelow, J., Ellis, B., Lierse, C. (1992), 'The World as One of a Kind: Natural Necessity and Laws of Nature', *British Journal for the Philosophy of Science*, 43: 371-388.
- Cartwright, N. (1999), The Dappled World. A Study of the Boundaries of Science, Cambridge: Cambridge University Press
- Dretske, F. (1977), 'Laws of Nature', *Philosophy of Science*, 44: 248-268.
- Earman, J. (1993), 'In Defense of Laws: Reflections on Bas van Fraassen's Laws and Symmetry', *Philosophy and Phenomenological Research*, 53 (2): 413-419.

#### Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations

Hume et le problème de la causalité

Le problème de l'induction

La solution transcendentale

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine

## Quelques Références Bibliographiques (cont.)

- Hume, D. (1739-40), A Treatise of Human Nature; trad. fr.: Traité de la nature humaine, Paris: Aubier, 1983.
- Hume, D. (1748), An Enquiry Concerning Human Understanding; trad. fr.: Enquête sur l'entendement humain, Paris: Flammarion, 1983.
- Kant, I. (1787), Immanuel Kant: Kritik der reinen Vernunft [2. Aufl.]; trad. fr.: Critique de la raison pure, Paris: Flammarion, 2001.
- Mumford, S. (2004), Laws in nature, London: Routledge.
- van Fraassen, B.C. (1989), Laws and symmetries, Oxford: Clarendon Press; trad. fr.: Loi et symétrie, Paris: Vrin, 1994.

#### Causalité et lois de nature

Flavia Padovani

Un philosophe empiriste par excellence : David Hume

Impressions, idées et relations Hume et le pro<u>blème</u>

de la causalité Le problème de

l'induction

transcendentale Les lois de nature

Les lois de nature dans la réflexion philosophique contemporaine