

EPISTEMOLOGIE

1. Qu'est ce que l'épistémologie

1.1. Présentation générale

Le terme **épistémologie** (ou plus précisément le terme anglais **epistemology**) a été forgé par le métaphysicien James Frederick Ferrier (1808-1864) pour désigner une théorie de la connaissance. Ce néologisme est construit à partir des termes grecs **épistémé** (connaissance théorique, savoir) et **logos** (discours rationnel, langage, jugement). Il apparaît pour la première fois dans un ouvrage de langue française en 1901, dans la traduction d'un ouvrage de Bertrand Russell. Il est ensuite popularisé et est aujourd'hui très répandu.

Le terme épistémologie est employé pour désigner deux choses différentes :

- (1) Une **théorie générale de la connaissance humaine**, scientifique et non scientifique.

Dans cette acception, qui est celle la plus courante pour le terme anglais epistemology, l'épistémologie peut être considérée comme une branche de la philosophie qui traite de la nature, de la valeur et des limites de la connaissance humaine.

- (2) Une **théorie de la connaissance scientifique**, ou encore comme la philosophie des sciences.

Cette seconde définition plus restreinte est généralement retenue par les auteurs francophones.

Pour Léna Soler : « L'épistémologie vise fondamentalement à caractériser les sciences existantes, en vue de juger de leur valeur et notamment de décider si elles peuvent prétendre se rapprocher de l'idéal d'une connaissance certaine et authentiquement justifiée. Elle s'emploie pour atteindre cet objectif, à décrire la manière dont procède telle ou telle discipline dite scientifique pour élaborer et tester ses théories, à spécifier la physionomie de ces théories elles-mêmes, enfin à estimer la valeur logique et cognitive de telles théories. ».

Cette définition met en évidence deux points importants. Tout d'abord, l'épistémologie est un discours sur la science, et donc présuppose la science. En ce sens, elle vient donc après cette dernière. Ensuite, l'épistémologie est un discours critique sur la connaissance scientifique, son

élaboration et son évolution. Elle doit donc définir son objet (qu'est-ce que la science ?) et ses méthodes.

Il en découle trois questions fondatrices de l'épistémologie.

Trois questions fondatrices de l'épistémologie

(1) Qu'est-ce que la science (ou les sciences) ?

Qu'est-ce qui distingue ce type de savoir des autres ? Comment la définir ?

(2) Comment la science (ou une science) s'est-elle constituée ?

Quels ont été les facteurs (technologiques, mathématiques, sociologiques, philosophiques, religieux, ...) qui ont influé sur son évolution ? Quelles méthodes de travail et de réflexion ont été employées pour la construire ?

(3) Comment juger de sa validité ou de sa valeur ?

Que veut dire qu'une théorie scientifique est vraie ? Comment vérifier la validité d'une théorie scientifique ?

Deux aspects de l'épistémologie

Il est important de retenir que l'épistémologie a deux aspects : un aspect normatif qui vise à définir ce qu'est la science et donc à délimiter le champ de la science (qu'est-ce que la science ? une discipline est-elle scientifique ?) et un aspect descriptif (quelles sont la structure et la dynamique interne d'une discipline scientifique ?).

Deux méthodes d'analyse de l'objet de l'épistémologie

Pour analyser son objet, la connaissance scientifique, l'épistémologue peut procéder selon deux méthodes :

- La méthode synchronique, qui consiste à considérer les disciplines scientifiques à un instant donné, indépendamment de leur développement historique. On procède alors à une **analyse directe** de ces disciplines, de leurs contenus, de leurs méthodes.
- La méthode diachronique, qui consiste à analyser les disciplines scientifiques dans la perspective de leur genèse, de leur développement et de leur maturation. On procède alors à une **analyse génétique** (par opposition à l'analyse directe). Cette méthode permet notamment de poser la question du progrès scientifique.

Epistémologie et philosophie des sciences

L'identification d'un savoir authentiquement scientifique et d'un savoir non scientifique, souvent appelé savoir commun ou sens commun, suppose l'existence d'une démarcation nette entre ces deux types de connaissance. La restriction du champ d'analyse de l'épistémologie au seul savoir scientifique permet de la distinguer de la **philosophie de la connaissance**.

On peut également (ce que font bon nombre d'épistémologues contemporains) la distinguer de la **philosophie des sciences** proprement dite, cette dernière subordonnant la réflexion sur la science à des préoccupations de philosophie générale.

Si le terme épistémologie est de création récente, la philosophie des sciences remonte à l'antiquité, puisque la science (même si le contenu exact de ce mot a considérablement évolué depuis) est prise comme objet de réflexion par Platon (428-346 av. J.-C.) et Aristote (384-322 av. J.-C.), et que cette réflexion est présente chez de nombreux philosophes et scientifiques au cours des vingt-cinq derniers siècles. La philosophie des sciences proprement dite est fondée par le philosophe allemand Emmanuel Kant (1724-1804), qui le premier distingue la science comme un objet autonome soumis à l'analyse philosophique.

Toutefois, de par sa nature, l'épistémologie appartient au champ de la philosophie, et ne peut pas être considérée comme complètement étrangère à la philosophie des sciences. Elle en fait même partie. La question d'une distinction claire entre philosophie des sciences et épistémologie est encore aujourd'hui une question ouverte. Il est notamment utile de remarquer que, comme tous les travaux philosophiques, les textes traitant d'épistémologie sont profondément marqués par les opinions philosophiques de leurs auteurs, alors que la science a pour idéal de réduire autant que faire se peut toute part de subjectivité dans son contenu. L'épistémologie n'est donc pas une « science de la science ».

Epistémologie et histoire des sciences

L'épistémologie recourt à l'**histoire des sciences** (par construction lorsque la méthode diachronique est employée) pour y puiser les « faits bruts » nécessaires à son analyse.

L'étude de l'histoire des disciplines scientifiques, des modèles et des théories auxquels elles font appel permet d'une part de comprendre les disciplines scientifiques dans leur état de développement actuel et d'analyser la nature de l'évolution scientifique (y a-t-il progrès scientifique ? Quel est le processus d'évolution des sciences ?) mais également de faire la part entre ce qui est imposé par les faits expérimentaux (donc *a priori*) et ce qui est rajouté par les scientifiques (donc *a posteriori*).

Epistémologie et sociologie des sciences

L'épistémologie se tourne également vers la **sociologie des sciences** pour y puiser des renseignements sur les interactions entre la science (ou une science) et la société, et ceci afin de répondre aux deux questions suivantes :

- (1). En quoi une science (ou la science) a-t-elle influé sur l'organisation politique, économique et sociale d'une société (ou d'un sous-groupe identifié), ou encore sur l'évolution de la pensée philosophique et religieuse, de la littérature, ...
- (2). Quelles ont été ou sont les contraintes sociologiques exercées par la société (ou un sous-groupe) sur le développement d'une science ou d'une théorie scientifique ? Les opinions philosophiques, religieuses et politiques des chercheurs ont-elles une influence sur le développement et le contenu des théories scientifiques, et si oui laquelle ?

1.2 Une vue alternative : l'épistémologie comme science empirique

Il a été dit plus haut que l'épistémologie, telle qu'elle est conçue par la majorité des épistémologues contemporains appartient au domaine de la philosophie et n'est pas une science de la science. Toutefois, certains philosophes ont proposé de voir l'épistémologie comme une science empirique (au même titre que la physique, la mécanique, la chimie,...) dont l'objet d'étude serait les théories scientifiques.

Ce point de vue est illustré par la démarche du philosophe et logicien américain Willard Van Orman Quine (1908-2000) qui défendit cette thèse dans un article daté de 1951 et introduisit le terme **naturalized epistemology** (traduit en français par **épistémologie naturalisée** ou **naturelle**) en 1969.

Epistémologie naturalisée ou naturelle

Dans cette nouvelle perspective, le but de l'épistémologie est de décrire la structure interne des sciences et leur évolution (ce qui correspond à l'aspect descriptif évoqué plus haut) et d'approfondir la signification de leurs énoncés, et celle-ci ne peut prétendre fonder la connaissance scientifique. Une conséquence est donc qu'il faut renoncer à tout caractère normatif absolu. En effet, l'épistémologie étant conçue comme une science parmi les autres, il y aurait un cercle vicieux si celle-ci définissait ce qu'est la science. Cet abandon de la recherche d'une justification absolue des connaissances place la philosophie de Quine en opposition avec la **démarche fondationnaliste**, qui vise à élaborer une théorie générale de la vérité et des moyens pour l'atteindre. Etant une science empirique, l'épistémologie doit, selon Quine, utiliser à la fois les résultats et les méthodes des autres sciences. Etant une science

empirique, elle doit utiliser la méthode expérimentale pour confronter ses théories aux faits. Par ailleurs, il est important de retenir que selon Quine il n'y a pas d'opposition entre science et philosophie, et que l'épistémologie naturalisée appartient également au domaine de cette dernière : « *la philosophie, [...] comme effort en vue de se faire une idée plus claire des choses, ne doit pas, pour ce qui est l'essentiel de ses objectifs et de sa méthode, être distinguée de la science.* »

Cette vision naturalisée de l'épistémologie repose sur l'idée que les sciences sont des objets qui peuvent être soumis à l'analyse scientifique.

Epistémologie évolutionnaire

Un pas supplémentaire est franchi par les défenseurs d'un genre particulier d'épistémologie naturalisée connue sous le nom d'**épistémologie évolutionnaire**, qui fondent leur analyse du progrès scientifique sur la théorie biologique de l'évolution initiée par le naturaliste anglais Charles Darwin (1809-1882) dans son livre *L'origine des espèces* paru et épuisé le 24 novembre 1859.

Dans sa version dite **littérale**, cette école de pensée interprète les capacités intellectuelles de l'homme et ses produits (dont la science) comme des éléments participant à la sélection naturelle des espèces vivantes. La science, permise par le développement des facultés intellectuelles de l'homo sapiens, est alors analysée comme une retombée de la concurrence entre les espèces qui assure la domination et la survie du genre humain, au même titre que la bipédie ou l'existence de mains avec des pouces en opposition.

Dans sa version **analogique**, l'épistémologie évolutionnaire utilise le paradigme de la sélection naturelle (basé sur la notion de compétition, de mutation aléatoire transmise aux descendants et de survie du plus apte) pour expliquer l'évolution des théories scientifiques : les théories les plus adaptées sont sélectionnées après un processus de variation des contenus des théories et de concurrence. Il est important de noter que cette utilisation analogique de la théorie de la sélection naturelle n'implique pas l'acceptation que cette théorie soit vraie dans le cas de la biologie : il ne s'agit ici que d'un schéma explicatif.

2. Qu'est ce que la science ?

2.1. Comment définir la science ?

2.1.1 Définition(s) de la science et critères de scientificité

Deux démarches sont possibles pour définir ce qu'est une science.

La première est une **démarche normative**, qui consiste à édicter **a priori** une norme de **scientificité**, c'est-à-dire de donner les critères qui permettent de statuer sur le caractère scientifique d'une discipline. Cette approche tend à concevoir les différentes disciplines scientifiques comme des cas particuliers d'une Science idéale, qui n'est jamais incarnée dans sa totalité.

La seconde **démarche** est **descriptive** : elle consiste à analyser les différentes disciplines reconnues comme scientifiques, et à en dégager **a posteriori** les points communs, qui seront ensuite pris comme des critères de scientificité.

Etymologie du mot «science»

Le mot «**science**» apparaît en 1080 dans la première des chansons de geste françaises, *La chanson de Roland*. Il est dérivé du latin classique **scientia** (connaissance, et plus particulièrement connaissance scientifique, rationnelle), qui prend très tôt le même sens que le terme grec **épistémé**. *Scientia* vient de **sciens**, **scientis** qui signifie « qui sait », « instruit », « habile ». Il faut noter que l'emploi de l'appellation « **scientifiques** » pour désigner ceux qui pratiquent la science est beaucoup plus récent. Le terme « **scientist** » a été introduit dans la langue anglaise par William Whewell vers la moitié du XIXe siècle. En français, « scientifiques » ne sera couramment employé qu'à partir du XXe siècle, remplaçant «savants».

Quelques définitions actuelles du mot « science » :

- **Définition 1 (Petit Robert) :** « *ensemble de connaissances, d'études d'une valeur universelle, caractérisées par un objet et une méthode déterminés, et fondées sur des relations objectives vérifiables.* »
- **Définition 2 (Larousse) :** « *ensemble cohérent de connaissances relatives à une certaine catégorie de faits, d'objets ou de phénomènes.* »
- **Définition 3 :** « *La science est une connaissance objective qui établit entre les phénomènes des rapports universels et nécessaires autorisant la prévision de résultats (effets) dont on est capable de maîtriser expérimentalement ou de dégager par l'observation la cause.* »

Une analyse de ces définitions

Ces définitions illustrent le contenu attribué par le sens commun au terme science. **Au terme de science sont généralement associés par la plupart des gens des caractères positifs, valorisants, l'adjectif « scientifique » étant souvent employé dans le sens de « vrai », « rigoureux », « sûr ».**

Mais une analyse plus approfondie est nécessaire pour dégager ce qu'est la science (ou une science), donc d'identifier les critères de scientificité qui permettront de statuer sur la nature scientifique d'une théorie ou d'un ensemble de connaissances.

Les définitions présentées dans ce qui précède mettent en lumière plusieurs points clés.

Tout d'abord, l'objet dont traite une science doit être clairement identifié.

Se pose ici le problème de la définition des frontières du domaine couvert par une discipline scientifique, et de son possible chevauchement avec d'autres disciplines. Ceci est de plus en plus vrai, avec l'émergence de sciences dites multidisciplinaires. Par exemple, la chimie, dans certaines de ses branches, comme la chimie quantique, possède des recouvrements avec la physique. De même, la mécanique admet de nombreux recouvrements avec la chimie, mais aussi ... la psychologie (la psychoacoustique, par exemple) et la biologie (la biomécanique). Enfin, il existe des sciences plus « exotiques » comme la bioinformatique, qui est à la frontière entre la biologie et l'informatique et l'informatique quantique, qui allie informatique et mécanique quantique, ou encore l'éconophysique, qui se situe à la frontière de la physique et de l'économie. Si l'objet principal dont traite une science est souvent relativement simple à expliquer, une définition exacte et exhaustive est souvent hors d'atteinte et les frontières d'une discipline demeurent floues.

Ensuite, une science doit apporter des connaissances sur son objet, c'est-à-dire avoir un contenu.

Pour accéder au statut de connaissance et non de simple croyance, son contenu doit être justifiable, c'est-à-dire vérifiable ou validable. Cette étape de validation, centrale dans la définition de la science dans l'acceptation moderne du terme, implique que la vérification doit pouvoir être faite par toute personne le désirant (si elle possède le bagage théorique et technique requis pour mener à bien cette opération). C'est en cela que le **savoir scientifique** est dit **objectif** : il est (idéalement) indépendant de la personne menant l'opération de vérification. Par exemple, la masse d'un objet est supposée être indépendante de la personne qui le pose sur une balance. De plus, pour que la vérification soit acceptable, il faut être

capable de dire en quoi le processus de vérification mis en œuvre justifie l'énoncé scientifique que l'on cherche à **présenter**.

Un autre caractère central de la science est le caractère universel de son contenu.

La loi de la gravité est supposée s'appliquer partout dans l'univers, aussi bien hier, aujourd'hui que demain. L'**espace** et le **temps** scientifiques sont en cela **homogènes et isotropes** (c'est ce que l'on appelle le **principe cosmologique**): tous les lieux de l'espace et tous les temps sont équivalents du point de vue de l'applicabilité des énoncés scientifiques. Il s'agit là d'une rupture profonde avec les conceptions magiques ou mystiques qui confèrent des propriétés particulières à certains lieux ou certaines périodes.

Enfin, et il ne s'agit pas là du point le moins important, une discipline scientifique se doit d'être capable d'explicitier ses moyens d'investigation et sa méthode de construction de la connaissance.

Un problème central de l'épistémologie est celui de la définition des **critères de scientificité**, quels sont les critères qui doivent permettre de départager science et non-science. Ces critères, et même leur existence, font l'objet de débats entre plusieurs écoles de pensées.

2.1.2 L'opposition rationalisme/relativisme

Existe-t-il des critères de scientificité qui soient universels et qui soient valables à toutes les époques du développement des sciences ?

Position rationaliste : définir la science

Pour les partisans de l'**école rationaliste**, la réponse est positive. On trouve ici une démarche strictement normative. **Pour un épistémologue rationaliste « radical », une définition de la science doit pouvoir être formulée sous la forme d'un critère universel radical. Ce critère de scientificité est applicable à toutes les disciplines, et cela à tous les stades de leur développement historique.** La thèse rationaliste a été défendue par exemple par Imre Lakatos qui écrit que « *le problème central en philosophie des sciences est celui d'établir des conditions universelles déterminant qu'une théorie est scientifique.* »

Position relativiste : définir des sciences

A l'inverse, les défenseurs de **relativisme** soutiennent qu'il n'existe pas de critère de scientificité universel. **Les critères définitoires sont variables d'une discipline à l'autre, et peuvent évoluer au cours du temps et varier d'une communauté humaine à l'autre.** Dans cette perspective, les facteurs psychologiques, sociaux, philosophiques ou religieux acquièrent une grande importance, qu'ils n'ont pas dans la perspective rationaliste. **Dans sa version la plus radicale, le relativisme ne reconnaît pas l'existence d'un corpus global de connaissances que l'on peut appeler « science », mais seulement l'existence de plusieurs domaines séparés que l'on peut qualifier individuellement de science.**

2.2 Classification(s) des sciences

La multiplicité et la diversité des disciplines scientifiques rendent très difficile une présentation globale du domaine de connaissance et des méthodes couverts par celles-ci.

Aussi, pour rendre cette tâche plus aisée, et de mettre en lumière les interconnexions, les échanges entre les différentes disciplines, il a de tout temps été essayé d'opérer une classification des sciences.

Quelques problèmes liés à la classification

Une classification des sciences est par nature subjective, en ce sens qu'elle est faite en se basant sur des critères dont le choix n'a rien d'évident ni d'automatique, comme le prouve le fait que de nombreuses classifications aient été proposées au cours des vingt cinq derniers siècles. Par exemple, le philosophe français Auguste Comte (1798-1857), fondateur du positivisme et auteur d'une classification fameuse qui sera présentée , indiquait qu'il avait sélectionné sa classification parmi ... 720 autres choix possibles ! Des critères classiques sont des regroupements par type de problèmes étudiés ou encore par type de méthodes employées.

Un autre point qui réduit la portée de telles classifications est le caractère « flou » déjà mentionné du périmètre de chaque discipline scientifique, qui rend parfois très difficile de classer une discipline parmi telle ou telle catégorie.

Ce problème est également renforcé par le fait que les sciences évoluent dans le temps, et **qu'une classification proposée à un instant donné peut devenir obsolète dans un futur plus ou moins lointain.**

Enfin, il faut noter qu'aucune des grandes classifications proposées n'est réellement satisfaisante, puisque l'on trouve des cas particuliers qui ne rentrent pas (ou très difficilement) dans le cadre d'analyse proposé.

2.2.1 Quelques éléments de classification

Quelques critères courants de classification :

- **Sciences formelles et sciences empiriques.**

Les sciences empiriques sont les sciences qui font appel à l'expérience sensible (c'est-à-dire aux perceptions que nous avons du monde par nos cinq sens) pour bâtir leurs théories. L'objet des sciences empiriques est donc supposé ne pas être une pure création de l'esprit humain et, d'une manière ou d'une autre, être lié à une réalité extérieure. Parmi les sciences empiriques, on compte : mécanique, physique, chimie, biologie, sociologie, économie, ...

Les sciences formelles se distinguent des sciences empiriques en ce sens qu'elles ne se réfèrent pas à notre perception du monde extérieur. Ces sciences font donc abstraction du contenu pour se focaliser sur la forme. Par exemple, lorsqu'un mathématicien définit l'addition dans le cadre de l'arithmétique, il ne spécifie pas ce qui est additionné (des choux, des carottes, ...) : il définit un cadre formel pour cette opération, qui pourra ensuite être utilisé pour chaque cas particulier. Le principal exemple de science formelle est donné par les mathématiques.

La première différence entre ces deux types de sciences **est une différence concernant la nature de l'objet** : objet matériel pour les sciences empiriques, objet conceptuel pour les sciences formelles. **La seconde différence est une différence de méthode de construction de la connaissance** : les sciences formelles ne se basent que sur la méthode dite hypothético-déductive, alors que les sciences empiriques ont de plus recours à la méthode expérimentale pour vérifier leurs énoncés.

- **Sciences de la nature et sciences humaines et sociales.**

Ces sciences sont toutes des sciences empiriques.

Les sciences de la nature (mécanique, physique, chimie, biologie, ...) **ont pour objet le fonctionnement interne de la nature.**

Les sciences humaines et sociales (économie, sociologie, psychologie,...) **étudient le comportement humain et les structures sociales**, c'est-à-dire ce qui est spécifiquement

humain (bien que la notion de spécifiquement humain soit de plus en plus affaiblie par les résultats récents provenant de l'étude de certains animaux comme les grands singes).

• **Sciences dures et sciences molles.**

Ce critère, souvent retenu par le grand public, est un critère très flou souvent associé à un jugement de valeur : **les sciences les plus dures seraient les plus « scientifiques », les plus sérieuses, les plus rigoureuses.**

Les sciences dites dures sont les sciences formelles et les sciences de la nature, les sciences molles étant les sciences humaines et sociales.

2.2.2 Présentation historique des classifications

La liste des classifications présentée ici n'a nullement l'objectif d'être exhaustive.

Elle n'a pour but que de donner des exemples de telles classifications, et, à travers ces classifications, de montrer l'évolution à travers les âges de la manière dont la science a été conçue.

Classification proposée par Aristote

Une des premières classifications connues est celle proposée par Aristote (384-322 av.J.-C.), qui distingue :

- (1) Les sciences théoriques ou de pure connaissance :** mathématiques, physique, métaphysique.
- (2) Les sciences pratiques ou de l'action :** morale, économie, politique.
- (3) Les sciences poétiques ou de la création :** rhétorique, dialectique, poétique.

Comme on peut le voir, la conception des sciences d'Aristote déborde très largement la définition acceptée de nos jours. Elle couvre en effet l'ensemble des domaines de l'activité intellectuelle du monde à son époque, et serait de nos jours considérée comme plus proche d'une théorie générale de la connaissance.

Classification proposée par Bacon

Le philosophe anglais Francis Bacon (1561-1626) a proposé la classification suivante :

- (1) Les sciences de la mémoire :** histoire naturelle, histoire civile.
- (2) Les sciences de l'imagination :** poésie.
- (3) Les sciences de la raison :** philosophie, conçue comme l'étude de Dieu, de la nature et de l'homme.

Cette classification est fondée sur les « facultés de l'âme » (mémoire, imagination, raison) telles qu'elles étaient imaginées par Bacon. On remarque que, dans ce cas également, le champ des disciplines scientifiques est plus étendu que celui reconnu aujourd'hui.

Classification proposée par Ampère

Gustave Ampère (1775-1836) a établi une classification hiérarchique basée sur le principe de dichotomie : chaque classe se divise en deux, chacune des nouvelles classes se divisant à son tour en deux, et ainsi de suite. Au total, la classification d'Ampère compte 128 sciences. Le premier niveau de division est :

(1) Les sciences cosmologiques ou de la matière.

(2) Les sciences noologiques ou de l'esprit.

Le désir de symétrie rend cette classification caduque de nos jours, car elle conduit à la définition artificielle de disciplines scientifiques.

Classification proposée par Spencer

Le philosophe et sociologue anglais Herbert Spencer (1820-1903) a mis au point une classification plus proche de la conception moderne de la science :

(1) Les sciences abstraites, qui ont pour objet les formes générales des phénomènes : logique, mathématiques.

(2) Les sciences abstraites-concrètes, qui étudient les phénomènes dans leurs éléments fondamentaux : mécanique, physique, chimie.

(3) Les sciences concrètes, qui traitent des phénomènes dans leur ensemble : astronomie, géologie, biologie, psychologie, sociologie.

Comme on peut le voir, toutes les sciences retenues par Spencer vérifient les critères de scientificité retenus de nos jours.

Classification proposée par Comte et Cournot

La dernière classification évoquée ici est celle proposée (indépendamment) par les philosophes et scientifiques français Auguste Comte (1798-1857) et Augustin Cournot (1801-1877).

Pour établir sa classification, Comte opère une séparation entre les sciences théoriques et les techniques qu'elles fondent (exemple : l'aérodynamique se fonde sur la mécanique), puis il sépare les sciences abstraites et générales (celles qui ont pour objet la découverte des lois générales : physique, chimie, mécanique) des sciences concrètes, particulières et descriptives (celles qui analysent comment les lois générales sont réalisées dans des cas concrets : zoologie, botanique, minéralogie).

La première classification proposée par Auguste Comte **pour les sciences théoriques/abstraites et générales est :**

- (1) Mathématiques
- (2) Astronomie.
- (3) Physique.
- (4) Chimie.
- (5) Biologie.
- (6) Sociologie.

Cette classification suit un double critère logique et chronologique.

Le critère logique est un ordre de généralité décroissante (dans l'esprit de Comte, chaque science est tributaire de la précédente dans la classification, mais ne s'en déduit pas) et de complexité croissante des phénomènes étudiés. Ici apparaît le problème lié au caractère évolutif des disciplines scientifiques : l'astronomie connue du temps de Comte ne prend pas en compte l'astrophysique moderne. De même, la physique de cette époque ne comprend pas les grandes avancées que furent la théorie de la relativité et la mécanique quantique. Ainsi, l'ordre de complexité croissante des objets étudiés peut-il être jugé comme largement révisable aujourd'hui. C'est également le cas pour le critère de généralité décroissante : la physique moderne n'est sans doute pas moins « générale » que l'astronomie ou l'astrophysique.

Le critère chronologique est celui de la naissance de chaque discipline scientifique. Ce critère est bien évidemment extrêmement difficile à manier, car il faut être en mesure d'identifier et de dater la naissance d'une science. Outre le problème de la disponibilité des documents historiques nécessaires, se pose celui de fixer une date de naissance pour une science. Ce dernier point est particulièrement complexe, car les idées et les méthodes connaissent des maturations lentes, s'étendant souvent sur plusieurs générations, et la détermination d'une date est souvent arbitraire. On détermine souvent la « date de naissance » en repérant, dans l'histoire des idées, le moment où apparaissent des résultats fondateurs ou

encore des méthodes de travail jugées fondatrices pour les développements futurs. Un tel travail est bien évidemment éminemment subjectif, et l'établissement d'une date ne signifie en rien que les objets et les problèmes considérés par une science n'étaient pas étudiés avant cette date. Les repères chronologiques donnés dans ce qui suit sont ceux qui correspondent à l'établissement de la liste de Comte.

Quelques repères chronologiques

Ainsi, il est considéré que les mathématiques avec Euclide (~325- ~270 av. J.C.) et la mécanique avec Archimède (~287-~212 av. J.C.) se constituèrent comme sciences autonomes en Grèce au III^e siècle avant notre ère. La naissance de l'astronomie au XVI^e siècle est associée aux travaux de Nicolas Copernic (1473-1543) et celle de la physique à ceux de Galilée (1564-1642) au XVII^e siècle. La chimie « naît » sous sa forme moderne avec Antoine Lavoisier (1743-1794) au XVIII^e siècle. Le XIX^e siècle voit la naissance de la biologie avec Claude Bernard (1813-1878), de la sociologie avec Auguste Comte (1798-1857) et de la psychologie avec Wundt et Ribot.

Une liste rectifiée peut être produite en insérant la psychologie, connue au XIX^e siècle, et en remplaçant l'astronomie par la mécanique :

- (1) Mathématiques
- (2) Mécanique.
- (3) Physique.
- (4) Chimie.
- (5) Biologie.
- (6) Psychologie.
- (7) Sociologie.

Augustin Cournot (1801-1877) a proposé une liste similaire à peu près au même moment, mais en émettant des critères différents, puisqu'il divisait chaque science en théorique, pratique et historique. Alors que les sciences théoriques ont pour objet les lois naturelles et leurs applications, les sciences historiques ont pour objet les données de faits irréductibles aux lois et à la théorie.

2.3 La science comme phénomène social

2.3.1 La science et le langage

La science est un fait humain collectif qui nécessite la communication, et donc la traduction de ces objets (concepts, lois, énoncés) au moyen d'un langage. C'est l'emploi d'un langage

qui permet à la science de découper ses objets, de les individualiser. En ce sens, on peut dire que sans langage il n'y aurait pas de science, si on se réfère au sens communément admis de ce mot. Cette mise en forme des théories scientifiques incite à se pencher sur les différences que l'on peut faire entre les différents types d'énoncés qui les expriment.

On distingue tout d'abord les **énoncés d'observation** et les **énoncés théoriques**.

Les énoncés d'observation décrivent des objets et des faits directement observables (exemple : il y a un objet posé sur la table).

Les énoncés théoriques se réfèrent à des choses non directement perçues (exemple : cet objet est radioactif). Mais un énoncé théorique peut être indirectement connecté à des perceptions, au sens où l'on peut parfois en déduire des énoncés d'observation (exemple : un compteur Geiger, mis en présence de cet objet, indique la présence d'une source radioactive).

L'ensemble des énoncés d'observation qui peuvent être rattachés à un énoncé théorique forme son **contenu empirique**, encore appelé son **contenu factuel**. Enfin, on appelle **énoncé métaphysique** tout énoncé théorique sans contenu factuel.

Parmi les énoncés d'observation, on fait la différence entre les **énoncés singuliers** qui se réfèrent à un unique fait observable à un endroit et un instant donnés (exemple : il y a une pomme sur cette table) et les **énoncés universels**, qui portent sur la totalité des événements d'un type particulier (exemple : les objets pesants tendent à tomber vers le sol).

Une seconde distinction porte sur les **énoncés analytiques** et les **énoncés synthétiques**. Les énoncés synthétiques sont vrais ou faux en vertu des rapports qu'ils entretiennent avec l'expérience (exemple : un objet est posé sur la table). Les énoncés analytiques sont vrais ou faux en raison de leur cohérence interne (exemple d'énoncé faux : il y a et il n'y a pas d'objet sur la table).

2.3.2 La science au-delà des individualismes ? Objectivisme et individualisme

Une théorie scientifique existe-t-elle indépendamment des croyances individuelles des scientifiques qui la développent ? Dépasse-t-elle les connaissances immédiates des scientifiques, acquérant une certaine « autonomie », en dehors des champs individuels et sociaux ?

Pour les partisans de l'**individualisme**, une théorie scientifique n'est rien d'autre que la somme des connaissances (au sens discuté : des croyances vraies et justifiées) des

scientifiques qui la développent. La question de la connaissance scientifique est alors subordonnée à celle de la connaissance par un individu, telle qu'elle a été évoquée.

Pour les défenseurs de l'**objectivisme** (Popper, Lakatos, Chalmers, ...), une théorie scientifique ne se résume pas à la somme des croyances individuelles.

Pour reprendre Popper, la science est une connaissance objective et, en tant que telle, est « *indépendante de la croyance d'une quelconque personne, ou de sa disposition à admettre, ou à affirmer, ou à agir. La connaissance au sens objectif est connaissance sans connaisseur ; elle est connaissance sans sujet connaissant* ».

Les arguments en faveur de cette position sont multiples.

Argument de la ramification

Tout d'abord, il convient de remarquer que le champ couvert par une discipline scientifique moderne comme la physique est si vaste qu'aucun individu ne peut le maîtriser intégralement. Les chercheurs sont aujourd'hui regroupés en communautés spécialisées, et aucune de celles-ci n'est capable d'identifier l'ensemble des liens ou des contradictions contenus par la physique. C'est l'**argument de la ramification** : puisqu'elle est si complexe, elle existe au-delà des connaissances individuelles.

Existence des opportunités objectives

Ensuite, une théorie scientifique a des conséquences, appelées **opportunités objectives**, qui ne sont pas explicitement connues et formulées par les chercheurs qui la développent. Par exemple, James Clerk Maxwell n'a jamais imaginé l'existence des ondes radio, découvertes après sa mort, bien que leur existence fût contenue dans sa théorie de l'électromagnétisme. C'est l'**argument de l'existence des opportunités objectives**

3. Eléments constitutifs d'une science empirique

3.1 Faits, Lois, Principes, Modèles et Théories

3.1.1 Faits, phénomènes et événements

Faits

Les **faits** sont les données immédiatement accessibles par l'observation. On distingue parfois deux types de faits : le fait brut, et le fait scientifique. Le **fait brut** est l'observation non analysée : la chute d'une pomme, le mouvement de la lune sont des faits bruts. Le **fait scientifique** est que tous les corps chutent sous l'effet de l'attraction terrestre (c'est ce que

montrent tous les faits bruts relatifs à ce sujet). On identifie ensuite, parmi les faits, les phénomènes et les évènements.

Phénomène

Un **phénomène** est un fait associé à un changement, et qui est répétable : la chute de la pomme est un phénomène.

Evènement

Tout fait n'est pas un phénomène, soit parce qu'il n'implique pas de changement (exemple : la (quasi-rotondité de la terre est un fait, qui n'est pas associé à un changement ou une évolution), soit parce qu'il n'est pas répétable (on parle alors d'un **évènement**). Un exemple d'évènement est la désintégration d'un noyau atomique, qui ne se produit qu'une seule fois.

3.1.2 Loi scientifique et principe

Le terme loi est à prendre avec des significations différentes dans son usage commun et son usage scientifique.

Loi : usage commun

Dans le sens commun, il a une connotation juridique et désigne une règle en vigueur dans un groupe humain, dont la violation sera sanctionnée. Il s'agit d'une convention sociale arbitraire, valable durant un certain temps dans un domaine de l'espace défini. La loi, dans cette acceptation, est contraignante : elle tend à gouverner ou à régir le comportement des individus qui lui sont soumis. Le respect ou la violation de la loi est de la part de ceux-ci un acte intentionnel. Le point important à retenir ici est que le respect de la loi n'est ni nécessaire ni obligatoire.

Loi : usage scientifique

Le sens du terme loi, tel qu'il est employé dans le cadre des sciences empiriques, est très différent ; on emploie parfois le terme de **loi naturelle** ou **loi de la nature**.

Une **loi scientifique** est l'expression mathématisée d'une corrélation répétable, d'un comportement constant ou d'une fréquence statistique observée parmi un ensemble de faits. Elle est déduite d'un certain nombre d'observations et généralise celles-ci, en en retenant le caractère stable.

Il est donc inexact de dire que les faits sont régis par des lois : il faut dire que les faits comportent des lois. A la différence du sens juridique usuel, la loi scientifique est **constative et non normative**.

On peut distinguer les **lois qualitatives** des **lois quantitatives**.

Les lois qualitatives portent sur des **variables qualitatives** (dites encore **variables ordinales**) qui peuvent être mises en ordre d'intensité, mais ne se prêtent pas aux opérations arithmétiques.

Un exemple de loi qualitative : le cuivre est conducteur d'électricité.

Les lois quantitatives portent à l'inverse sur des **variables quantitatives** (appelées également **variables cardinales**) sujettes aux opérations arithmétiques et qui peuvent être mesurées lors d'expériences. Certaines lois font apparaître des constantes, qui gardent des valeurs fixes. La loi indiquant qu'il existe une relation constante entre deux ou plusieurs variables, elle permet en un sens de prédire la valeur d'une de ces variables si toutes les autres sont données. La structure d'une telle prédiction s'exprime sous la forme de ce qui est appelée une **contra-factuelle** ou encore une **conditionnelle irréaliste** : *si ... alors ...*. Le caractère conditionnel est porté par le mot *si*, et irréaliste vient de ce que l'évènement n'est pas réalisé au moment où l'on émet la prédiction

Un exemple de loi quantitative : loi des gaz parfaits (loi de Mariotte ou de Boyle-Mariotte).

L'expression la plus simple, dans le cas de transformations à température constante (cas isotherme) est :

Loi quantitative de Mariotte : $PV = \text{constante}$ où P et V désignent respectivement la pression et le volume. Cette loi peut être réécrite sous la forme générale :

Loi quantitative (forme générale) de Mariotte : Quel que soit x , si x est un gaz parfait, alors le produit de sa pression par le volume occupé est constant lors d'une transformation isotherme.

La valeur prédictive est immédiate. Connaissant la valeur du produit P_0V_0 pour un gaz parfait x pour une pression P_0 et un volume V_0 , on prédit en se servant de la loi la valeur de la pression P_1 si le volume est changé en V_1 (la température étant maintenue constante) :

$$P_1 = P_0 \frac{V_0}{V_1}$$

Extension du domaine de validité

Revenons à ce qui a été dit plus haut concernant la validité des lois, qui est conditionnée aux observations. La loi de Mariotte, telle qu'elle est exprimée plus haut, repose sur l'hypothèse que la température est constante, et peut être proposée à partir d'une série d'observations vérifiant cette hypothèse. Que se passe-t-il maintenant si la température ne peut être maintenue constante ? La loi ne permet plus de représenter les faits. Il faut la rendre plus générale pour tenir compte des relations qui peuvent exister entre température, pression et volume :

$PV = nRT$ où T désigne la température, n le nombre de molécules et R est la constante des gaz parfaits. Cette nouvelle loi, qui fait apparaître une constante R valable pour tous les gaz parfaits, contient la précédente et en étend le domaine de validité. Cette loi peut encore être généralisée en prenant en compte des interactions physiques plus complexes. Par exemple, la loi de Van der Waals rend compte de l'attraction mutuelle des molécules et de leur taille :

$$P(1 + \frac{a}{V^2})(V - b) = RT \text{ où } a \text{ et } b \text{ sont des constantes qui dépendent du gaz.}$$

La notion de loi est plus compliquée qu'il n'y paraît, et soulève des problèmes qui demeurent ouverts.

Problèmes soulevés

Une loi est-elle universelle et définitive ? Non, car, déduite de l'expérience, elle est conditionnée par les hypothèses implicites qui ont guidé la collecte et l'analyse des faits : la précision des mesures, le choix des objets (masse, vitesse, énergie, ...) à conserver pour exprimer la loi, ... Une loi est donc une hypothèse jugée très probable car corroborée par de nombreuses observations. Mais elle peut être améliorée, généralisée si de nouvelles observations indiquent que la corrélation attendue n'est pas observée. En ce sens, on ne peut pas dire qu'une loi scientifique est violée par les faits (les faits sont ce qu'ils sont et ils n'ont pas d'intention), mais plutôt que la loi est caduque dans telle ou telle situation. Mais elle

possède toutefois un caractère universel, car elle est sensée être valide pour tous les cas qui satisfont ses hypothèses de dérivation.

Lois versus généralisations accidentelles ?

Un second problème consiste à faire la distinction entre les lois et les **généralisations accidentelles**. Les généralisations accidentelles sont des expressions qui possèdent la même forme logique universelle que les lois (quel que soit x , ...) mais qui, à l'évidence, ne peuvent pas être retenues comme des lois scientifiques.

L'exemple fameux suivant a été proposé par Nelson Goodman en 1955 : « *Toutes les pièces que j'ai dans ma poche à l'instant t sont en argent.* ».

Comme on peut le voir, la structure logique de cette proposition correspond bien à celle d'une loi, puisqu'elle vérifie les critères de vérité et d'universalité. Comment faire la différence ? On ne peut pas utiliser le fait que la généralisation accidentelle fait référence à des entités individuelles précises (instant particulier, poche déterminée, ...) car il est possible de reformuler les énoncés des généralisations accidentelles sans faire référence à de telles entités, et certaines lois font appel à de telles entités. Une autre objection pourrait être que les généralisations accidentelles ne sont pas vraiment universelles, et portent sur un nombre fini de cas singuliers. Ce critère fonctionne bien dans le cas de l'exemple de Goodman, mais il n'est pas pleinement satisfaisant. La raison est que toutes les lois sont bâties à partir d'un nombre fini d'énoncés d'observation, et que rien ne permet donc de les distinguer a priori des généralisations accidentelles avec ce critère. A cet effet Reichenbach en 1954 suggère deux propositions illustratives :

- (1) Tous les corps en uranium enrichi pur ont un volume inférieur à 1 km^3 .
- (2) Tous les corps en or pur ont un volume inférieur à 1 km^3 .

Analyse des deux propositions

Aucune de ces deux propositions ne fait référence explicitement à des entités individuelles précises, mais elles portent bien sur un nombre fini d'objets réels (le nombre d'atomes d'uranium et d'or présents dans l'univers étant fini). Mais elles ont des statuts différents : la première est une loi, car un corps d'un volume de 1 km^3 d'uranium enrichi aurait une masse très supérieure à la masse critique à partir de laquelle une réaction nucléaire se déclenche spontanément (environ 50 kg pour une sphère nue d'uranium enrichi) ; la seconde est une généralisation accidentelle, un tel corps en or pur pouvant exister.

Cette difficulté à définir ce qu'est une loi a conduit au développement de plusieurs écoles de pensées.

Position de l'école empiriste

Pour les philosophes de tendance **empiriste**, il n'existe pas de critère parfaitement objectif, et le fait de considérer un énoncé comme une loi est le résultat d'un *consensus* parmi une communauté scientifique. Il s'agit donc ici d'un jugement, emporté par la conviction des scientifiques, et comme tel, reconnaître qu'un énoncé est une loi est un fait subjectif. Un *critère jugé psychologiquement important* est celui de l'optimalité (le plus simple, le plus efficace, ...) du système des lois retenues, le problème étant reporté sur la définition de ces critères et la possibilité de les mesurer en pratique.

Position de l'école réaliste

Pour les philosophes de tendance **réaliste** (c'est-à-dire ceux qui considèrent que les énoncés scientifiques portent sur des entités qui existent réellement dans le monde, indépendamment de l'activité scientifique et humaine), la distinction entre lois et généralisations accidentelles vient de ce que les premières portent sur des propriétés objectives, considérées comme des **universaux**, alors que les dernières ne font référence qu'à des réalisations contingentes particulières. Le problème des approches réalistes (il en existe de nombreuses variantes) réside alors dans la définition de la nature de ces universaux (par exemple, certains philosophes admettent qu'il peut exister des universaux non-instanciés, c'est-à-dire sans aucune concrétisation dans l'univers, alors que d'autres non) et des relations qui peuvent exister entre eux (une question importante étant de savoir si les relations qui existent entre universaux et qui sont décrites par les lois sont nécessaires ou pas).

Les lois discutées dans ce qui précède sont des lois dites **déterministes**, car à un système déterminé et parfaitement connu, elles associent de manière *certaine* un état ou une propriété.

Lois statistiques

Depuis l'avènement de la physique statistique au XIXe siècle avec la naissance de la théorie cinétique des gaz et de la thermodynamique statistique, il existe une autre sorte de lois, les **lois statistiques**.

De telles lois sont employées pour décrire l'évolution de grands ensembles d'entités individuelles, dont le suivi individuel est impossible ou sans intérêt. Un exemple courant est celui de la description de la radioactivité, qui provient de la désintégration spontanée du

noyau atomique. On ne s'intéresse pas au comportement de chaque atome, mais au nombre moyen d'atomes qui se désintègre par unité de temps. On ne sait donc pas dire ce que devient chaque atome, mais on peut déduire, à chaque instant, quelle est la probabilité qu'il se soit désintégré. Une telle description probabiliste de la nature est à la base de la physique quantique.

Notons que le problème de la généralisation accidentelle existe aussi pour les lois statistiques : des phénomènes a priori sans rapport les uns avec les autres peuvent avoir des comportements semblables, laissant à penser qu'ils sont corrélés.

Principes

Les textes scientifiques font également parfois mention de **principes**. Dans les sciences expérimentales, les principes sont des sortes de loi d'un haut degré de généralité, qui dépassent de très loin les faits qui les ont suggérés. Chez certains auteurs, les principes acquièrent un statut proche de celui des postulats mathématiques, en ce sens que leur niveau de généralité ne permet pas une validation directe et complète. Ainsi, la seconde loi de Newton est parfois nommée **principe fondamental de la dynamique**, et l'hypothèse d'égalité entre masse inertielle et masse gravitationnelle est désignée sous le nom de **principe d'équivalence**. Un autre principe important est le **principe copernicien**, qui stipule que l'espace et le temps sont homogènes au sens où les lois de la physique sont les mêmes en tout temps et à tout point dans l'univers.

3.1.3 Qu'est ce qu'un modèle ?

Les faits permettent de dégager des lois. Pour obtenir un cadre de réflexion qui permette de synthétiser ces lois, de les regrouper et de trouver une certaine unité entre elles, on utilise des modèles.

Un modèle peut être défini comme « *un cadre représentatif, idéalisé et ouvert, reconnu approximatif et schématique mais jugé fécond par rapport à un but donné : prévoir, agir sur la nature, la connaître mieux, etc.* »

Exemple 1 : Le solide rigide.

Dans la discussion sur la définition du mouvement, on introduit la notion de solide rigide, c'est-à-dire celui d'un corps solide idéal qui ne subit aucune déformation durant son mouvement. Considérons un corps réel, par exemple une boule de billard, que l'on suit pendant son déplacement et les chocs avec les autres boules ou les bandes de la table de

billard. La boule est « dure » (d'après le sens commun), et, durant la partie, elle semble à l'œil nu conserver sa sphéricité. De plus, son mouvement sur la table peut aisément, pour un spectateur, être représenté par une composition de translations et de rotations. Pour les besoins des joueurs et des spectateurs, l'assimilation des boules à des solides rigides est donc un bon modèle, en ce sens que, couplé aux trois lois de Newton, il permet de décrire et de prévoir le déplacement des boules. Il est efficace et utile en cela, et permet par exemple aux joueurs de prévoir leurs coups. Cela veut-il dire que les boules ne subissent aucune déformation ? Non, à l'échelle microscopique, un observateur disposant des moyens d'observation adéquats verrait des déformations de la surface de la boule lors des impacts et la création d'ondes à l'intérieur du solide, qui sont décrites dans un cadre théorique plus complexe : celui de la mécanique des milieux continus. Le modèle de solide rigide est donc une idéalisation, une vue de l'esprit, qui, conservant certaines propriétés des objets, permet, grâce aux lois adéquates, d'obtenir une certaine maîtrise des faits.

Exemple 2 : Le milieu continu.

Dans l'exemple qui précède (le solide rigide), on considère la matière comme continue, puisque la définition du solide rigide est basée sur l'invariance de la distance entre les points situés dans le solide. Or, nous le savons, la matière n'est pas continue, mais faite d'atomes séparés par du vide. Pour caractériser les matériaux à l'échelle macroscopique et étudier les objets dont la taille est « grande » devant celle des atomes ou des molécules qui le composent, il n'apparaît pas utile d'utiliser une description à l'échelle de l'atome, et l'on introduit un modèle très puissant en mécanique : le modèle du milieu continu. Les propriétés macroscopiques de ce milieu (la rigidité d'un solide, la viscosité d'un fluide, ...) représentent l'effet, à grande échelle, des interactions entre les atomes ou les molécules.

Ces exemples permettent de dégager les caractéristiques générales des modèles bâtis par les scientifiques :

- **Les modèles sont basés sur des simplifications des faits.**

Cette étape de simplification nécessite d'identifier les aspects importants pour le but considéré (rendre compte de telle ou telle caractéristique observée). Elle est le point-clé de la modélisation. Par exemple, le modèle de Maxwell ne considère que des interactions mécaniques simples (collisions), et néglige de possibles interactions de nature chimique ou électromagnétique. Cette simplification implique que le modèle possède un domaine de

validité doublement limité : il n'est construit que pour rendre compte de certains phénomènes (exemple : le modèle de Maxwell n'est d'aucune utilité pour étudier la chimie des gaz) et n'est valable que pour un certain domaine d'étude (exemple : le modèle de Maxwell n'est plus efficace aux très hautes températures, où la ionisation des molécules devient importante).

- **Un point important est qu'il n'y a pas forcément correspondance exacte entre les éléments constitutifs du modèle et les faits observés** : les molécules idéales de Maxwell sont très différentes des molécules réelles d'un gaz.

- **Un modèle, lorsqu'il est analysé au moyen des mathématiques et de la logique, permet de prédire des faits virtuels (ce que Popper appelle des falsificateurs virtuels).**

L'emploi des mathématiques permet des prédictions quantitatives, qui peuvent être confrontées aux résultats des observations disponibles. Par exemple, le modèle de Maxwell peut être employé pour prédire l'évolution de la pression et de la température d'un gaz lorsqu'on le comprime. Ces prédictions peuvent être comparées aux données expérimentales.

3.1.4 Qu'est-ce qu'une théorie scientifique ?

Le dernier niveau, le plus général, est celui des théories scientifiques.

Une théorie est un système cohérent qui coordonne, relie et unifie des lois, des hypothèses, des principes et des modèles, les uns apparaissant comme complémentaires des autres.

Elle est plus générale que les modèles qu'elle utilise. Une théorie peut utiliser un ou plusieurs modèles, et replace ceux-ci dans un contexte conceptuel plus général. Il est à noter qu'un modèle peut être employé par des théories différentes.

De manière plus précise, on distingue généralement quatre fonctions d'une théorie scientifique :

- La **fonction explicative-prédictive** : en employant la théorie, le calcul et des hypothèses, on peut déduire des lois et des faits (qui devront, bien sûr, être confrontés avec l'expérience) alors que ceux-ci n'ont pas encore été observés.

- La **fonction unificatrice** : la théorie permet de rassembler, d'unifier un grand nombre de faits au sein d'un même cadre conceptuel, et de les englober dans un nombre réduit de modèles et de lois.

- La **fonction heuristique** : les théories guident les recherches en suggérant de nouvelles voies ou au contraire en conduisant à l'abandon de certains développements jugés moins féconds.
- La **fonction de représentation** : les modèles et le cadre fournis par une théorie offrent une représentation de l'univers sensible, qui permet à chacun d'ordonner sa vision du monde.

Exemple 1 : La théorie cinétique des gaz

La théorie cinétique des gaz est basée sur le modèle de Maxwell, qui traite de la dynamique des gaz. Au moyen de l'analyse mathématique, elle permet de déduire entre autres la loi des gaz parfaits et la loi de diffusion de Graham.

Exemple 2 : Les théories ondulatoire et corpusculaire de la lumière

Deux autres exemples sont les théories ondulatoire et corpusculaire de la lumière.

Dans le cadre de la théorie corpusculaire de Newton, la lumière est composée de particules (les photons) dont la masse varie avec les couleurs du spectre. Selon la théorie ondulatoire dérivée de l'électromagnétisme de Maxwell, la lumière se propage sous forme d'une onde transversale. Ces deux théories rendent compte de différents phénomènes : diffraction, réfraction, réflexion.

Il faut noter que l'effet photo-électrique n'est pas pris en compte dans le cadre de la théorie ondulatoire. Ces deux théories ne sont ni plus vraies ni plus fausses l'une que l'autre : elles sont plus ou moins efficaces pour traiter tel ou tel problème.

4. La question du progrès scientifique

« Nous sommes comme des nains juchés sur des épaules de géants. Nous voyons ainsi davantage et plus loin qu'eux, non parce que notre vue est plus aiguë ou notre taille plus haute, mais parce qu'ils nous portent en l'air et nous élèvent de toute leur hauteur gigantesque. » Ces propos attribués à Bernard de Chartes, un des maîtres de la scolastique au XII^{ème} siècle, exprime la continuité de l'activité intellectuelle et donne une vision cumulative de l'évolution du savoir. Cette même image est reprise des siècles plus tard par Isaac Newton dans une lettre à Robert Hooke datant de 1676 : *« si j'ai pu voir aussi loin, c'est parce que j'étais juché sur les épaules de géants. »*

L'idée de « progrès de la science », ou plutôt celle qu'il existe un progrès scientifique continu depuis plusieurs siècles est généralement associée à l'évolution technologique, particulièrement frappante depuis la seconde moitié du XX^{ème} siècle.

Les théories et les modèles ont considérablement évolué et de très nombreuses nouvelles disciplines sont apparues. Cette évolution des sciences empiriques (mais les sciences formelles ont elles aussi connu des développements spectaculaires) appelle de nombreuses questions dont les trois suivantes :

(1). Y a-t-il progrès scientifique, au sens où les sciences modernes sont supérieures (et en quoi ?) à celles des siècles passés ?

Quel est donc le sens exact du terme progrès lorsqu'il s'agit des sciences ?

(2). Comment les sciences évoluent-elles ?

De manière continue, ou au contraire subissent-elles des grandes ruptures, des révolutions scientifiques ?

(3). Quels sont les facteurs qui déterminent cette évolution ?

Le développement scientifique est-il influencé par des facteurs extérieurs à la science, comme des contraintes sociales ou sociologiques, économiques, religieuses, politiques ou philosophiques ?

4.1 Les facteurs du progrès scientifique

4.1.1 Une évolution partiellement subjective ? Internalisme et externalisme

L'**internalisme** et l'**externalisme** sont d'abord des méthodes de description appartenant à l'histoire des sciences : l'internalisme vise à décrire l'évolution des sciences en mettant l'accent sur les facteurs internes au champ scientifique, alors que l'externalisme consiste à faire porter l'analyse sur les facteurs externes au champ scientifique.

Pour les défenseurs de l'internalisme, ce sont les facteurs internes qui guident l'évolution des sciences. Les facteurs extra scientifiques (économiques, sociologiques, religieux, ...) n'ont alors pas d'importance ou n'ont qu'un rôle très mineur. Dans sa version la plus extrémiste, l'internalisme est donc très proche de l'épistémologie naïve.

Les partisans de l'externalisme, quant à eux, donnent une importance réelle aux facteurs externes. Dans sa version la plus extrême, l'externalisme fait de la science le simple produit des contraintes économiques, sociales, religieuses et politiques.

Entre les deux extrêmes (internalisme pur et externalisme radical) se situe la thèse aujourd'hui la plus répandue, dite **thèse faible**, selon laquelle c'est la somme des contraintes externes et internes qui fait avancer les sciences. Elle est dite faible, car elle soutient que les facteurs externes ne sont que des contraintes conditionnantes, et donc que le contenu des théories scientifiques n'est pas réductible aux facteurs sociaux.

Cette thèse faible a été défendue, entre autres, par Alexandre Koyré, Thomas Kuhn et Gaston Bachelard.

4.1.2 La notion d'obstacle épistémologique selon Bachelard

Bachelard a développé une philosophie originale, «*la philosophie du non*», en référence à son idée selon laquelle «*Deux hommes, s'ils veulent s'entendre vraiment, ont dû d'abord se contredire. La vérité est fille de la discussion, non pas fille de la sympathie.*»

L'évolution scientifique se fait donc par rupture avec les théories admises antérieurement : «*On connaît contre une connaissance antérieure.*»

Il rejoint ici le philosophe français Alain (de son vrai nom Emile Chartier, 1868-1951) pour qui : «*Penser, c'est dire non.*»

Partant de ce principe, Bachelard identifie les facteurs qui vont à l'encontre de l'évolution scientifique, c'est-à-dire ceux qui retardent ou bloquent le développement de nouvelles théories : ce sont les **obstacles épistémologiques**.

Pour Bachelard, la notion d'obstacle épistémologique recouvre les contraintes non techniques, c'est-à-dire les contraintes psychologiques et culturelles.

Plus particulièrement, il identifie :

- **L'expérience immédiate**, c'est-à-dire l'expérience menée sans cadre théorique digne de ce nom pour l'interpréter. Il fait référence ici aux expériences purement ludiques réalisées pour le grand public ou les élèves, qui donne toute la place au spectaculaire sans donner d'information sur les éléments d'interprétation scientifique.
- **La connaissance générale**, qui consiste à généraliser de manière inadéquate un concept, menant à un usage inapproprié et au masquage des vrais éléments d'interprétation.
- **La connaissance pragmatique**, qui consiste à vouloir expliquer les phénomènes par leur utilité au sein d'un monde gouverné par un principe supérieur.
- **L'obstacle substantialiste**, qui consiste à chercher une substance comme support de tout phénomène. Par exemple, au XVIIIe siècle, on a tenté d'expliquer les propriétés

du fer aimanté par l'existence d'une sorte de colle, le « flegme », qu'il contiendrait. Et on a cru voir ce flegme lorsque le fer incandescent est trempé dans l'eau.

- **L'obstacle animiste**, qui consiste à attribuer aux objets inanimés des propriétés des êtres vivants : maladie, vieillesse, mort ou encore des intentions ou des sentiments. Ainsi, au XVIII^e siècle, la rouille était considérée comme une maladie du fer, qui pouvait être guérie ! Autre exemple : à cette époque, lorsqu'on fermait une mine, on y semait de la limaille de fer, pour féconder la terre et faire germer de nouveaux minerais !
- Enfin, on peut citer **l'obstacle de l'autorité** : la soumission aux idées reçues pour la seule raison qu'elles sont enseignées ou défendues par des scientifiques connus est dangereuse. Ce que traduit Bachelard par : « *les grands hommes sont utiles à la science dans la première moitié de leur vie, nuisibles dans la seconde moitié.* » Il rejoint en cela Cicéron, qui écrivait : « *A ceux qui veulent apprendre, c'est souvent une gêne que l'autorité de ceux qui leur donnent leur enseignement.* »

4.1.3 Un cas d'école : l'affaire Lyssenko

Un exemple célèbre d'influence externe sur l'évolution scientifique est fourni par « *l'affaire Lyssenko* », qui se déroula en Union soviétique.

La politique de collectivisation de Staline et une série de mauvaises récoltes avaient fait des millions de morts en Ukraine, dus à la famine.

Trofim Lyssenko qui commença sa carrière de biologiste en Ukraine proposa une méthode qui consistait à semer au printemps certaines variétés de graines hivernales. Pour déclencher leur croissance, on les humidifiait et on les soumettait à un traitement au froid (vernalisation). Il obtient un soutien politique fort et voit ses théories sur la culture du blé appliquées à grande échelle. Dès 1936, Lyssenko remet en cause le rôle des chromosomes et des gènes dans l'hérédité. La génétique est présentée comme une science « *bourgeoise* », une pensée « *cléricale, nazie-mystique et américaine* ». Elle est officiellement bannie d'Union soviétique en 1948 au profit d'une « science prolétarienne de l'hérédité ».

La théorie de Lyssenko est fondée sur l'idée « *la concurrence n'a lieu qu'entre espèces : le loup mange le lièvre, les lièvres ne se mangent pas entre eux : le lièvre broute l'herbe. Le froment n'étouffe pas le froment* ». Il impose la plantation « par nids ». On plante plusieurs

graines dans chaque trou, les plantules qui en sortent seront trop nombreuses, mais la plupart d'entre elles se sacrifieront pour le bien de l'une d'elles.

Ces applications eurent des conséquences désastreuses sur le rendement agricole à partir de 1949. Après Staline, Lyssenko recevra le soutien de Khrouchtchev et le lyssenkisme survivra jusqu'en 1965.

4.2 Le déroulement du progrès scientifique

A la différence de la simple **évolution** qui est un changement involontaire, aléatoire, incertain, dont la direction est imprécise, le **progrès** désigne un changement évalué comme une amélioration par rapport à un état passé, fruit d'un projet, d'une volonté, d'une détermination humaine à l'accomplir.

Sur la question du progrès scientifique, deux tendances se sont succédé. A partir du XVII^{ème} siècle, on voit s'affirmer la valeur du progrès ; le XIX^{ème} siècle est rempli de discours faisant l'éloge du progrès industriel. Mais à partir du milieu du XX^{ème} siècle, la tendance s'inverse et la valeur du progrès est de plus en plus remise en question.

Sur le rythme du progrès, deux conceptions se sont également succédé.

Le continuisme

Le progrès serait une marche régulière, ininterrompue, chaque époque apportant sa pierre à l'édifice du progrès. B. Pascal a comparé le progrès à un homme qui marche. Fontenelle décrivait le progrès sur le modèle de l'accumulation ; les connaissances s'ajoutent les unes aux autres pour constituer le savoir de l'humanité.

Les encyclopédistes adoptèrent plutôt le modèle évolutif que l'on peut illustrer par une image horticole : chaque découverte est le développement , l'épanouissement d'un germe déposé autrefois dans le passé. Le savoir pousse comme un arbre sans mutations brusques.

Le discontinuisme

Mais au XX^{ème} siècle G. Bachelard, A. Koyré et d'autres historiens des sciences ont soutenu le **discontinuisme** ; l'histoire des sciences procéderait par sauts, par ruptures : *le progrès scientifique manifeste toujours une rupture, de perpétuelles ruptures entre connaissance commune et connaissance scientifique, dès qu'on aborde une science évoluée, une science qui, du fait même de ces ruptures, portes la marque de la modernité.*

Plus récemment, en 1969, quelques concepts fondamentaux utilisés en histoire des sciences ont été redéfinis. Il se produit d'abord une **conjoncture**, c'est-à-dire un processus d'accumulations, de perfectionnements, de corrections, de critiques, de réfutations, de

négligences, qui précède une rupture épistémologique. Les discussions montent jusqu'au point crucial de la coupure. La **coupure épistémologique** est un point de séparation, de non retour, à partir duquel une nouvelle science commence. La discussion est tranchée grâce à une nouvelle idée, une nouvelle théorie, généralement attachée à un grand nom. A partir de ce point de coupure a lieu la **rupture épistémologique** proprement dite, à savoir un processus d'invalidation irréversible des concepts anciens, des discours dépassés, en même temps que s'élabore la nouvelle science.