

Chapitre I

INTRODUCTION

" Le monde de notre expérience sensible est compréhensible
et le fait qu'il le soit est un miracle"
Albert Einstein¹

1. PROCEDES GENERAUX DE LA CONNAISSANCE.

Dès qu'il a pu assurer sa survie, l'homme primitif, à l'inverse des autres animaux, s'est mis à observer le monde qui l'entoure et à se poser des questions. Il a dû être intrigué par la succession des jours et des nuits : Le jour, la lumière lui permet de voir les objets qui l'entourent ; la nuit, l'obscurité l'effraye.

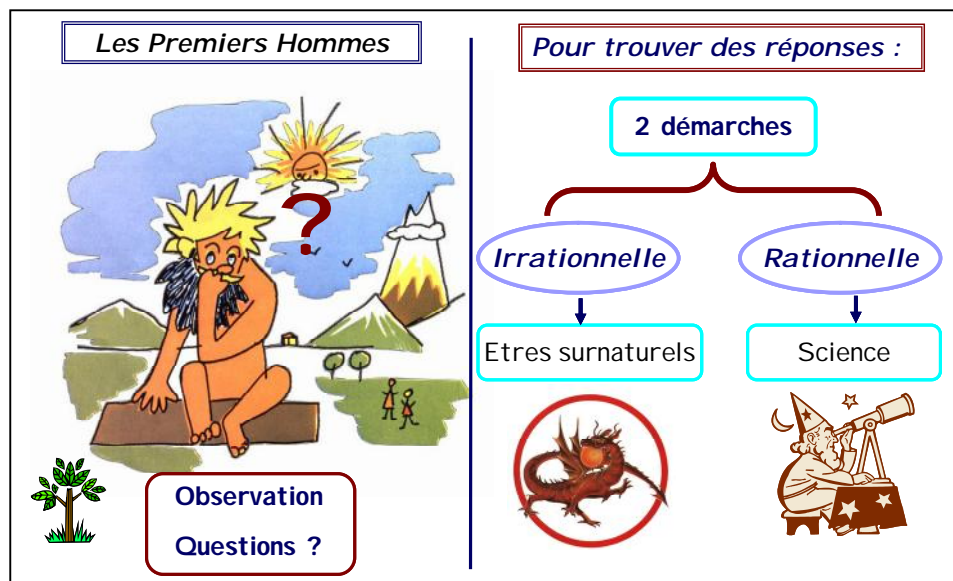


Figure I. 1 : Le dessin de gauche est tiré de " Papa dis-moi l'astronomie" de J.C. Pecker (*)

Il a remarqué que le soleil, qui lui donne de la lumière et de la chaleur, se lève d'un côté, culmine au milieu de la journée, et se couche de l'autre côté. Il a dû être effrayé par l'éclair, le tonnerre, les éclipses, les tremblements de terre et par d'autres phénomènes de la nature.

¹ EINSTEIN : *Conceptions scientifiques* page 24 .

(*) PECKER J.C. : *Papa dis-moi l'astronomie* Ed. Palais de la découverte Paris 1981

Pour trouver des réponses à ses questions, il a adopté deux démarches : la première est irrationnelle et fait intervenir des êtres surnaturels, des forces occultes ; la seconde fait appel à la raison. Cette démarche rationnelle a donné naissance à la logique et à la science ².

1. 1. La logique et la science.

Nous sommes reliés au monde extérieur par nos sens : la vue, l'ouïe, le toucher, l'odorat et le goût. Les impressions recueillies, à travers nos sens, nous permettent de prendre connaissance des phénomènes naturels et d'essayer de les comprendre. Mais, pour arriver à cette compréhension, la seule observation des faits ne suffit pas, il faut alors recourir au raisonnement.

La logique est la partie de la philosophie qui traite du raisonnement. Ce dernier consiste en un enchaînement de propositions en vue d'aboutir à une conclusion. Cet enchaînement est basé sur la cohérence c'est à dire la non-contradiction. Kant définit la logique comme

" la science des règles de l'entendement³ en général ⁴"

La science peut être définie comme l'ensemble des connaissances que l'homme a acquises par le raisonnement et l'expérience et qui sont liées à des faits régis par des lois. Ces connaissances sont transmises de génération en génération, à travers la famille, l'école, la littérature etc.. grâce au langage créé par l'homme.

1. 2. Le langage et les concepts.

Le langage n'existait pas dans les sociétés primitives. Les phénomènes naturels créaient chez l'homme, à travers ses sens, des impressions qu'il communiquait à son entourage par des cris et des gestes, comme le font les animaux: Le chien remue la queue pour manifester sa joie, aboie pour signaler un danger et montre ses crocs pour faire peur.

A propos du langage oral et écrit, le philosophe Alain ⁵a écrit :

Les sentiments, les scrupules, les progrès, l'esprit de doute, enfin toute la civilisation humaine, dépendent de ce fait étonnant que le langage vocal a remplacé tous les autres jusqu'à ce point que le dessin, qui n'est que le geste fixé, a été déchu de son rang parmi les signes, pour devenir une simple écriture.⁶

Le langage résulte d'une double articulation : À chaque objet à chaque sensation, l'homme a associé un mot, qui est une articulation de sons, et a créé un vocabulaire. Dans une deuxième étape les mots ont été articulés les

² Selon Auguste Comte, l'esprit humain a passé par trois étapes : l'état théologique où tout est expliqué par une volonté divine, l'état métaphysique où interviennent des forces occultes et l'état scientifique. CUVILLER page 11

³ L'entendement est, selon Kant, la faculté de penser (voir en page 3)

⁴ E. Kant : *Critique de la raison pure*, (P.U.F 1984) cité dans CAVAILLER page 160

⁵ Alain " *Les idées et les âges*" Ed Gallimard 1927. Emile **Chartier** dit **Alain** (1868-1951): philosophe et journaliste français

⁶ L'écriture a été inventée il ya 5000 ans en Mésopotamie, l'actuel Irak, cette invention a marqué le début de l'histoire..

uns aux autres, selon les règles de la grammaire, dans des propositions qui expriment la pensée de celui qui les forme.

Selon J.M. Hombert ⁷ le langage a fait son apparition dans une fenêtre qui se situe entre dix et cent mille ans avant JC, en plusieurs endroits. Puis il s'est diversifié : ainsi, à côté du langage courant, il existe des langages employés en philosophie, en sciences et en technologie pour lesquels de nouveaux concepts ont été créés.



Emmanuel KANT 1724-1804



Emile CHARTIER, dit ALAIN 1868-1951

Le concept est une création de l'esprit pour représenter un objet ou un fait ; par exemple le point et le cercle en mathématiques, la force, l'électron, et la gravitation en physique, l'oxydo-réduction et la catalyse en chimie, les gènes et la photosynthèse en sciences de la nature, etc... .

Cette création s'est faite en deux étapes : D'abord le concept est associé à une impression sensible donnée par l'objet, cette image est concrète et particulière, puis, on lui attribue une signification indépendante de l'image qui lui a donné naissance, il devient général et abstrait : c'est la différence qu'il y a entre l'image de l'arbre familial que l'on voit tous les jours et le concept d'arbre utilisé par le botaniste. (voir, § 2.1, *le carré en soi*)

1. 3. Les lois et les théories.

Selon Emmanuel Kant ⁸,

Tout dans la nature, aussi bien dans le monde inanimé que dans celui des vivants, se produit selon des règles, bien que nous ne connaissions pas toujours ces règles. La pluie tombe selon les lois de la pesanteur et chez les animaux, la locomotion se produit selon des règles ; et il n'y a nulle part aucune absence de règles. Si nous croyons constater une telle absence, nous pouvons seulement dire en ce cas que les règles nous sont inconnues.... L'entendement est la faculté de penser, c'est à dire de soumettre les représentations des sens à des règles. Aussi son plus vif désir est-il de chercher des règles et son plus vif plaisir est-il de les avoir trouvées.

Une loi scientifique, ce que Kant appelle règle, est un ensemble cohérent à l'intérieur duquel les faits sont reliés entre eux. En physique l'évolution d'un phénomène dépend de grandeurs mesurables. La relation entre ces gran-

⁷ Thierry Grillet : *Les mystères des langues*'' Le Nouvel Observateur N° 2136 13-19 octobre 2005

⁸ E. Kant : *Logique, introduction I*, (Vrin 1982) cité dans CHABIN page 136

deurs peut être traduite par une loi exprimée par une formule mathématique.

Ainsi la loi d'Ohm, en courant continu, relie la résistance R d'un circuit électrique, la différence de potentiel V aux bornes de cette résistance et l'intensité électrique I qui la traverse. Ces trois grandeurs physiques sont reliées entre elles par l'expression mathématique :

$$V = R \cdot I$$

Une théorie physique⁹ est une unité cohérente qui est obtenue, comme nous le verrons au paragraphe suivant, par le raisonnement, et qui rassemble des lois relatives à des phénomènes de même nature. Une théorie physique peut être traduite par un ensemble d'équations mathématiques, comme la théorie électromagnétique de Maxwell par exemple.

A cette question : Qu'est-ce que la théorie de Maxwell ? dit Hertz, je ne saurais donner de réponse à la fois plus nette et plus courte que celle-ci : La théorie de Maxwell, c'est le système d'équations de Maxwell.¹⁰

Pour être valable une théorie doit d'abord vérifier un certain nombre d'observations et de résultats expérimentaux, puis faire des prédictions.

C'est le cas de la théorie de la gravitation de Newton :

- D'une part elle permet de nombreuses vérifications : le mouvement des planètes, les trajectoires des projectiles, etc..

- D'autre part, elle a permis, en 1846, à Le Verrier¹¹ et Adams de découvrir, uniquement à partir d'un calcul basé sur cette théorie, l'existence de la huitième planète du système solaire. Elle sera baptisée Neptune, et sera observée quelques semaines plus tard à l'observatoire de Berlin. La neuvième planète Pluton¹² a été découverte de la même façon par Lowell en 1908, puis observée par Tombaugh en 1930.

Une théorie physique reste valable tant qu'elle n'est pas contredite par l'expérience.

1. 4. Les différents modes de raisonnement.

En Sciences, on utilise trois modes de raisonnement : la déduction, l'induction et le raisonnement par analogie (Figure I. 2).

Le raisonnement déductif part d'une proposition générale¹³ qui ne peut pas être démontrée mais qui semble évidente, et aboutit à des résultats particuliers. Ce mode de raisonnement est très utilisé en mathématiques et souvent en physique.

Le raisonnement inductif consiste, à l'inverse de la déduction, à aller du particulier au général. On part de faits particuliers auxquels on associe des

⁹ Voir Annexe II

¹⁰ DUHEM page 121

¹¹ Urbain **Le Verrier** (1811-1877) Astronome français. John Couch **Adams** (1819-1892) Mathématicien et astronome anglais. Percival **Lowell** (1855-1916) et Clyde **Tombaugh** (1907-1997). Astronomes américains.

¹² En 2006 Pluton a perdu son statut de planète. Notre système solaire ne compte plus à présent que huit planètes au lieu de neuf.

¹³ Un axiome, un postulat ou une définition (Voir Ch. V, & 2)

résultats, obtenus à partir d'expériences, pour aboutir à des lois. A partir de celles-ci on arrive parfois à élaborer une théorie générale.

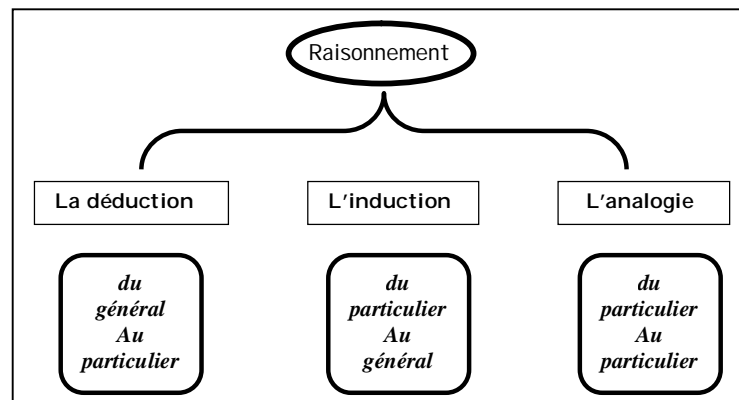
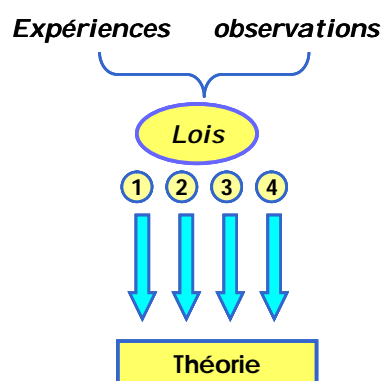


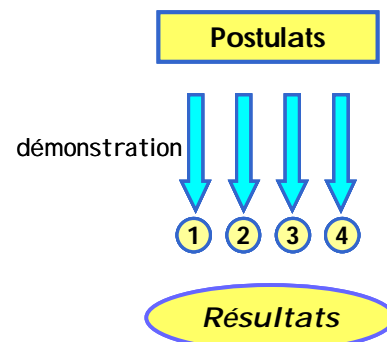
Figure I. 2 : Les modes de raisonnement

Selon Aristote :

"Nous apprenons soit par induction soit par déduction. La déduction part des vérités universelles, l'induction des vérités particulières".



Raisonnement par induction



Raisonnement par déduction

Il existe un troisième mode de raisonnement, largement utilisé en sciences, mais que certains logiciens considèrent comme une forme inductive du raisonnement : c'est l'analogie. On suppose que si deux domaines sont similaires par un ou plusieurs aspects, ils peuvent être similaires par d'autres aspects. C'est un mode de raisonnement qui consiste à aller du particulier au particulier.

Tous ces modes de raisonnement, ainsi que la méthode expérimentale, seront étudiés en détail dans les chapitres suivants.

2. LES MATHEMATIQUES.

2.1. Définition et concepts.

Définition : *Les mathématiques sont une science qui étudie les propriétés d'objets abstraits et les relations qui s'établissent entre eux.*

En effet les concepts introduits en mathématiques sont des objets abstraits bien que certains d'entre eux aient été introduits à partir d'objets concrets, observés dans la nature, mais ils ont été idéalisés. Le cercle par exemple a été sans doute suggéré par la forme du disque solaire ou celle de la pleine lune. En arithmétique, le terme calcul signifie pierre et montre que nos ancêtres ont appris l'arithmétique à l'aide de petites pierres de la même façon les écoliers apprennent à calculer à l'aide de bûchettes.

La géométrie était, à l'origine, une science d'arpentage ; les égyptiens, dans l'antiquité, étaient obligés de refaire le cadastre après chaque crue du Nil. Les figures géométriques, étudiées par les mathématiciens, sont des objets idéalisés comme le montre ce texte de Platon :

Le carré en soi.

Ceux qui s'occupent de géométrie, d'arithmétique et autres sciences du même genre, supposent le pair et l'impair, les figures, trois espèces d'angles et d'autres choses analogues suivant l'objet de leur recherche. Ils les traitent comme des choses connues, et, quand ils en ont fait des hypothèses, ils estiment qu'ils n'ont à en rendre compte ni à eux-mêmes ni aux autres, attendu qu'elles sont évidentes à tous les esprits ; qu'enfin, partant de ces hypothèses et passant par tous les échelons, ils aboutissent par voie de conséquences à la démonstration qu'ils s'étaient mis en tête de chercher.

Par conséquent, ils se servent de figures visibles et ils raisonnent sur ces figures, quoique ce ne soit point à elles qu'ils pensent mais à d'autres auxquelles celles-ci ressemblent. Par exemple c'est du carré en soi, de la diagonale en soi qu'ils raisonnent, et non de la diagonale telle qu'ils la tracent, et qu'il faut en dire autant de toutes les autres figures. Toutes ces figures qu'ils modèlent ou dessinent, qui portent des ombres et produisent des figures dans l'eau, ils les emploient comme si c'étaient aussi des images, pour arriver à voir ces objets supérieurs qu'on aperçoit que par la pensée.

Platon (*La république* Livre VI)



Al-Khwārizmī Mohamed
783 Khiva – 850 Bagdad

Al-Kitāb al-mukhtasar fī hisāb al-jabr wa-l-muqābala [7]

Les mathématiques comportent plusieurs parties :

L'arithmétique et la géométrie étaient connues dès l'antiquité.

L'algèbre et la trigonométrie ont été développées par les arabo-musulmans au moyen âge.

L'analyse est née après l'invention du calcul intégral et différentiel au dix septième siècle.

De nouvelles branches des mathématiques, basées sur des concepts très abstraits, sont apparues au cours des XIX^{ème} et XX^{ème} siècles : la topologie, la théorie des groupes, la théorie de la mesure etc..

2. 2. Les modes de raisonnement en mathématiques.

A l'inverse des sciences expérimentales, les mathématiques se présentent, comme nous venons de le voir, comme une science purement intellectuelle qui fait intervenir des objets idéalisés. Le mode de raisonnement principalement utilisé est par conséquent la déduction. La proposition de départ, axiome ou postulat, n'est pas nécessairement suggérée par la réalité comme nous le verrons au chapitre V dans le cas des géométries non euclidiennes.

On voit clairement pourquoi l'arithmétique et la géométrie sont beaucoup plus certaines que les autres sciences : C'est que seules elles traitent d'un objet assez pur et simple pour n'admettre absolument rien que l'expérience ait rendu incertain, et qu'elles consistent toutes entières en une suite de conséquences déduites par raisonnement.

Elles sont donc les plus faciles et les plus claires de toutes, et leur objet est tel que nous le désirons, puisque sauf par inattention, il semble impossible à l'homme d'y commettre des erreurs

R. Descartes : *Œuvres philosophiques* T.1

On emploie parfois d'autres modes de raisonnement, comme l'induction et l'analogie¹⁴.

En mathématiques on utilise aussi le raisonnement par l'absurde :

On part d'une proposition qui est la négation de celle qui doit être démontrée. On en déduit un résultat qui se trouve être absurde ¹⁵.

2. 3. Importance des mathématiques.

L'étude des mathématiques est indispensable à la formation pédagogique de l'élève à l'école et au lycée. Il y apprend, tout d'abord, les opérations élémentaires de l'arithmétique qui lui seront très utiles dans la vie courante.

En outre cette étude est nécessaire à la formation de l'esprit: elle développe chez l'élève les notions d'ordre et de rigueur, lui apprend à raisonner sur des objets abstraits et lui permet de disposer d'un outil sans lequel il ne pourrait apprendre les autres sciences.

En effet, les sciences expérimentales et la technologie dépendent étroitement des mathématiques, comme nous le verrons, par la suite, en ce qui concerne la physique. Les mathématiques constituent un outil indispensable au physicien ; ce dernier est parfois amené à créer un nouvel outil mathématique pour résoudre le problème sur lequel il travaille. Ainsi, Isaac Newton a inventé le calcul différentiel et intégral au cours de ses recherches sur la mécanique.

¹⁴ Voir chapitre III et IV.

¹⁵ On a essayé en vain de démontrer, par l'absurde, le cinquième postulat d'Euclide. Voir chapitre V, § 3.2.

3. LA PHYSIQUE.

3.1. Définition et concepts.

Le dictionnaire Larousse donne la définition suivante :

“ La physique est la science qui étudie les propriétés générales de la matière, de l'espace, du temps et établit les lois qui rendent compte des phénomènes naturels”.

Cette définition montre que le domaine d'étude de la physique est très vaste. Cette science a déjà apporté beaucoup de réponses aux questions que les hommes se sont posés depuis qu'ils se sont mis à observer le monde qui les entoure. Elle montre aussi que la physique est basée sur les concepts fondamentaux, d'espace, de temps et de matière.

Pour étudier la matière le physicien a introduit deux concepts¹⁶ la masse et la charge électrique¹⁷. Tous les autres concepts de la physique, la force, l'énergie, le champ, etc.. peuvent être définis à partir de ces quatre concepts fondamentaux : l'espace, le temps, la masse et la charge électrique ; c'est ce que nous verrons au chapitre II.

Dans les théories dites classiques, la mécanique newtonienne, l'électromagnétisme, la relativité, la thermodynamique etc., les phénomènes physiques sont décrits à l'aide des concepts de masse, de charges, de force, de champ, d'énergie, de potentiel etc..

Les théories quantiques, développées au début du vingtième siècle, ont nécessité l'introduction de nouveaux concepts : les quantons (photons, phonons), les mésons, le spin etc..

3.2. Les modes de raisonnement en physique.

Albert Einstein définit la physique comme

la science de la nature qui base ses concepts sur des mesures et dont les concepts et les propositions se prêtent à être formulés mathématiquement ¹⁸.

Ainsi le physicien a besoin de deux outils : les mathématiques et les instruments d'observation et de mesure. Aussi ce n'est qu'à partir du XVII^{ème} siècle, lorsque ces deux outils furent perfectionnés que la physique moderne, c'est-à-dire la physique telle nous la concevons actuellement, a démarré.

¹⁶ Ces deux concepts interviennent à l'échelle macroscopique, à l'échelle microscopique, les physiciens ont introduit d'autres concepts : spin, parité etc..

¹⁷ Voir le cours d'*Electricité*, Physique 2 [], Ch I Annexe I pages 39-40.

¹⁸ EINSTEIN : *Conceptions scientifiques* page 78

A cette époque Descartes élabore la géométrie analytique, Newton et Leibniz inventent le calcul intégral et différentiel.



Isaac NEWTON 1642-1727



Gottfried LEIBNIZ 1646-1716

L'invention du thermomètre, du baromètre, de la lunette astronomique et la construction de balances et d'horloges de plus en plus précises allaient permettre aux physiciens d'effectuer des mesures exploitables. Selon Bunge ¹⁹

"Les mathématiques jouent un rôle primordial dans l'élaboration des concepts, des formules et des théories physiques.... En effet sans le concept de dérivée, il n'y aurait pas de concept de vitesse instantanée et sans équations différentielles, il n'y aurait pas d'équation du mouvement".

On pourrait ajouter que sans la géométrie de Riemann et sans calcul tensoriel il n'y aurait pas de théorie de la relativité générale. Mais il ne faut pas oublier que ce sont des problèmes posés en physique, à propos de vitesses et de mouvements, qui ont été à l'origine du calcul différentiel et intégral. Aussi, la réciproque est vraie : La physique a joué un rôle important dans l'évolution des mathématiques.

Comme en mathématiques, les théories physiques peuvent être construites, par déduction, à partir de postulats, mais ces propositions de départ sont issues de l'observation et de l'expérience.

La physique étant une science expérimentale, il est évident que de nombreuses théories ont été élaborées à partir d'un raisonnement par induction.

Le raisonnement par analogie est souvent utilisé en physique comme outil heuristique ; il permet de découvrir de nouvelles lois à partir de lois connues comme nous le verrons au chapitre IV à propos de la théorie d'Ampère.

¹⁹ BUNGE page 50.

3. 3. Importance de la physique.

Dans la préface de leur cours de physique générale, les physiciens américains Alonso & Finn écrivent²⁰ :

” La physique est une science fondamentale qui a une profonde influence sur toutes les autres sciences. Les futurs physiciens et les futurs ingénieurs ne sont pas les seuls qui doivent avoir parfaitement compris ses idées fondamentales, mais tous ceux qui envisagent une carrière scientifique, (y compris les étudiants qui se spécialisent en biologie) doivent avoir acquis la même compréhension ”.

En effet la physique est en étroite relation avec les autres sciences : les mathématiques, s'ils constituent un outil indispensable au physicien, ont parfois besoin de la physique pour progresser. De nombreux savants, Newton, Leibnitz, Descartes, Gauss²¹, Poisson, Riemann, Poincaré et bien d'autres, ont été à la fois de grands mathématiciens et d'éminents physiciens. Les chimistes, les biologistes, les géophysiciens ne peuvent maîtriser leur discipline que s'ils possèdent de bonnes connaissances en physique.

Les rapports entre la physique et la technologie sont très étroits et remontent à l'antiquité. Historiquement la technique a précédé la science ; l'homme a inventé l'outil technologique (levier, poulie, plan incliné, balance) avant d'expliquer scientifiquement son principe. Le levier, par exemple a été utilisé lors de la construction des pyramides d'Egypte plus de vingt siècles avant J.C alors que son étude en statique n'a été faite que deux mille ans plus tard par Archimède²². Quant à l'étude théorique du plan incliné, elle est due à Stevin à la fin du XVI^{ème} siècle. L'invention de la machine à vapeur par Denis Papin²³ à la fin du XVII^{ème} siècle, perfectionnée par Newcomen et utilisée dans le pompage des eaux dans les mines de charbon, a précédé les travaux de Carnot²⁴, de Joule et des autres thermodynamiciens du XIX^{ème} siècle, travaux qui ont été à l'origine des deux principes de la thermodynamique.

Mais la technologie ne prendra son véritable essor qu'à partir du moment où la science et la physique en particulier auront progressé. La plupart des grandes découvertes en physique ont eu des applications directes ou indirectes en technologie. Les travaux en électromagnétisme, d'Oersted, d'Ampère, d'Ohm, de Faraday, de Maxwell etc, ont eu des répercussions considérables sur la production de l'électricité, son transport et sa consommation pour l'éclairage, la traction électrique et l'industrie. La théorie de Maxwell complétée par les expériences de Hertz²⁵ et les travaux d'Heaviside est à l'origine de nombreuses découvertes dans le domaine des télécommunications et de la détection (radars). La liste des exemples est très longue, signalons seulement que sans la mécanique quantique, il n'y aurait ni transistors, ni circuits intégrés et par conséquent ni téléviseurs ni ordinateurs.

²⁰ ALONSO Marcello & FINN Edward *Physique Générale* 3 tomes Traduction M. Daune, Edition du Renouveau Paris 1970 (Tome 1 page vii “ avant propos”).

²¹ **Gauss** Carl (1777-1855): Mathématicien allemand. **Poisson** Denis (1781-1840): Mathématicien Français.

²² **Archimède** (287-212 Av J.C) : Savant grec. **Stevin** Simon (1548-1620) Savant hollandais.

²³ **Papin** Denis (1647-1712) Inventeur français. **Newcomen** Thomas (1663-1729) Inventeur britannique.

²⁴ **Carnot** Sadi (1796-1832) Physicien français. **Joule** James P. (1818-1889) Physicien britannique.

²⁵ **Hertz** Heinrich (1857-1894) Physicien allemand. **Heaviside** Oliver (1850-1925) Physicien britannique.

4. L'EPISTEMOLOGIE

4. 1. Définitions.

Le terme épistémologie vient des mots grecs *επιστημη* (épistémé) : science et *λογος* (logos) : étude. L'épistémologie concerne par conséquent l'étude des sciences, mais le domaine de définition de cette discipline n'est pas bien délimité et dépend des auteurs²⁶. Le terme " épistémologie" lui-même est récent et ne se trouve pas dans le "Littré" dictionnaire de la langue française de la fin du dix neuvième siècle. Dans " *Le vocabulaire technique et critique de la philosophie*", André Lalande définit l'épistémologie comme :

" l'étude critique des principes, des hypothèses et des résultats des diverses sciences, destinée à déterminer leur origine logique, leur valeur et leur portée objective"²⁷

L'épistémologie comporte trois parties :

La première concerne la logique : L'étude des procédés de la connaissance, des modes de raisonnement, des méthodes scientifiques, des concepts utilisés en sciences et des résultats auxquels on aboutit sous forme de lois puis de théories. Ces procédés scientifiques, que nous avons déjà abordés, feront l'objet des quatre chapitres suivants.

La seconde présente un aspect ontologique : C'est une réflexion critique sur la valeur de la science comme connaissance de la réalité. Autrement dit, le monde, qui nous entoure, tel que nous le présente la science est-il conforme à la réalité ? Ce problème d'ontologie ne sera pas traité dans ce cours²⁸ .

Enfin la troisième partie tient compte de l'histoire des sciences : selon Georges Bouligand :

" On ne fait de bonne épistémologie qu'en empruntant à l'histoire" ²⁹

En effet, comme l'écrit Jean Dhombres ³⁰

L'histoire des sciences est une mine particulièrement riche, car elle permet de visualiser des tâtonnements, des cheminements, des erreurs, le rôle des préjugés idéologiques, l'importance d'un vocabulaire précis, le poids des bonnes notations, des symboles, mais aussi la fulgurance de certaines intuitions, la force comprimée de certaines démonstrations livrées telles quelles, sans fard, la beauté de synthèses puissantes. On peut y suivre la germination des concepts les plus simples, ceux que précisément l'on trouve au début de toute théorisation scientifique : énergie, entropie, chaleur équilibre chimique, vitesses ou accélération, opérateurs etc...

²⁶ Selon VIRIEUX (page 7), les anglais et les italiens limitent l'épistémologie à la théorie de la connaissance et à la méthodologie. " Epistemology : *The theory of the basis and methods of knowledge*" Dictionary WYLD

²⁷ LALANDE " *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*". André **Lalande** (1867-1963) : Philosophe français.

²⁸ Il sera abordé, à l'annexe II, sous forme d'extraits de textes.

²⁹ Cité dans VIRIEUX page 14

³⁰ Jean Dhombres : "A quoi sert l'histoire des sciences" 1981. Site Philagora : www.philagora.net/epistemo/epistem1.htm.

4. 2. Les grands courants épistémologiques.

Différents courants épistémologiques se sont dessinés au cours de l'histoire :

Le rationalisme privilégie le raisonnement au détriment de l'expérimentation. Il en est ainsi des savants grecs de l'antiquité : Pythagore, Platon, Euclide³¹. Aux dix-septième et dix-huitième siècles, Descartes, Leibnitz préféraient le mode de raisonnement par déduction.

L'empirisme : Cette doctrine, introduite au seizième siècle par Francis Bacon (1561-1626), s'oppose au rationalisme. Pour Bacon, la connaissance doit résulter essentiellement de l'observation et de l'expérience, sans aucun préjugé. Aussi rejette-t-il la méthode scolastique³² qui était enseignée dans les universités du moyen âge et qui :

"utilisait l'observation et l'expérience davantage comme prétextes à des développements théoriques ou idéologiques qu'à des fins de preuves."³³

Cependant cette méthode, qui consiste à accumuler les résultats expérimentaux, ne suffit pas pour expliquer un phénomène naturel. Ainsi, comme l'a souligné Thomas Kuhn³⁴ : "quiconque étudie par exemple les histoires naturelles baconiennes du XVII^e siècle constatera que cette méthode aboutit à un fatras"³⁵. Quant à Claude Bernard³⁶, il écrit :

Bacon a bien senti toute l'importance de l'expérience pour l'avenir des sciences. Cependant Bacon n'était point un savant et il n'a point compris le mécanisme de la méthode expérimentale.

Virieux note que l'empirisme "appartient à la phase préscientifique puisqu'il lui manque le caractère de systématisation théorique".³⁷

Le positivisme : introduit par Auguste Comte³⁸ ne tient compte que de ce qui est directement observable mais intègre l'aspect théorique. Selon Comte³⁹ :

S'il est vrai qu'une science ne devient positive qu'en se fondant exclusivement sur des faits observés..., il est également incontestable qu'une branche quelconque de nos connaissances ne devient une science qu'à l'époque où, au moyen d'une hypothèse, on a lié tous les faits qui lui servent de base.

D'autres doctrines philosophiques⁴⁰ sont apparues par la suite.

L'empirisme et le positivisme sont à l'origine de la méthode inductive et le rationalisme est à la base du mode de raisonnement par déduction.

³¹ L'ouvrage "*Optique et catoptrique*" d'Euclide est présenté comme un traité de mathématiques basé sur des postulats (Voir Ch VII § II.1.)

³² La scolastique désigne une méthode d'enseignement, développée au moyen âge, dont le but est de concilier la pensée d'Aristote et la théologie chrétienne.

³³ ROBARDET page 21

³⁴ Thomas Samuel **Kuhn**, (1922 -1996) philosophe et historien des sciences américain.

³⁵ ROBARDET page 22

³⁶ La méthode expérimentale de Claude Bernard est exposée au chapitre III.

³⁷ VIRIEUX *Introduction à l'épistémologie* page 43

³⁸ **Comte** Auguste (1798-1857) Philosophe français

³⁹ Cité dans Kremer-Mariette *Le positivisme* PUF Paris 1993 page 6

⁴⁰ Le constructivisme, par exemple, Voir Ch III. § 5.2.

Annexe I .

Les théories physiques.

L'aspect philosophique de l'épistémologie, qui constitue une partie importante de cette discipline, n'est abordé dans ce cours. Pour combler cette lacune, nous présentons, dans cette annexe, quelques extraits de textes, écrits par d'éminents physiciens, sur les théories physiques. Ils sont présentés dans l'ordre chronologique.

La théorie considérée comme une économie de la pensée : Ernst Mach (1838-1916)

La réduction des lois physiques en théories contribue à cette économie intellectuelle en laquelle M. E. Mach voit le but, le principe directeur de la Science.

La loi expérimentale représentait déjà une première économie intellectuelle. L'esprit humain avait devant lui un nombre immense de faits concrets, dont chacun se compliquait d'une foule de détails, dissemblables de l'un à l'autre ; aucun homme n'aurait pu embrasser et retenir la connaissance de tous ces faits ; aucun n'aurait pu communiquer cette connaissance à son semblable. L'abstraction est entrée en jeu ; elle a fait tomber tout ce qu'il y avait de particulier, d'individuel dans chacun de ces faits ; de leur ensemble, elle a extrait seulement ce qu'il y avait en eux de général, ce qui leur était commun, et à cet encombrant amas de faits, elle a substitué une proposition unique, tenant peu de place dans la mémoire, aisée à transmettre par l'enseignement ; elle a formulé une loi physique...

L'économie que réalise la substitution de la loi aux faits concrets, l'esprit humain la redouble lorsqu'il condense les lois expérimentales en théories.

DUHEM : *La théorie physique* page 47

Théories, vérité scientifique et réalité : Henri Poincaré (1854-1912)

1°) Pour un observateur superficiel, la vérité scientifique est hors des atteintes du doute ; la logique de la science est infaillible et, si les savants se trompent quelquefois, c'est pour en avoir méconnu les règles.

Les vérités mathématiques dérivent d'un petit nombre de propositions évidentes par une chaîne de raisonnements impeccables, elles s'imposent non seulement à nous, mais à la nature elle-même. Elles enchaînent pour ainsi dire le Créateur et lui permettent seulement de choisir entre quelques solutions relativement peu nombreuses. Il suffira alors de quelques expériences pour nous faire savoir quel choix il a fait. De chaque expérience, une foule de conséquences pourront sortir par une série de déductions mathématiques, et c'est ainsi que chacune d'elles nous fera connaître un coin de l'Univers.

Voilà quelle est pour bien des gens du monde, pour les lycéens, qui reçoivent les premières notions de physique, l'origine de la certitude scientifique. Voilà comment ils comprennent le rôle de l'expérimentation et des mathématiques. C'est ainsi également que le comprenaient, il y a cent ans,⁴¹ beaucoup de savants qui rêvaient de construire le monde en empruntant à l'expérience aussi peu de matériaux que possible.

⁴¹ C'est-à-dire à la fin du dix huitième et au début du dix neuvième siècle.

Quand on a un peu plus réfléchi, on a aperçu la place tenue par l'hypothèse ; on a vu que le mathématicien ne saurait s'en passer et que l'expérimentateur ne s'en passe pas davantage. Et alors, on s'est demandé si toutes ces constructions étaient bien solides et on a cru qu'un souffle allait les abattre. Etre sceptique de cette façon, c'est encore superficiel. Douter de tout ou tout croire, ce sont deux solutions également commodes, qui l'une et l'autre nous dispensent de réfléchir

2°) Quelques personnes ont été frappées de ce caractère de libre convention qu'on reconnaît dans certains principes fondamentaux des sciences. Elles ont voulu généraliser outre mesure et en même temps elles ont oublié que la liberté n'est pas l'arbitraire. Elles ont abouti ainsi à ce qu'on appelle le nominalisme⁴² et elles se sont demandé si le savant n'est pas dupe de ses définitions et si le monde qu'il croit découvrir n'est pas tout simplement créé par son caprice. Dans ces conditions, la science est certaine, mais dépourvue de portée. S'il en était ainsi, la science serait impuissance.

Or, nous la voyons chaque jour agir sous nos yeux. Cela ne pourrait être si elle ne nous faisait connaître quelque chose de la réalité ; mais ce qu'elle peut atteindre, ce ne sont pas les choses elles-mêmes, comme le pensent les dogmatistes naïfs⁴³, ce sont seulement les rapports entre les choses ; en dehors de ces rapports, il n'y a pas de réalité connaissable.

POINCARÉ : *La science & l'hypothèse* pages 23-25

Lois scientifiques et réalité : Max Planck (1858-1947)

Toute idée que nous avons sur le monde extérieur ne reflète, en dernière analyse, que nos propres sensations. Dans ces conditions, il est permis de se demander s'il y a un sens à parler d'un moi conscient par opposition à une « nature en soi » indépendante de lui. Est-ce que ce que l'on appelle « lois naturelles » ne seraient pas, au fond, un ensemble de règles plus ou moins parfaites ayant pour but de résumer aussi exactement que possible la succession temporelle de nos sensations ? Si l'on admet que telle soit la vérité, il faut en conclure que, non seulement le sens commun de l'humanité mais encore les conceptions des savants eux-mêmes auraient fait fausse route....

Il y a fort heureusement un moyen d'échapper très vite à cette difficulté captieuse,⁴⁴ c'est de continuer jusqu'au bout dans la voie où nous avons commencé. Nous admettons donc pour le moment que nous soyons en possession d'une représentation de l'Univers tout à fait satisfaisante, grâce à laquelle, par conséquent, il est possible de rendre parfaitement compte de toutes les lois naturelles découvertes empiriquement. On ne peut pas, c'est entendu, prouver que cette représentation soit conforme, même tant soit peu, à la « nature réelle », mais cette proposition a une contrepartie à laquelle on ne pense malheureusement pas assez : c'est qu'il n'est pas davantage possible de prouver que notre représentation ne reproduit pas d'une manière absolument fidèle les traits de la « nature réelle ». Pour pouvoir réfuter cette nouvelle proposition, il faut en effet connaître avec certitude quelque chose de cette « nature réelle » ; or par hypothèse cela est absolument exclu....

Une conception scientifique de l'Univers peut manquer autant qu'on le voudra de preuves scientifiques, on ne pourra pas moins en développer les conséquences et

⁴² Nominalisme : Doctrine philosophique selon laquelle les concepts n'existent pas en eux-mêmes comme des essences, mais ne sont que des mots qui désignent les choses. Le texte de Poincaré donne une définition du nominalisme scientifique.

⁴³ Dogmatisme : Doctrine basée sur des certitudes.

⁴⁴ Captieux : qui cherche à induire en erreur.

s'attendre à la voir tenir tête à tous les assauts, si elle ne contient pas de contradiction interne et si elle est en accord avec les faits expérimentaux.

Planck ⁴⁵: *Initiations à la Physique.* pages 49-50

Théories constructives & théories à principes : Albert Einstein (1879-1955)

Il y a plusieurs sortes de théories en physique. La plupart d'entre elles sont constructives. Celles-ci tentent de construire une image des phénomènes complexes en partant d'un formalisme de base relativement simple. La théorie cinétique des gaz, par exemple, essaie de ramener aux mouvements des molécules les processus mécaniques, thermiques et diffusionnels, c'est-à-dire de les construire à partir de l'hypothèse du mouvement moléculaire. Quand nous disons que nous avons réussi à comprendre un groupe de phénomènes naturels, nous entendons par là que nous avons trouvé une théorie constructive qui les embrasse.

Mais outre ce groupe de théorie extrêmement important, il existe un autre groupe qui se compose de ce que j'appelle théories à principes. Celles-ci emploient, non pas la méthode synthétique, mais la méthode analytique. Leur point de départ et leur base ne sont pas des constituants hypothétiques, mais des propriétés générales des phénomènes naturels trouvés empiriquement, des principes, d'où l'on déduit ensuite des critères formulés mathématiquement auxquels les phénomènes individuels – ou leur représentation théorique – doivent satisfaire. La thermodynamique par exemple, en partant du fait d'expérience que le mouvement perpétuel est impossible, essaie de déduire de ce fait, par un processus analytique, des relations auxquelles les processus individuels doivent satisfaire. L'avantage des théories constructives réside dans leur étendue, leur application facile et leur clarté, tandis que celui des théories à principes réside dans leur perfection logique, et la solidité de leurs fondements. La théorie de la relativité est une théorie à principes.

EINSTEIN (*Conceptions scientifiques* page 12)

Validité des théories scientifiques et leur unification : Stephen Hawking. (1942-

1°) une théorie est valable si elle satisfait aux deux conditions suivantes : décrire avec exactitude une vaste catégorie d'observations sur la base d'un modèle qui ne contient que quelques éléments arbitraires, et faire des prédictions précises concernant les résultats des observations futures. Exemple, la théorie d'Aristote tout était fait de quatre éléments, la terre, l'air, le feu et l'eau, était suffisamment simple pour effectuer des descriptions, mais elle ne permettait pas de prédiction précise. La théorie de la gravitation de Newton était fondée, elle, sur un modèle plus simple.Cependant, elle prédisait les mouvements du soleil, de la lune et des planètes avec un haut degré d'exactitude.

Toute théorie physique est toujours provisoire en ce sens qu'elle n'est qu'une hypothèse : vous ne pouvez jamais la prouver. Peu importe le nombre de fois où les résultats d'une expérience s'accorderont avec une théorie donnée, vous ne pouvez jamais être sûr que, la fois suivante, ce résultat ne la contredira pas.

2°) L'ultime but de la science est de fournir une théorie unique qui décrive l'Univers dans son ensemble....On se rend compte qu'il est très difficile de concevoir une *telle*

⁴⁵ Max **Planck**: physicien Allemand, (1858 , Kiel – 1947, Göttingen). En 1900, Max Planck découvre la loi du rayonnement d'un corps noir qui va servir de base à la mécanique quantique.

théorie. A la place, on choisit de morceler le problème et d'inventer un certain nombre de théories partielles ; chacune d'elles décrivant et prédisant une certaine classe limitée d'observations..Il se peut que cette approche soit complètement fausse. Si tout dans l'Univers dépend de tout de façon fondamentale, il pourrait être impossible d'approcher une solution générale en traitant séparément les différentes parties du problème. Néanmoins, c'est assurément de cette façon que nous avons accompli quelques progrès dans le passé.Pourtant, s'il existe vraiment une théorie complètement unifiée, elle devrait aussi vraisemblablement déterminer nos actions. Et ainsi, la théorie elle-même devrait déterminer l'aboutissement de notre recherche la concernant ! Et pourquoi déterminerait-elle que nous arrivons aux bonnes conclusions ?

HAWKING : *Une brève histoire du temps* pages 28-32