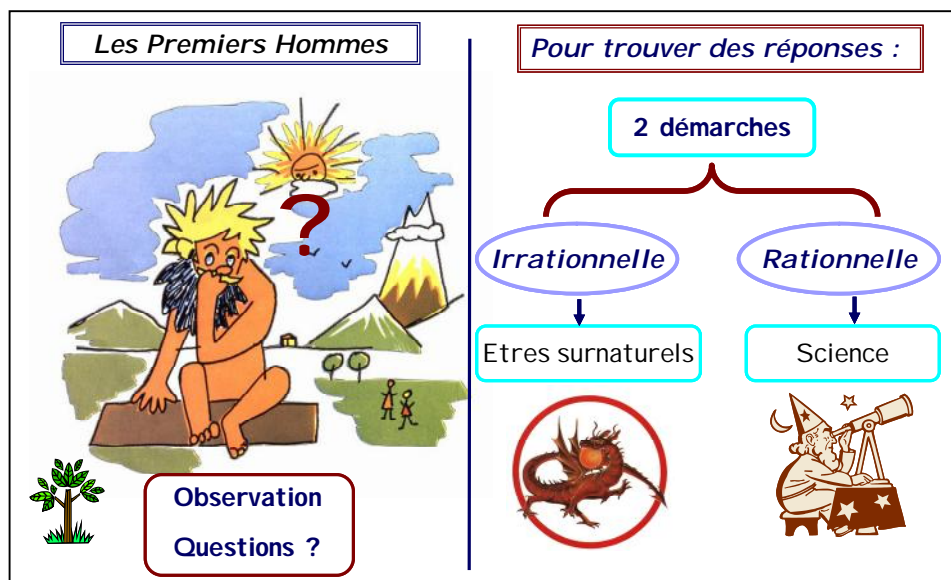


## Chapitre I

**INTRODUCTION****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.



Figures 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.

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 science<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> 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

## 1. 1. La science.

Qu'est-ce que la science ?

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*"<sup>2</sup>.

Ces connaissances sont transmises de génération en génération, à travers la famille, l'école, la littérature etc.. grâce au *langage* créé par l'homme.

Le langage, oral ou écrit, constitue un moyen de communication et un outil de diffusion du savoir.

## 1. 2. Le langage

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.

Le langage oral.

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 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 <sup>3</sup> 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.

Le concept est une création de l'esprit pour représenter un objet ou un fait :

- le point et le cercle en mathématiques,
- la force, l'électron, et la gravitation en physique,
- la molécule, l'oxydo-réduction et la catalyse en chimie,
- les gènes et la photosynthèse en sciences de la nature, etc... .

Le langage écrit : L'écriture.

L'écriture a été inventée, il y a 5000 ans , en Mésopotamie<sup>4</sup> (l'actuel Irak). Cette date marque le début de l'Histoire.

---

<sup>2</sup> Dans cette définition de la science, trois mots sont soulignés : "*raisonnement*", "*expérience*" et "*loi*". Nous verrons, au § 1.4, les différents modes de raisonnement utilisés en sciences et, au § 2, la méthode expérimentale qui permet d'aboutir aux lois.

<sup>3</sup> Thierry Grillet : *Les mystères des langues*" Le Nouvel Observateur N° 2136 13-19 octobre 2005

<sup>4</sup> Mésopotamie signifie le pays situé entre les deux fleuve (Le Tigre et l'Euphrate)

Les caractères cunéiformes, de l'écriture mésopotamienne, sont tracés sur des tablettes en argile fraîche à l'aide d'un poinçon.

Les hiéroglyphes de l'écriture égyptienne, sont gravés sur la pierre des monuments. Pour écrire les scribes égyptiens utilisaient le papyrus, nettement plus commode que les tablettes. Le papyrus est une sorte de papier<sup>5</sup> fabriqué à partir de roseaux du Nil. Les scribes étaient des lettrés capables de lire, écrire et compter.



Tablette gravée de caractères cunéiformes.  
(Assyrie. 865-860 Av JC ) Andrew Scott



### L'alphabet phénicien

<b>Aleph</b> (boeuf)	𐤀	a
<b>Beth</b> (maison)	𐤁	b
<b>Ghimme</b> (chameau)	𐤂	g
<b>Daleth</b> (porte)	𐤃	d
<b>Hé</b>	𐤄	hé
<b>Waw</b> (clou)	𐤅	v
<b>Zaïn</b> (arme)	𐤆	z
<b>Heth</b>	𐤇	h
<b>Teth</b>	𐤈	Th
<b>Yodh</b> (bras)	𐤉	i, y

<b>Lamed</b> (aiguillon)	𐤊	l
<b>Mem</b> (eau)	𐤍	m
<b>Nun</b> (poisson)	𐤎	n
<b>Sâmekh</b> (poisson)	𐤏	s
<b>Ain</b> (oeil)	𐤐	o
<b>Pé</b> (bouche)	𐤑	p
<b>San</b>	𐤒	s
<b>Qoppa</b>	𐤓	q
<b>Resh</b> (tête)	𐤔	r
<b>Sin</b> (dent)	𐤕	s
<b>Tau</b> (croix)	𐤖	t

Figures I . 2. L'écriture

<sup>5</sup> Le papier de chiffon fut fabriqué, plus tard au 1<sup>er</sup> siècle, par les chinois, il fut utilisé par les perses et les arabes, mais son utilisation à grande échelle n'a pu avoir lieu qu'au Moyen âge après l'invention de l'imprimerie. Malet & Isaac Tome 1 page 271

L'alphabet a été inventé par les phéniciens

Les signes (lettres) de l'écriture phénicienne sont beaucoup moins nombreux que les caractères cunéiformes de la Mésopotamie, les idéogrammes chinois ou les hiéroglyphes égyptiens. Ils correspondent uniquement à des sons simples. Cet alphabet (Fig 1.2) montre que les langues phénicienne et arabe ont une origine commune<sup>6</sup>.

Sans l'écriture la science n'aurait pas pu se développer.

### 1. 3. Les lois et les théories dans les sciences.

Selon Emmanuel Kant <sup>7</sup>,

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.

*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, comme nous le verrons au paragraphe 2.2, de grandeurs mesurables. La relation entre ces grandeurs 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 physique est une unité cohérente qui est obtenue par le raisonnement, et qui rassemble des lois relatives à des phénomènes de même nature.*

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 est vérifiée dans de nombreuses cas : le mouvement des planètes, l'étude des marées, les trajectoires des projectiles, etc..

- D'autre part, elle a permis, en 1846, à Le Verrier 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 Pluton<sup>8</sup> 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.

---

<sup>6</sup> Il en est de même des autres langues sémitiques ; l'araméen, l'hébreu.

<sup>7</sup> E. Kant : *Logique* (Vrin 1982) cité dans Chabrin D. & Marinbert J. *Philosophie* page 136 Ed. Vuibert 2000

<sup>8</sup> En 2006 Pluton a perdu son statut de planète. Notre système solaire ne compte plus à présent que huit planètes au lieu de neuf.

### 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. 3).

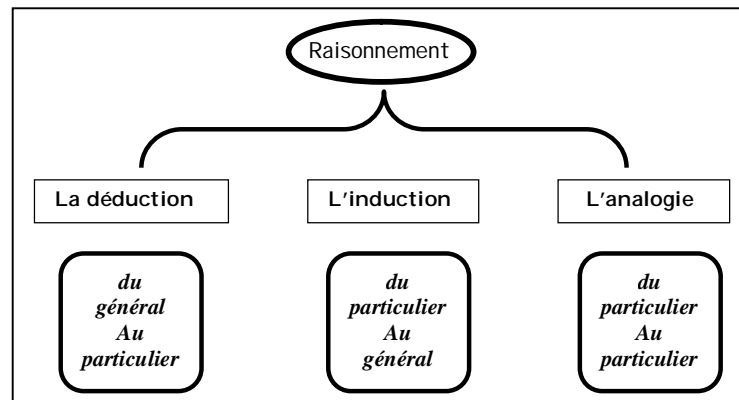
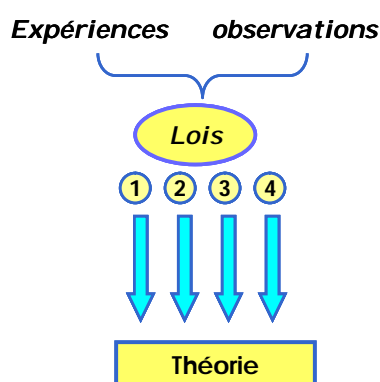


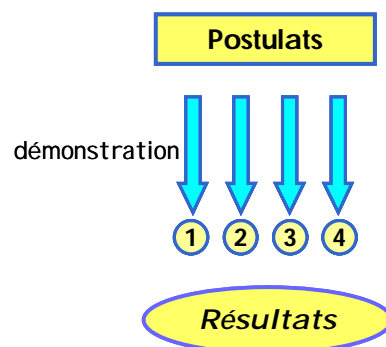
Figure I. 3 : Les modes de raisonnement

Le raisonnement déductif part d'une proposition générale (un postulat) 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 (voir Annexe I) 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 résultats, obtenus à partir d'expériences, pour aboutir à des lois. A partir de celles-ci on arrive parfois à élaborer une théorie générale.



Raisonnement par induction



Raisonnement par déduction

Il existe un troisième mode de raisonnement, largement utilisé en sciences : 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.

En mathématiques, l'analogie est basée sur le rapport :  $a/b = c/d$   
On dira que  $a$  est à  $b$  ce que  $c$  est à  $d$ .

## 2. LA METHODE EXPERIMENTALE.

### 2.1. L'Observation.

Nous sommes reliés au monde extérieur par nos sens : la vue nous permet de percevoir la forme d'un objet, sa couleur, sa position et son mouvement dans l'espace. L'ouïe détecte le son, le toucher permet d'apprécier la température d'un corps, le goût et l'odorat sa saveur et son odeur. Ainsi l'évolution d'un phénomène naturel peut être directement perçue par nos sens, notamment la vue. Mais l'observation est-elle suffisante pour expliquer un phénomène ?

L'observation peut être source d'illusions, comme le montre le dessin de Joseph Jastrow <sup>9</sup> (figure I.4), où l'on peut voir tantôt un lapin tantôt un canard.

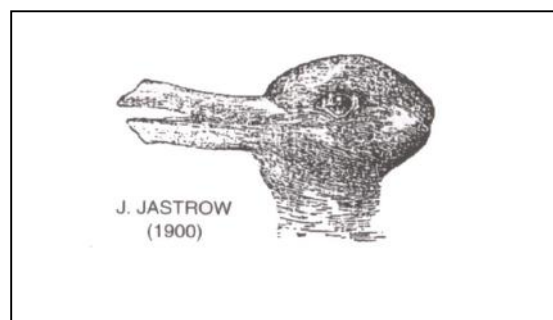


Figure I. 4

Elle peut être entachée d'erreurs dues :

- à la position de l'observateur : parallaxe (figure I.5),
- à l'influence du milieu : réfraction, mirage (figure I. 6) etc..
- au mouvement relatif de l'observateur.

La parallaxe est une erreur due à la position de l'observateur par rapport à ce qu'il observe. Sur la figure I.5 a, le juge de touche, correctement placé, signale un hors jeu dans un match de football. Le spectateur par contre,

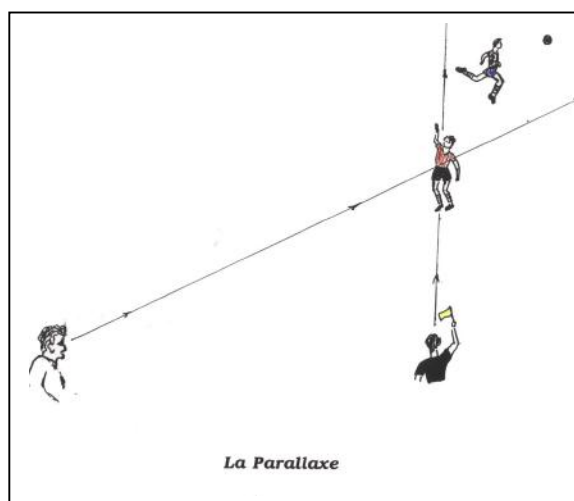


Figure I. 5.

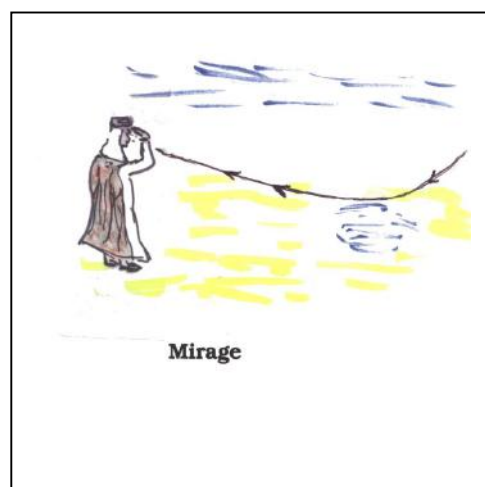


Figure I. 6.

<sup>9</sup> Joseph **Jastrow** (1863-1944) psychologue américain.

victime d'une erreur de parallaxe, a l'impression que l'attaquant, qui s'apprête à tirer, n'est pas hors jeu. L'erreur de parallaxe intervient dans les expériences lorsqu'on utilise des appareils de mesures analogiques.

En astronomie, la parallaxe est due au fait que la position de l'observateur, par rapport à l'étoile qu'il observe, change au cours de l'année, en raison du mouvement annuel de la Terre sur l'écliptique (Voir Figure II.4).

En outre, nos sens sont limités dans l'appréciation des dimensions des objets et dans la perception des fréquences des ondes lumineuses et sonores.

L'œil ne perçoit que la lumière dont la longueur d'onde est comprise entre 0.4 et 0.8  $\mu\text{m}$  et l'ouïe n'est sensible qu'aux sons dont la fréquence se situe entre 16 et 16 000 hertz.

## 2.2. L'Expérience.

L'observation ne suffit pas, il faut donc procéder à l'expérience :

L'expérience consiste à faire des observations dans des conditions qui ont été au préalable arrangées afin de corriger les erreurs d'observation et d'éliminer les phénomènes parasites. L'expérience est menée dans un milieu où l'on peut contrôler différents paramètres, la température, la pression, etc..

L'expérimentateur effectue des mesures à l'aide d'instruments et de dispositifs de mesure. Les erreurs d'observation, comme la parallaxe et celles qui sont dues à l'introduction des appareils, sont prises en compte.

La mesure permet d'associer, au phénomène étudié, des valeurs numériques indispensables à l'utilisation de l'outil mathématique. Les mesures, effectuées au cours d'une expérience, permettent d'aboutir à une loi

La méthode expérimentale est donc basée sur la mesure, d'où l'introduction du concept de grandeur physique.

L'évolution d'un phénomène physique dépend de paramètres ayant la propriété de varier et d'être représentés par des nombres : Ce sont les grandeurs physiques.

*Deux grandeurs sont de la même espèce si on peut les comparer.*

Exemple : La longueur d'une table, la hauteur d'un arbre, le rayon de la Terre etc...

Soient deux grandeurs  $G_1$  et  $G_2$  d'une même espèce  $G$ , on dit que la grandeur  $G$  est mesurable si on peut trouver un moyen qui permet d'aboutir à la relation :

$$G_1 = k G_2 \quad \text{ou} \quad G_1 / G_2 = k$$

*Une grandeur est mesurable lorsqu'on sait définir le rapport de deux grandeurs de son espèce.*

Si, parmi toutes les grandeurs  $G$  d'une même espèce, on choisit arbitrairement une grandeur  $U$  qui sera prise comme référence ou unité, il sera alors possible d'exprimer toutes les grandeurs  $G$  en fonction de  $U$  sous la forme :

$$G = g U$$

Dans cette expression  $g$  est un nombre qui représente la mesure de  $G$  avec l'unité choisie  $U$ .

L'unité de la grandeur étant choisie et définie, on peut alors procéder, au cours d'une expérience, à la mesure de la grandeur considérée.

Ainsi *l'expérience permet d'aboutir à une loi*. Claude Bernard<sup>10</sup> a initié une méthodologie que les didacticiens du XX<sup>ème</sup> siècle ont développée et désignée par le sigle : O.H.E.R.I.C.

On part de l'observation (O) d'un phénomène naturel, on émet des hypothèses (H) sur son évolution ou sur sa nature. Celles-ci doivent être confirmées ou infirmées par l'expérience (E) dont les résultats (R) seront interprétés (I). L'interprétation aboutit à une conclusion (C) qui sera exprimée sous la forme d'une loi.

Puis on regroupe plusieurs lois, ainsi obtenues, dans le cadre d'une théorie. C'est le mode de raisonnement par induction.

Nous allons prendre comme exemples la loi de la chute des corps et la théorie de Newton en mécanique (Annexe II).

Exemple : Loi de la chute des corps (Galilée 1638).

Les travaux de Galilée sur la chute des corps sont exposés dans un ouvrage, paru en 1638 : "*Discours et démonstrations mathématiques concernant deux sciences*"<sup>11</sup>. Il est le premier savant à introduire une méthode expérimentale moderne, celle qui sera préconisée, deux siècles plus tard, par Claude Bernard.

Observations : Galilée observe que des corps de différentes matières, lâchés librement du haut de la tour de Pise, ont le même mouvement et arrivent au même moment au sol. Jusqu'à cette époque on pensait que plus un corps était lourd plus il tombait vite. D'autre part, il constate que la vitesse du corps augmente au cours du mouvement.

Hypothèse : A partir de ces observations il fait d'abord une première hypothèse qui s'avère fausse :

*La vitesse du mobile est proportionnelle au chemin parcouru.*<sup>12</sup>

Puis il suppose que la vitesse augmente linéairement en fonction de la durée de la chute. Pour vérifier cette hypothèse et obtenir la loi de la chute des corps, il procède à l'expérience.

Expérience & Résultats : La chute d'un corps, dont la trajectoire est verticale, est trop rapide. Galilée eut alors l'idée d'utiliser des plans inclinés et de faire rouler des billes le long d'une rainure.

A-t-on la même loi en lâchant une bille du haut d'une tour puis en la faisant rouler le long d'un plan incliné ? En faisant varier l'inclinaison du plan il constata que :

---

<sup>10</sup> Claude Bernard (1813-1878) médecin français. Il est considéré comme le fondateur de la médecine expérimentale.

<sup>11</sup> Galileo Galilei : *Discorsi e Dimostrazioni matematiche intorno a due nuoue scienze*

<sup>12</sup> Montrer que dans ce cas, la distance parcourue est une fonction exponentielle du temps.



« Les degrés de vitesses acquis par le même mobile sur des plans diversement inclinés sont égaux lorsque les hauteurs des plans le sont »<sup>13</sup>.

Il peut alors procéder à l'*expérience*, mais comme il ne peut pas mesurer la vitesse du mobile à un instant donné, il se propose de relever les distances parcourues en fonction du temps mis à les parcourir :

« Dans une règle, ou plus exactement dans un chevron de bois, long d'environ douze coudées<sup>14</sup>, large d'une demi-coudée et épais de trois doigts, nous creusions un petit canal d'une largeur à peine supérieure à un doigt, et parfaitement rectiligne ; après avoir garni d'une feuille de parchemin bien lustrée pour le rendre aussi glissant que possible, nous y laissions rouler une boule de bronze très dure, parfaitement arrondie et polie. Plaçant alors l'appareil dans une position inclinée, en élevant l'une de ses extrémités, d'une coudée ou deux au-dessus de l'horizon, nous laissions, comme je l'ai dit, rouler la boule en notant (...) le temps nécessaire à une descente complète ; l'expérience était commencée plusieurs fois afin de déterminer exactement la durée du temps, mais sans que nous découvrissions jamais de différence supérieure au dixième d'un battement de poulx<sup>15</sup>. La mise en place de cette première mesure étant accomplie, nous faisons descendre la boule sur le quart du canal seulement : le temps mesuré était toujours rigoureusement égal à la moitié du temps présent. Nous faisons ensuite varier l'expérience en comparant le temps requis pour parcourir sa moitié ou les deux-tiers, ou les trois-quarts, ou toute autre fraction ; dans ces expériences répétées une bonne centaine de fois, nous avons toujours trouvé que les espaces parcourus étaient entre eux comme les carrés des temps, et cela, quelle que soit l'inclinaison du plan, i.e., du canal dans lequel on laissait descendre la boule »<sup>13</sup>.

Galilée ne disposait pas de chronomètres, les horloges mécaniques, du début du XVII<sup>ème</sup> siècle, n'étaient pas adaptées à la mesure des durées aussi courtes. Pour mesurer le temps, il fit construire une clepsydre formée d'un réservoir rempli d'eau dont la surface est très grande par rapport à celle d'un orifice à partir duquel l'eau s'échappe pour être recueillie dans un récipient<sup>16</sup>. La durée de cet écoulement est égale à celle du mouvement dans le plan incliné. La mesure de cette durée est déterminée à partir de la pesée de la masse d'eau recueillie.

« Quant à la mesure du temps, nous la fîmes à l'aide d'un grand seau plein d'eau d'où sortait, par un fin tuyau soudé sur le fond, un mince filet d'eau reçu dans un petit verre durant tout le temps de la descente de la boule. Les quantités d'eau recueillies étaient pesées chaque fois sur une balance

---

<sup>13</sup> Galilée, *Discours* ..

<sup>14</sup> La **coudée** (*lat. cubitus*) est une unité de longueur vieille de plusieurs milliers d'années. Elle a comme base la longueur allant du coude jusqu'à l'extrémité de la main. C'est la coudée, dite naturelle, de 24 doigts (= 6 paumes ou 1½ pieds). Elle correspond donc à 45 cm environ.

<sup>15</sup> Galilée procède de la même façon qu'un étudiant qui manipule, actuellement, dans une salle de Travaux pratiques. Il donne la précision avec laquelle il obtient ses résultats, celle-ci est de l'ordre du dixième de seconde.

<sup>16</sup> La loi de Torricelli, relative à la vidange d'un bassin, était connue. Torricelli (1608-1647) et Galilée (1564-1642) ont vécu à la même époque.

très exacte donnant par la différence et proportion de leurs poids la différence et proportion des temps »<sup>13</sup>.

Les résultats, obtenus à partir de cette expérience, montrent que les espaces parcourus par le corps sont proportionnels au carré des temps mis à les parcourir<sup>17</sup>.

**Interprétation & Conclusion.** Ces résultats étant valables quelque soit l'inclinaison du plan, ils sont donc valables lorsque l'angle formé par le plan et l'horizon tend vers un angle droit. Par conséquent les corps lâchés du haut de la tour de Pise tombent suivant un mouvement uniformément accéléré. L'*interprétation* des résultats de toutes ses expériences, celles de la tour de Pise, du pendule, du plan incliné, permet à Galilée d'énoncer, en *conclusion*, la loi de la chute des corps.

### Réplication de l'expérience de Galilée

L'expérience de Galilée, sur le plan incliné, a été refaite, par deux étudiants, dans le cadre de leur mémoire de Licence. Les résultats, qu'ils ont trouvés lors de cette réplication de l'expérience de Galilée <sup>18</sup> (figure de la Planche I. 2), montrent que les espaces parcourus  $x$  par la bille le long du plan incliné, sont proportionnels au carré des masses d'eau  $M$  recueillies à la sortie de la clepsydre. Ces masses d'eau sont pesées à l'aide d'une balance construite par les étudiants. Ces derniers ont fait réaliser, par un artisan menuisier, une poutre en bois d'acajou de 523 cm de longueur, 30 cm de hauteur et 5 cm de largeur, l'épaisseur de la rainure est 2 cm. L'ensemble repose sur trois colonnes de bois conçues pour avoir des inclinaisons différentes. La clepsydre est constituée d'un bassin en cuivre de 50 cm de diamètre, fabriqué par un dinandier (voir la photographie de la Planche I. 1).

## 3. LES SCIENCES & LA TECHNOLOGIE.

### 3.1. Les Mathématiques.

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

Les concepts introduits en mathématiques sont des objets abstraits bien que certains d'entre eux aient été conçus 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 bâchettes.

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 mathématiques se présentent actuellement comme une science purement intellectuelle qui fait intervenir des objets abstraits.

---

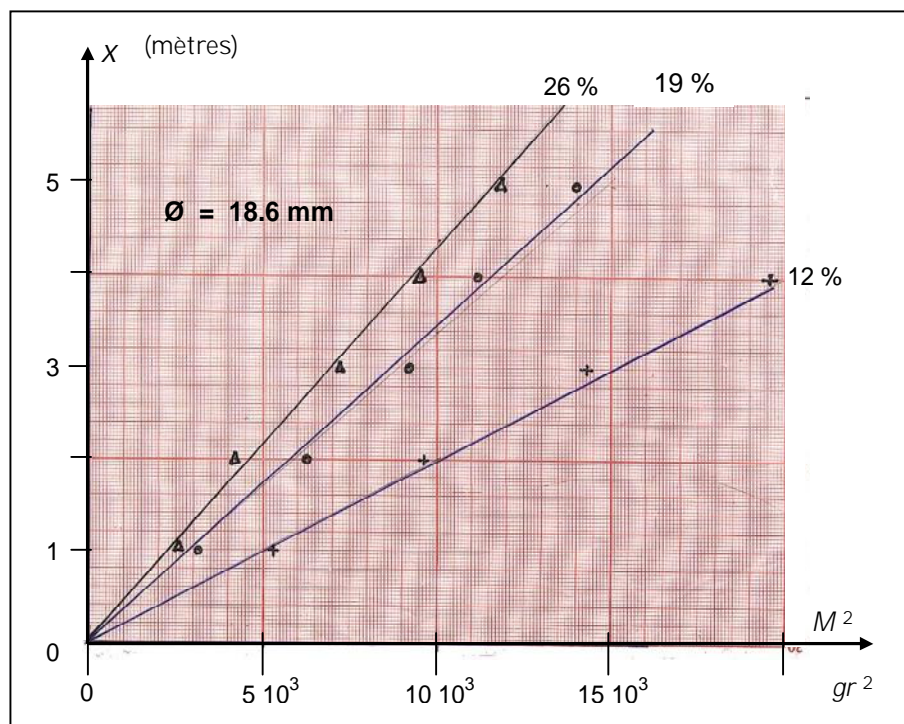
<sup>17</sup> L'étalonnage de la clepsydre permet de trouver la loi :  $M = f(t)$ .  $M$  est la masse d'eau recueillie.

<sup>18</sup> Dans une deuxième partie de leur mémoire, les étudiants ont refait ces expériences en utilisant une caméra reliée à un micro ordinateur.. Ils ont constaté une bonne concordance entre les résultats obtenus par les deux méthodes.

## Réplication de l'expérience de Galilée

Mémoire de Licence de Physique 2007- 2008.

L'expérience du plan incliné de Galilée a été refaite par les étudiants Smaïl Bouhadda et Christian Kwissanga. Les dimensions du dispositif et le protocole expérimental ont été strictement respectés.



Variation de  $x$  en fonction de  $M^2$

Le mode de raisonnement principalement utilisé est par conséquent la déduction<sup>19</sup>. La proposition de départ est un *postulat* (ou *axiome*), le cinquième<sup>20</sup> postulat d'Euclide par exemple, dont la formulation moderne est :

*Par un point extérieur à une droite, on peut mener une parallèle et une seule à cette droite.*

La proposition finale, la *conclusion*, contient des résultats nouveaux par rapport à ceux de la proposition de départ. L'opération, par laquelle une proposition est établie à partir d'une autre est, par définition, la *démonstration*. Un postulat n'est pas nécessairement suggéré par la réalité. C'est le cas des géométries non euclidiennes : Lobatchevski pose :

*Par un point extérieur à une droite, on peut mener plusieurs parallèles à cette droite,*

et Riemann :

*Par un point extérieur à une droite, on ne peut mener aucune parallèle à cette droite."*

On emploie parfois d'autres modes de raisonnement, comme l'induction<sup>21</sup> et l'analogie<sup>22</sup>.

En mathématiques on utilise aussi le raisonnement par l'absurde<sup>23</sup> : 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 <sup>24</sup>.

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, c'est le cas de 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 études en mécanique.

---

<sup>19</sup> Voir Annexe I

<sup>20</sup> Le cinquième postulat correspond au 11<sup>ème</sup> axiome des "éléments" d'Euclide.

<sup>21</sup> Le raisonnement par récurrence est un raisonnement par induction (voir Bendaoud "Epistémologie & Histoire de la Physique" Ch III)

<sup>22</sup> Exemple : La représentation géométrique des nombre complexes par Argand (voir Bendaoud Ch IV)

<sup>23</sup> Dans les "Eléments" Euclide démontre par l'absurde le théorème qui dit que : "Il existe une infinité de nombre premiers".

<sup>24</sup> On a essayé en vain de démontrer, par l'absurde, le cinquième postulat d'Euclide. .

### 3.2. La Physique.

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 de nombreuses 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 concepts<sup>25</sup> la masse et la charge électrique. 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<sup>26</sup>.

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 <sup>27</sup>.

Le physicien a besoin, par conséquent, de deux outils :

- les mathématiques
- et les instruments d'observation et de mesure.

Aussi ce n'est qu'à partir du XVII<sup>ème</sup> siècle, lorsque ces deux outils furent perfectionnés que la physique moderne, c'est-à-dire la physique telle nous la concevons actuellement, a démarré.

La physique étant une science expérimentale, il est évident que de nombreuses théories ont été élaborées à partir d'un raisonnement par induction. D'autres théories, comme la relativité par exemple, ont été déduites à partir de postulats. Le raisonnement par analogie est souvent utilisé en physique comme outil heuristique ; il permet de découvrir de nouvelles lois à partir de lois connues. (Voir le cours de *S6''Epistémologie & Histoire de la Physique''* EHP)

Dans la préface de leur cours de physique générale, les physiciens américains Alonso & Finn écrivent<sup>28</sup> :

“ 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 ”.

<sup>25</sup> Ces deux concepts interviennent à l'échelle macroscopique, à l'échelle microscopique, les physiciens ont introduit d'autres concepts : spin, parité etc..

<sup>26</sup> Voir le cours d'*Electricité*, Physique 2 , Ch I Annexe I pages 39-40. usthb.dz Faculté de Physique.

<sup>27</sup> Einstein : *Conceptions scientifiques* page 78

<sup>28</sup> ALONSO Marcello & FINN Edward *Physique Générale* 3 tomes Traduction M. Daune, Edition du Renouveau Paris1970 ( Tome 1 page vii “ avant propos”).

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, Archimède, Ibn al Haytham, Newton, Leibnitz, Descartes, Gauss, 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.

### **3.3. La Chimie.**

La chimie est une science de la matière qui étudie la constitution des corps et leurs interactions. Le mot chimie vient de l'arabe " Al kimya" qui a donné le mot "alchimie". Le terme arabe proviendrait du grec "chémia" qui désigne l'Egypte ou terre noire<sup>29</sup>.

La chimie et la physique sont, toutes les deux, des sciences de la matière. Qu'est-ce qui distingue, alors, ces deux disciplines ?

D'abord la physique étudie, en plus, l'espace et le temps et par conséquent le mouvement et les causes du mouvement. En ce qui concerne la matière, la distinction, entre ces deux disciplines, n'est pas très nette<sup>30</sup>, en effet toutes les deux étudient la structure et les changements d'état de la matière, mais le chimiste s'intéresse surtout au changement de structure moléculaire des corps matériels lors de leur interaction. Les atomes, qui forment les molécules des corps mis en présence, se recombinent, au cours de la réaction chimique, pour former d'autres molécules et donner de nouveaux corps après la réaction.

La chimie, en tant que science basée sur l'expérience, la mesure et le raisonnement est née au milieu du dix huitième siècle<sup>31</sup> avec Boyle, Lomonossov et Lavoisier. En réalité, la chimie est apparue dès la maîtrise du feu qui a permis le travail des métaux : l'âge du bronze (alliage de cuivre et d'étain) 2000 ans avant J.C., l'âge du fer 700 ans avant J.C. Puis, dans l'antiquité, les mésopotamiens, les chinois et les grecs vont faire des hypothèses sur la composition de la matière<sup>32</sup>. C'est à la fin de l'antiquité, en Egypte, que va naître l'Alchimie, "science" liée à des pratiques religieuses. L'alchimie va se développer au moyen âge, en Pays d'Islam et en Europe. Elle aura pour principal but la transmutation des métaux, c'est à dire la transformation d'un métal ordinaire en un métal noble (l'argent ou l'or) et la fabrication d'élixirs : le médicament universel, l'eau de jouvence etc.

La chimie, science expérimentale, est basée essentiellement sur la méthode inductive comme nous le verrons par la suite. Le raisonnement par analogie

---

<sup>29</sup> De La Cotardière *Histoire des sciences* page 301.

<sup>30</sup> C'est la raison pour laquelle, au lycée, c'est le même enseignant, le professeur de physique - chimie, qui prend en charge ces deux matières.

<sup>31</sup> Certains historiens des sciences pensent que la chimie a commencé au dix septième siècle avec le savant irlandais Robert Boyle, (Voir Ch IV, § 5)

<sup>32</sup> Voir le chapitre II : l'hypothèse des cinq éléments des chinois, celle des quatre éléments d'Empédocle et la "théorie atomique" introduite par Leucippe de Milet et Démocrite d'Abdère.

est également utilisé en chimie. En effet le premier tableau périodique des éléments chimiques a été établi, en 1869, par le chimiste russe Dimitri Mendeleïev. Il a classé les éléments dans l'ordre croissant de leurs masses atomiques de telle sorte que les éléments présentant des *analogies* se trouvent dans une *même colonne*

La chimie est étroitement liée aux autres sciences : la physique, la biologie, la géologie, la médecine, etc. D'un autre côté, la chimie a trouvé de nombreuses applications industrielles : la métallurgie, les industries textiles, agro-alimentaires, pharmaceutiques, la fabrication des colorants, des matières plastiques, des pneumatiques, des explosifs etc.

### 3.4. L'Astronomie.

L'astronomie est, par définition, la science des astres. C'est la plus ancienne des sciences, l'homme a observé le ciel depuis la préhistoire et s'est intéressé aux mouvements diurne et annuel du soleil, aux différentes phases de la lune, et aux figures formées par les étoiles qui demeurent fixes sur la voute céleste. On a retrouvé des dessins de constellations (grande ours, petite ours) gravés sur la pierre datant de plusieurs milliers d'années.

L'astronomie était liée aux pratiques religieuses, les astres étant considérés comme des divinités. Dans la mythologie égyptienne, Râ était le dieu soleil.

Longtemps les astronomes ont pratiqué, en parallèle avec leur science, l'astrologie. Celle-ci, considérée actuellement par les astronomes comme une fausse science, a pour but de prédire l'avenir à partir de l'observation de la position des planètes dans le ciel. Certains astronomes ont continué, bien qu'ils n'y croyaient pas, à dresser des horoscopes afin d'avoir les ressources nécessaires pour poursuivre leurs travaux scientifiques.

L'astronomie a permis, dès l'antiquité, de développer la navigation, de dresser des calendriers, de construire des instruments d'observation puis, à partir du dix huitième siècle, de définir les unités de mesures de longueur et de temps. Le mètre étalon est défini à partir de la longueur du méridien terrestre et la seconde à partir de l'année tropique<sup>33</sup>.

Les observations astronomiques de Tycho Brahé ont été à l'origine des lois sur le mouvement des planètes, lois qui ont amené Newton à élaborer la théorie de la gravitation, l'une des grandes théories de la physique. L'astronomie a donné naissance à la trigonométrie qui, par la suite, est devenue une branche des mathématiques<sup>34</sup>.

### 3.5. La technologie.

Définitions.

*" Les techniques sont des procédés de création d'outils et d'équipements permettant de fabriquer des objets nécessaires à l'homme"* alors que la technologie est *" la discipline qui étudie les différentes techniques"*.

---

<sup>33</sup> Année tropique : Voir Ch. II § 1.2. Actuellement le mètre est défini à partir de  $c$ , vitesse de la lumière dans le vide. *"Le mètre est la distance parcourue par la lumière dans le vide pendant 1/c seconde"*. La seconde est définie à partir de la période d'oscillation du Césium 133.

<sup>34</sup> Voir chapitre III § 1.4.

Ainsi la découverte des techniques pour tailler et polir la pierre a permis, à l'homme de la préhistoire, de fabriquer des outils pour chasser, se défendre, piler et écraser ses aliments. De même, les procédés pour enflammer du bois lui ont permis de cuire la viande, de se chauffer, de s'éclairer et de procéder à la fusion de certains métaux.

Maurice Daumas<sup>35</sup> distingue quatre grandes étapes dans l'histoire des techniques :

- L'étape archaïque recouvre la préhistoire et l'antiquité.
- L'étape traditionnelle s'étend du début du moyen âge au milieu du dix huitième siècle.
- L'étape classique correspond à la révolution industrielle et a duré deux siècles. Au cours de cette période, la technologie a largement bénéficié des grandes découvertes scientifiques.
- Enfin l'étape scientifique commence au milieu du vingtième siècle. Les découvertes en technologie résultent, à présent, de recherches scientifiques menées par des chercheurs professionnels<sup>36</sup>.

### Sciences & Technologies.

Comme nous venons de le voir, les rapports entre la science et la technologie sont très étroits et remontent à l'antiquité. Historiquement les techniques ont précédé la science ; l'homme a inventé l'outil (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 alors que son étude, en statique, n'a été faite que deux mille ans plus tard par Archimède.

Les techniques de fusion des métaux, du travail du verre, de distillation, de fabrication de parfums, de teintures, de médicaments etc ont précédé la naissance à la chimie

L'invention de la machine à vapeur par Denis Papin à la fin du XVII<sup>ème</sup> siècle, perfectionnée par Newcomen et utilisée dans le pompage des eaux dans les mines de charbon, a précédé les travaux de Carnot, de Joule et des autres thermodynamiciens du XIX<sup>ème</sup> 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, la physique et la chimie en particulier, aura progressé. La plupart des grandes découvertes en physique et en chimie 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 Hertz 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.

---

<sup>35</sup> Daumas "Les grandes étapes du progrès technique" page 4

<sup>36</sup> Le programme du L1 est limité aux deux premières étapes et à la moitié de la troisième : le XVIII<sup>ème</sup> siècle.



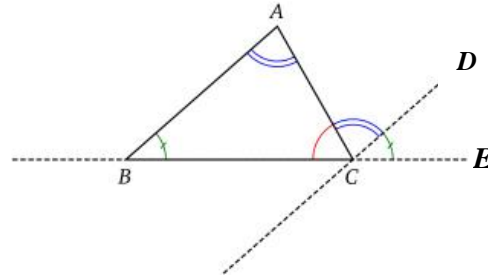
## Annexe I : Exemple d'un raisonnement par déduction en mathématiques.

Le tableau synoptique, ci-dessous, montre comment Euclide a démontré, par déduction, le théorème qui dit que : *La somme des angles d'un triangle est égale à deux droits* (Proposition N°32)

Euclide commence par déduire du 5<sup>ième</sup> postulat (axiome 11) la proposition 29 qui dit que : *Les angles alternes, formés par une droite qui coupe deux parallèles, sont égaux entre eux.*

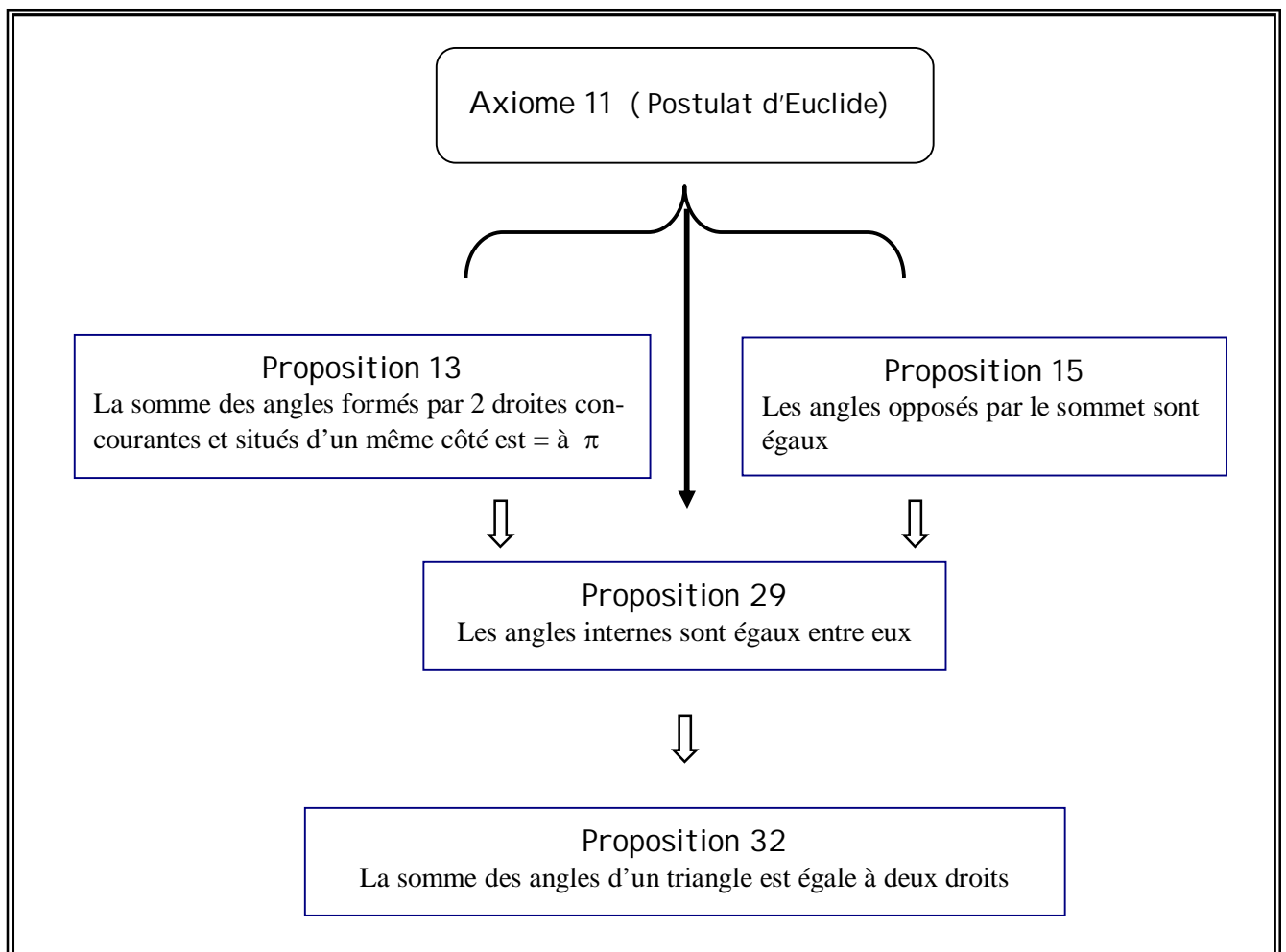
Puis il démontre la proposition 32 :

Traçons la parallèle à la droite  $AB$  passant par  $C$ .  $AB$  et  $CD$  étant parallèles, les angles  $BAC$  et  $ACD$  sont égaux, en vertu de la proposition 29.



De la même façon on a :  $ABC = DCE$ .

Or  $BCA + ACD + DCE = 180^\circ$  (Prop 13) donc  $BCA + BAC + ABC = 180^\circ$  CQFD



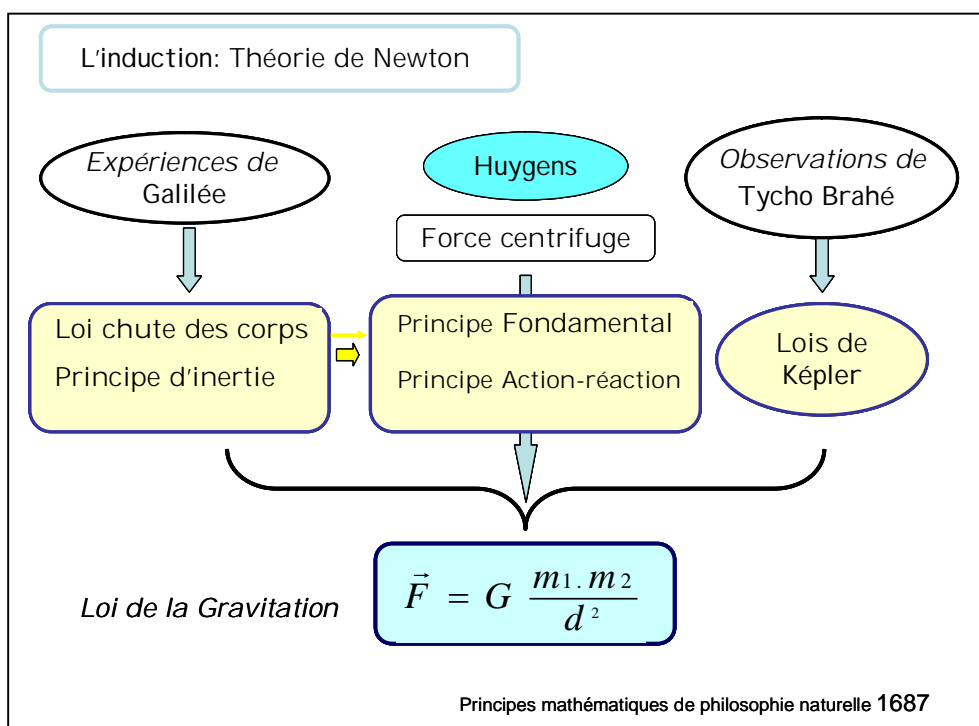
## Annexe II : Exemple d'un raisonnement par induction en physique.

**Théorie de Newton :** Les trois principes de la dynamique, tels que les a formulés Newton dans les "Principia", résultent de l'observation et de l'expérience. Newton reprend le principe de l'inertie qu'il attribue à Galilée :

*Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque force n'agisse sur lui et ne le contraigne à changer d'état<sup>37</sup>.*

Il énonce ensuite le principe fondamental de la dynamique :

*Les changements qui arrivent dans le mouvement sont proportionnels à la force motrice et se font dans la ligne droite dans laquelle cette force a été imprimée<sup>37</sup>.*



Quant au Principe de l'action et de la réaction,

*L'action est toujours égale et opposée à la réaction, c'est-à-dire que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales et dans des directions contraires<sup>37</sup>*

il l'a tiré de l'observation.

*" Si un cheval tire une pierre par le moyen d'une corde, il est également tiré par la pierre, car la corde, qui les joint et qui est tendue des deux côtés, fait un effort égal pour tirer la pierre vers le cheval et le cheval vers la pierre<sup>37</sup>. "*


Pour trouver la loi de la gravitation, Newton a utilisé tous ces résultats, la loi de la chute des corps, la force centrifuge introduite par Huygens et surtout les trois lois de Kepler, elles mêmes tirées des observations de l'astronome Tycho Brahé.

<sup>37</sup> Newton : Principes ..

### Annexe III : La numération.

Il existe différents systèmes de numération de bases : 10, 20, 60....  
et deux méthodes pour écrire un nombre : La méthode additive et la notation de position.

#### Système décimal

	<b>un</b>
	<b>dix</b>
	<b>cent</b>
	<b>mille</b>
	<b>dix mille</b>
	<b>cent mille</b>
	<b>un million</b>



















#### La méthode additive : Exemple de l'Egypte.

On utilise, pour les unités, dizaines, centaines etc., un symbole différent, puis on les additionne pour lire le nombre formé.

Dans la numération égyptienne, (voir ci-contre) les unités sont représentées par un bâton, les dizaine par une anse de panier, les centaines par un rouleau, les milliers par une fleur de lotus, puis un doigt, etc.. La façon de disposer les symboles est arbitraire et répond à l'esthétique. Cette méthode ne nécessite pas l'utilisation du zéro.

Exemples 2964 et 600



	<b>un</b>	
	<b>deux</b>	
	<b>trois</b>	
	<b>quatre</b>	
	<b>cinq</b>	
	<b>six</b>	
	<b>sept</b>	
	<b>huit</b>	
	<b>neuf</b>	

#### La notation de position : Exemple de la Chine. (SOUTIF page 38)

On utilise 9 symboles (chiffres) dont la valeur dépend de la position qu'ils occupent dans l'écriture du nombre: les unités à droite, puis en allant vers la gauche : les dizaines, centaines etc.. Les chinois utilisaient le système décimal avec les 9 chiffres ci-contre, ceux de la 1<sup>ière</sup> colonne pour les unités, centaines etc.. ceux de la seconde pour les dizaines, milliers, centaine de milliers etc.. Il n'y a pas de zéro. Si le nombre comporte un zéro, on saute une position, le problème se pose lorsque le ou les zéros se placent à la fin du nombre. Exemples :

2793 (chiffres arabes) s'écrit :  et 604 s'écrit : 

Alors que le chinois s'écrit verticalement du haut vers le bas, les nombres s'écrivent horizontalement.

Système latin : Les romains ont utilisé la méthode additive avec des relais aux multiples de 5 , les symboles sont des lettres de l'alphabet latin:

I : 1, V : 5, X : dix, L : 50, C : 100, D : 500, M : 1000

Exemple : MM DCC XC III : 2793 et DC IV : 604

Système grec : Les grecs ont utilisé les lettres de leur alphabet pour représenter les unités, puis à chaque dizaine correspond une nouvelle lettre et il en est de même pour les centaines (voir le tableau ci-dessous). Ainsi, il n'y a aucune difficulté à représenter un nombre compris entre 0 et 999 ; il suffit d'utiliser trois lettres. Pour distinguer, dans un texte, le nombre, on le surmontait d'un trait :

$\alpha : 1$	$\iota : 10$	$\rho : 100$
$\beta : 2$	$\kappa : 20$	$\sigma : 200$
$\gamma : 3$	$\lambda : 30$	$\tau : 300$
$\delta : 4$	$\mu : 40$	$\mu : 400$
$\varepsilon : 5$	$\nu : 50$	$\phi : 500$
$: 6$	$\xi : 60$	$\chi : 600$
$\zeta : 7$	$\omicron : 70$	$\psi : 700$
$\eta : 8$	$\pi : 80$	$\omega : 800$
$\theta : 9$	$: 90$	$: 900$

604 s'écrit :  $\overline{\chi\delta}$

Le problème se pose pour les grands nombre. Pour représenter les nombres 1000, 2000, .... 9000, on écrivait les lettres des unités précédées d'une virgule ou d'une apostrophe :

, $\alpha$  ou ' $\alpha : 1000$ , ' $\beta : 2000$ .....' $\theta : 9000$

Pour les grands nombres on utilisait les symboles :

$\overset{\circ}{M}$      $\overset{\gamma}{M}$

Ce système, très compliqué, a néanmoins permis à Archimède de trouver une bonne valeur de  $\pi$

### Système sexagésimal

Exemple de la Mésopotamie :



Les Mésopotamiens utilisaient un système de numération de base 60 : Le nombre est alors décomposé en puissances de 60. Exemple :

$$12\,793 = 3 \times (60)^2 + 33 \times (60) + 13.$$

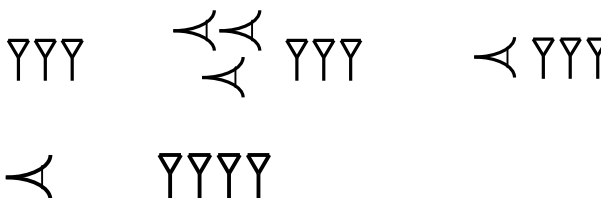
Pour écrire un nombre, on utilisait un système mixte faisant appel à la méthode additive et à la notation de position :

Le "chiffre" des unités est placé à droite puis, en allant vers la gauche, celui des "soixantaines, puis celui qui multiplie  $(60)^2$  etc.. : c'est une notation positionnelle .

Le système additif intervient lors de l'écriture du "chiffre", on utilisait alors 2 symboles ci-contre:

	Un clou vaut 1
	Un chevron vaut 10

Ainsi, dans ce système 12 793 et 604 s'écrivent respectivement :



N.B. Au premier nombre, on peut faire correspondre, actuellement, la mesure d'une durée de :  
3 heures 33 minutes et 13 secondes

Il existe d'autres systèmes de numération : Le système vigésimal, de base 20, utilisé par les Mayas, Le système binaire, de base 2, employé en informatique.