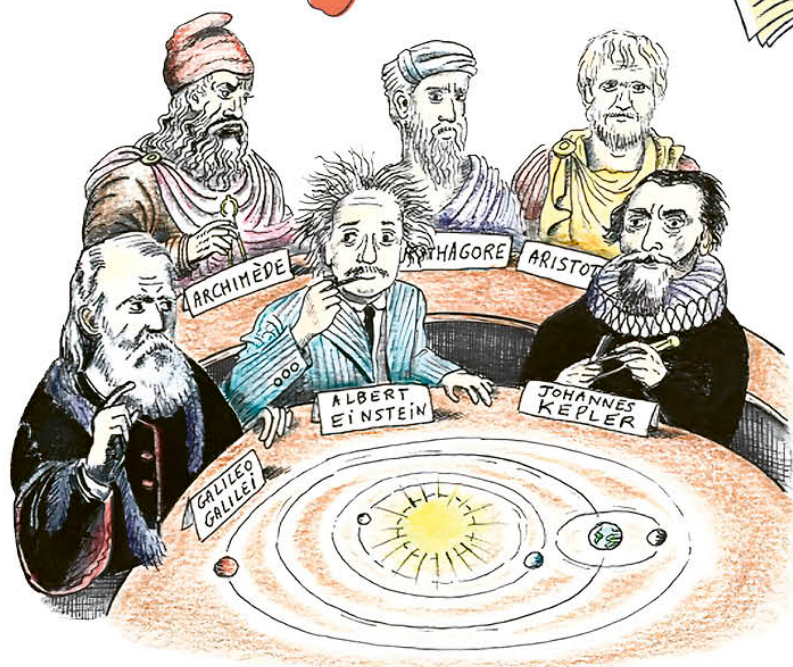




Une histoire de **LA PHYSIQUE** en 70 questions

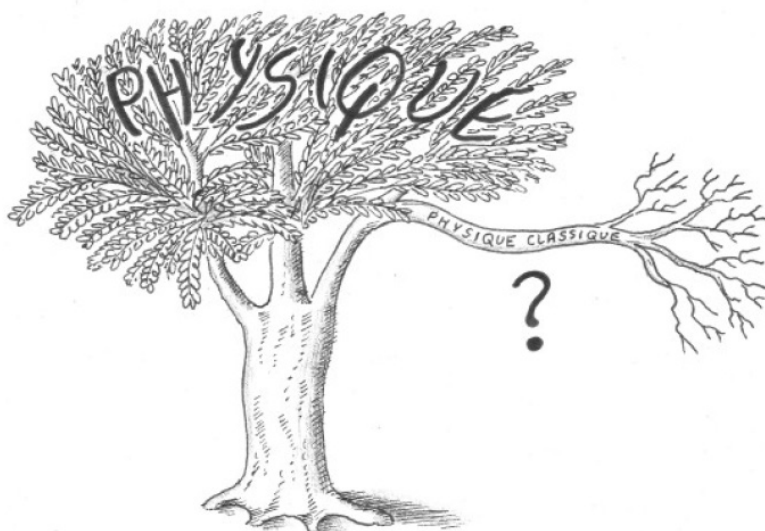


Quentin Jopek

Illustrateur : Nicolas Jambon



POUR COMMENCER



1 Qu'est-ce que la physique classique ?

D'aucuns pourraient croire que la physique classique est une branche démodée, trop vieille, voire même ennuyeuse de la physique. Il n'en est rien ! On appelle couramment « physique classique » l'ensemble des connaissances scientifiques établies à l'époque des deux premières révolutions industrielles. C'est cette même physique que l'on apprend aujourd'hui à l'école.

Si les Hommes ont de tout temps réfléchi au fonctionnement du monde qui les entourait, l'époque de la Renaissance fut la première période propice au développement scientifique. En effet, le développement des moyens de communication et de transport a facilité les échanges entre savants.

La physique classique regroupe trois différents domaines :

- (I) La mécanique est l'étude du mouvement d'un objet et des forces qui s'exercent sur lui. Elle est aussi connue sous le nom de « mécanique newtonienne », en référence à **Isaac Newton** (1642-1727) et ses travaux sur la gravitation universelle.
- (II) La thermodynamique se penche sur les échanges thermiques et mécaniques. Des scientifiques tels que **Sadi Carnot** (1796-1832) et **Rudolf Clausius** (1822-1888) sont connus pour leurs apports, entre autres, dans le domaine des machines thermiques.
- (III) L'électromagnétisme regroupe à la fois l'étude des phénomènes électriques et magnétiques, mais aussi celle du comportement de la lumière. Suite aux travaux menés par **Michael Faraday** (1791-1867) sur l'induction électrique, **James Clerk Maxwell** (1831-1879) parvint, notamment grâce à ses compétences développées en mathématiques, à unifier les phénomènes magnétiques et électriques dans les années 1860. On connaît de nos jours ses quatre équations qui décrivent le comportement des phénomènes électromagnétiques.

D'après certains savants du début du xx^e siècle, toutes les découvertes et théories étaient d'ores et déjà établies. « Le monde est aujourd'hui sans mystère » annonçait **Marcellin Berthelot** (1827-1907) dans ses *Origines de l'alchimie*. **William Thomson** (1824-1907) se réjouissait des progrès de la science, avançant même que l'ensemble des problèmes scientifiques étaient résolus. Deux problèmes persistaient néanmoins et restaient sans réponse. L'un d'eux était le problème du corps noir. Pourquoi une barre de métal chauffée émet-elle de la lumière ? Allant à l'encontre de ses convictions scientifiques, **Max Planck** (1858-1947) proposa en 1900 ses résultats de recherche et introduisit les quanta

d'énergie. Il formula ainsi les bases de la physique quantique, qui essaye d'apporter des réponses là où la physique classique ne peut s'appliquer.



Un mètre a-t-il toujours mesuré la même longueur ?

Depuis l'Antiquité, les différentes civilisations peuplant la surface de la Terre ont eu besoin de mesurer des phénomènes ou bien des objets qui les entouraient. Chacune d'elles a alors choisi ses propres « références de mesure », ce que l'on appellerait communément un « **étalon** ». Cependant, les étalons n'étaient pas toujours équivalents en fonction des populations, notamment ceux basés sur le corps humain : la main, le pouce, la coudée, le doigt ou bien encore le pied romain. Ce dernier avait une valeur légèrement différente en Grande Bretagne, en Afrique ou bien même encore à Rome. Cela pouvait s'avérer être problématique. Lorsqu'**Ératosthène** (276-194 av. J.-C.) évalua le premier la valeur du rayon terrestre, il utilisa un chameau pour compter ses pas. Il estima à 5 000 stades égyptiens la distance Syène-Alexandrie. Cependant, un stade olympique ne vaut pas la même longueur qu'un stade égyptien, ni même qu'un stade de huit-au-mille. Difficile alors de se mettre d'accord !

L'intérêt de choisir un étalon pour mesurer une longueur devrait normalement résider dans le fait que celui-ci ne change pas en fonction du temps ou du lieu où l'on se situe sur Terre. Il aura fallu attendre que les savants de l'époque de la révolution française se rendent compte que ces multiples et différents étalons ne suffisaient plus pour communiquer avec le monde entier.

En 1789, l'académie des sciences appela de tous ses vœux à la création d'une unité « universelle » de longueur : le mètre. Cet étalon devait représenter le dix-millionième du quart de méridien terrestre. Qui se porterait alors volontaire pour réaliser ce voyage ? **Pierre Méchain** (1744-1804) et **Jean-Baptiste-Joseph Delambre**

(1749-1822), tous deux mathématiciens et astronomes français, se lancèrent dans cette mission dangereuse en 1792. Il leur suffisait de mesurer la distance Dunkerque-Barcelone pour estimer la valeur du quart de méridien. Pour ce faire, ils se servirent de la méthode de triangulation et utilisèrent un cercle répétiteur. La déclaration de guerre entre la France et l'Espagne en 1793 n'aura pas empêché les deux scientifiques de mener à bien leur mission. En 1799, la première valeur étalon du mètre fut présentée à l'académie des sciences.

Depuis cette époque, la valeur étalon du mètre a de nombreuses fois été modifiée, tentant de se rapprocher d'une valeur la plus fixe possible, c'est-à-dire qui ne changerait pas en fonction de l'expérimentateur. Le bureau international du poids et des mesures, organisme intergouvernemental basé à Paris, s'assure de l'unification et du perfectionnement du système métrique. Aujourd'hui, on définit un mètre comme étant la distance parcourue par la lumière dans le vide pendant une durée de $\frac{1}{299\,792\,458}$ seconde. Cette valeur étalon sera sans doute un jour amenée à changer.

3 Comment mesurer une durée ?

Au bureau, vous êtes en charge de réaliser un diaporama qui présente les résultats de l'année de votre entreprise. Vos collègues, satisfaits de votre travail, vous demandent : « Mais cela t'a pris combien de temps ? ». Hélas, vous leur signifiez que le mot *temps* n'est pas adapté, vous préférez plutôt l'utilisation du mot *durée*. En effet en sciences, on utilise le mot *temps*, synonyme d'*instant*, pour désigner un évènement qui se déroule à une *date* précise. À la date du 2 janvier, on fête les Basile. Le 31 décembre, les Sylvestre. Entre ces deux dates s'est écoulée une durée d'environ 8 712 heures. D'abord en observant des phénomènes périodiques naturels, puis en apprivoisant des phénomènes physiques, les Hommes ont réussi à se repérer... dans le temps !

Les Égyptiens furent les premiers à proposer un découpage de la nuit appelé « décans ». Pour des raisons religieuses, ils décidèrent de diviser le ciel nocturne en trente-six décans. Vers 2100 av. J.-C., les observations ne laissaient apercevoir que douze de ces décans. Les Égyptiens gardèrent donc le découpage de la nuit en douze décans. Ce n'est que vers 1500 av. J.-C. que, sans doute par symétrie, le même découpage fut adopté pour le jour. Ce système perdura jusqu'à la civilisation grecque, qui perfectionna la première version de la clepsydre des Égyptiens. L'observation de l'écoulement d'un fluide permettait de distribuer la parole de manière égale. Un premier vase percé, placé en hauteur, était rempli d'un fluide. Lorsque le bouchon était retiré, le fluide se déversait dans un second vase en contrebas. La fin de l'écoulement du fluide marquait la fin du discours. Ainsi, chaque citoyen était traité de manière identique. Ce fut la première exploitation d'un phénomène physique pour mesurer une durée. L'utilisation de mécanismes n'arriva que des siècles plus tard.

En premier lieu pour faire sonner les cloches des édifices religieux, les premières horloges apparurent au cours du XIII^e siècle. À partir du XV^e siècle elles furent équipées d'une seule aiguille dont le fonctionnement reposait sur les oscillations d'un poids. Ce mouvement permettait à un mécanisme de tourner, entraînant alors l'aiguille sur le cadran. Seulement, cela posait un problème lorsqu'il fallut indiquer l'heure à bord des navires. En effet, avec les mouvements des vagues entraînant le bateau, les oscillations du poids de l'horloge étaient complètement perturbées. En 1737, l'horloger britannique John Harrison réalisa le premier chronomètre à destination des marins. Son invention permit aux navigateurs de mieux se repérer dans l'espace. En effet, en estimant une vitesse et en ayant accès à la durée du voyage depuis le port de départ, on peut accéder à la distance parcourue par le bateau ! Le chemin de fer se développant, avoir à sa portée une horloge puis une montre fut une nécessité afin de ne pas louper son train ! De plus, ces objets devinrent rapidement un signe extérieur de richesse. Le devenir des appareils de mesure de durée connut un tournant au cours du XX^e siècle.

En 1933, les scientifiques utilisèrent les applications de l'effet **piézoélectrique** sur du quartz pour affiner la précision des montres. Lorsque l'on applique une certaine tension à un cristal de quartz, ce dernier se met à vibrer. À une fréquence de 32 768 Hz ce dernier émet une décharge électrique qui est détectée et fait tourner le mécanisme de la montre. À la place de décharges électriques, les horloges atomiques développées en 1947 détectèrent des ondes électromagnétiques émises par le mouvement d'électrons au sein d'un atome. En effet, en absorbant de l'énergie, un électron d'un atome peut devenir excité. En se désexcitant, il restitue l'énergie qu'il avait absorbée sous la forme d'une onde électromagnétique. La première horloge atomique fonctionnait avec de l'ammoniac, puis du rubidium. Le modèle de 1995 fonctionnait quant à lui avec du césium. De nos jours, ces horloges ultra-précises présentent un décalage d'environ une seconde tous les trois millions d'années ! Il faut limiter au maximum le décalage des horloges afin de ne pas dérégler nos appareils qui en dépendent, tels que les GPS. Jusqu'en 1987, le Bureau International de l'Heure, basé à l'observatoire de Paris, était chargé de définir le temps de manière universelle, tout autour du globe. Cette tâche incombe dorénavant au service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence, localisé en Allemagne.

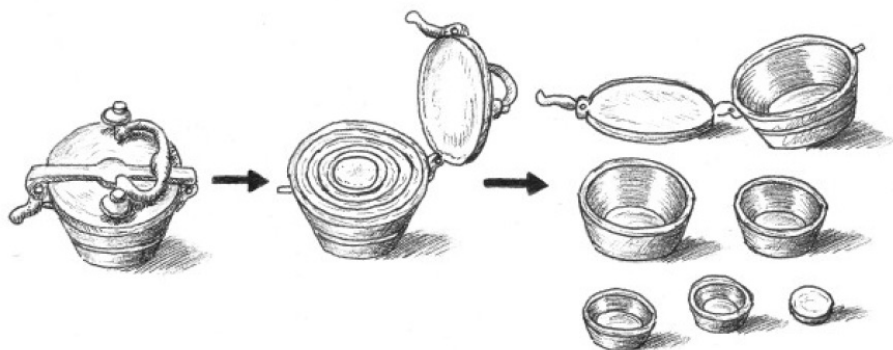


A-t-on encore besoin du talent grec pour mesurer des masses ?

Durant l'automne 2021, une équipe d'archéologues de l'INRAP (institut national de recherches archéologiques préventives) a décidé de mener des fouilles dans un quartier de la ville de Marseille. Parmi les objets révélés lors de leurs travaux, des amphores en céramique attirent particulièrement notre attention. Depuis les prémices de la civilisation grecque (environ 1200 av. J.-C.) jusqu'à la chute de l'empire romain (476 apr. J.-C.), les marchands commerçaient très fréquemment en vendant leurs liquides dans des amphores. Une amphore moyenne pleine

pouvait contenir 33,8 L de liquide. Les Grecs ont donc fixé l'un de leurs étalons de masse sur l'amphore, et l'ont appelé « le talent ». Un talent est environ la masse d'eau nécessaire pour remplir une amphore de 33,8 L. On comprend rapidement la difficulté pour s'assurer d'avoir deux masses identiques avec deux amphores différentes. Les amphores du sud de la Grèce avaient-elles le même volume que celles du nord ? L'étalon semble ne pas être fixe.

En Europe, et plus particulièrement en France, le talent et tant d'autres étalons furent abandonnés avec l'arrivée de Clovis 1^{er} (vers 466-511) roi des Francs. Des autorités étaient alors chargées de vérifier l'uniformité et la conformité des étalons au sein même de la population. Charlemagne introduisit « la livre de douze onces », équivalente aujourd'hui à une masse de 329,10 grammes. Il instaura aussi la « pile de Charlemagne », une suite d'étalons superposables de masses différentes.



On comptait plus de 600 unités de mesures différentes avant la Révolution française ! Pour remédier à cette multitude d'étalons, qui pouvait apporter confusion et rendre difficile la communication scientifique, l'Académie des sciences proposa en 1795 un nouvel étalon commun à l'ensemble des Français et une nouvelle unité de masse : le gramme. Il fut défini comme étant la masse d'un centimètre cube d'eau à la température de 4 °C. Par déduction, le kilogramme devint mille fois la masse d'un gramme, soit la masse d'un décimètre cube d'eau.

En 1889, l'apparition du grand K, plus connu sous le nom de prototype international du Kilo, vint modifier la définition du kilogramme, et par conséquent sa valeur étalon. Le premier grand K a été forgé par le métallurgiste britannique George Matthey. Il s'agit d'un cylindre alliant 90 % de platine et 10 % d'iridium. Si le prototype original est entreposé au Bureau International des Poids et des Mesures à Paris, il existe tout de même une centaine de répliques à travers le monde. En effet, lorsqu'un pays devenait signataire de la Convention du mètre établie en 1875, qui prévoyait la création du bureau international des poids et des mesures et de ce fait reconnaissait le grand K comme étalon du kilogramme, il recevait une version du grand K. Cependant, quelques versions du prototype se sont dégradées au fil des années. Certains ont gagné en masse, quand d'autres en ont perdu.

Depuis 2019, les scientifiques se basent désormais sur un nouvel étalon encore plus précis que le grand K. Il nécessite l'utilisation d'une « balance du watt », aussi connue sous le nom de son inventeur en 1976 : la balance de Kibble. Elle permet de lier une mesure statique (à l'aide de masses) à une mesure électrique (phénomène d'induction). La balance peut se trouver à l'équilibre lorsqu'une certaine masse compense une certaine tension. Ce dispositif a d'ailleurs permis de définir précisément la valeur de la constante de Planck, h . Nous sommes aujourd'hui affranchis du prototype international du Kilo, et sa valeur étalon a gagné en précision. Nous sommes en capacité de définir des masses, dont l'étalon du kilogramme, avec vingt milliards de chiffres après la virgule ! Il en est donc fini du temps des amphores grecques.



Qu'est-ce qu'un prout ?

Le prout est une ancienne unité de mesure qui doit son nom au chimiste britannique **William Prout** (1785-1850). Il est connu dans le domaine de la biologie pour sa classification des molécules en graisses, protéines et glucides. Si son travail porta majoritairement sur la chimie et la biologie, il s'est aussi penché sur la notion de masse atomique.

Pour les contemporains de William Prout, la classification périodique des éléments telle que nous la connaissons aujourd'hui n'existait pas encore. Il fallut attendre la fin du XVIII^e siècle pour que des scientifiques tels qu'**Antoine Lavoisier** (1743-1794) ou **John Dalton** (1766-1844) remettent sur le devant de la scène le modèle de l'atome, et près d'un siècle entier encore pour développer un choix de classification. Lors de ses recherches, William Prout remarqua une concordance entre la masse de l'atome d'hydrogène et celle des autres atomes. Il avança l'hypothèse que la masse des atomes était en fait un multiple entier (1, 2, 3, etc.) de la masse de l'atome d'hydrogène, érigeant ainsi l'hydrogène au rang de particule élémentaire. Si son travail fit avancer les scientifiques sur la compréhension de la structure de l'atome, il n'en demeure pas moins que son hypothèse fut réfutée quelques années plus tard.

En poursuivant son travail sur les atomes et leurs interactions, William Prout proposa un modèle de mesure des énergies de liaison. Il s'agit de l'énergie à apporter pour rompre une liaison entre deux particules. L'ensemble de son travail lui aura valu de recevoir la médaille Copley en 1827. C'est la plus haute et ancienne distinction de la Royal Society, qu'il avait rejointe quelques années auparavant en 1819.

Dans les années 1940, Enos Witmer attribua le nom de « Prout » à une valeur référence d'énergie de liaison trouvée par William Prout. Un prout correspond alors à un douzième de l'énergie de liaison du deutérium (isotope de l'hydrogène qui contient un neutron et un proton). Le nom même de « proton » a été choisi aux dépens de « prouton », proposé en référence au scientifique. Depuis, le prout en tant qu'unité d'énergie a été abandonné au profit du « joule », ou bien encore de « l'électronvolt ».



D'où provient l'unité de mesure de température Fahrenheit ?

Vous avez sans doute remarqué une tendance assez marquée chez nos confrères britanniques à ne pas utiliser les mêmes unités de mesures que celles du système international. C'est aussi le cas

pour une partie des États-Unis, le Canada, ou plus généralement les pays membres de l'ancien empire. Que ce soit pour mesurer des longueurs en « inch » (pouce), des surfaces en « square foot » (pied carré) ou bien encore des volumes en « quart » (1,13 L), le système de mesure anglo-saxon est encore utilisé par les pays qui ont été liés au Royaume-Uni. Le système impérial fut officiellement instauré en 1824 par le *British Weights and Measures Act*. On y retrouve par exemple la mesure de températures en degré fahrenheit.

Daniel Fahrenheit (1686-1736) est le physicien allemand à l'origine de la mise au point de l'unité concurrente au degré Celsius. En 1732, il décida de créer une échelle de température comprise entre deux valeurs symboliques. La température la plus basse de son échelle correspondait à la température de solidification d'un mélange d'eau et de chlorure d'ammonium. Il obtint la valeur de 32 °F. D'autre part, sa température la plus haute correspondait à la température du corps humain, voire aussi celle du sang d'un cheval. Il mesura 96 °F. Une fois sa première échelle établie, il remarqua que l'eau entraînait en ébullition à 212 °F. Ainsi, 32 °F correspond à 0 °C et 212 °F à 100 °C. On doit aussi au physicien allemand l'invention du thermomètre au mercure en 1724.

Qu'entend-on par « démarche scientifique » ?

Lorsque sonne l'heure de remplir et vérifier sa fiche de déclaration de revenus, de nombreux Français optent pour la démarche en ligne. Cette démarche consiste en une succession d'étapes élémentaires (se connecter sur le site internet, vérifier les informations, compléter si des erreurs subsistent, etc.) qui permettent d'aboutir à un résultat final : vous avez correctement déclaré vos revenus. Une démarche scientifique pourrait être vue comme une suite d'étapes élémentaires qu'un scientifique devrait suivre avec rigueur pour s'assurer du bien-fondé de ses résultats ou prévisions. N'existe-t-il pour autant qu'une démarche scientifique ? Ce terme est intimement lié à la pluralité des sciences.

Une classification des sciences¹ distingue en premier lieu les sciences formelles (a) des sciences empiriques (b).

- (a) Les sciences formelles reposent sur des nombres, des valeurs, des figures. Les mathématiques ou bien la logique, ne s'attachent pas nécessairement à des expérimentations sensibles pour valider leurs prévisions.
- (b) Les sciences empiriques reposent de manière prépondérante sur l'expérimentation. La physique, la chimie, la biologie ou bien même la sociologie et l'histoire s'appuient sur des expériences sensibles, des observations de la Nature, des faits passés, pour valider leurs prévisions et établir des lois.

Ensuite, une distinction peut être établie au sein même des sciences empiriques. Les sciences naturelles s'attachent à proposer une description des phénomènes physiques, chimiques et biologiques du monde qui nous entoure, elles s'emploient à ne pas interpréter des observations faites de la Nature par le prisme de la culture personnelle, de coutumes locales ou bien encore de comportements sociaux. Les sciences humaines établissent plutôt des interprétations de phénomènes culturels, sociologiques, sur la base de différentes échelles d'espace et de temps. Si l'on reconnaît et classe différents types de sciences, alors il doit exister plusieurs méthodes scientifiques.

Francis Bacon (1561-1626) peut être considéré comme le père de la méthode scientifique. Il critiqua² les philosophies anciennes, les méthodes employées par les scientifiques de son temps, les accusant de malhonnêteté intellectuelle et d'auto-suffisance ne permettant pas de réelles avancées techniques. Selon lui, la science de son époque n'apportait que des interprétations culturelles aux phénomènes naturels. Il a établi des éléments clefs qui ont posé un premier cadre à une méthode scientifique basée sur l'induction (la compréhension de faits élémentaires permet d'aboutir à la compréhension de phénomènes plus généraux) et la remise en question. Il sera quelques

1. Decauwert Guillaume, *L'épistémologie*, coll. « Apprendre à philosopher avec », éd. Ellipses, Paris, 2017.

2. Bacon Francis, *Novum Organum*, éd. Hachette, Paris, 1843.

années plus tard contredit par **René Descartes** (1596-1652), qui a prôné une approche plutôt déductive des sciences. Un phénomène naturel complexe peut être expliqué à l'aide d'un découpage en plusieurs faits simples. Quatre règles régissaient sa méthode : l'évidence, la décomposition, la déduction et le dénombrement. Cependant, pour étudier des phénomènes naturels, la méthode cartésienne laissait peu de place à l'expérimentation sensible. Isaac Newton se raccrocha davantage à l'observation. Il défendit une méthode scientifique basée sur l'empirisme. Une succession d'observations ou d'expérimentations permet d'aboutir à une loi générale. Cette méthode permettait de se débarrasser des interprétations personnelles des phénomènes physiques généraux, comme le voulait la méthode cartésienne. La méthode empirique de Newton s'inscrit aujourd'hui dans le courant philosophique du positivisme.

Il n'existe donc pas seulement qu'une méthode scientifique, mais il convient de différencier « la » méthode scientifique des méthodes scientifiques. S'attacher à suivre une méthode scientifique permet de s'éloigner de considérations personnelles ou d'interprétations subjectives des faits. Dans notre quotidien, nous sommes tantôt amenés à faire preuve de déduction (i), tantôt à mettre en place des inférences inductives (ii).

- (i) « Si les objets rares coûtent cher et que l'or est rare, alors l'or coûte cher. »

Nous constatons la loi générale suivante : « les objets rares coûtent cher ». Sachant que l'or est rare, la déduction de cette loi est que « l'or coûte cher ».

- (ii) Si l'or est rare et que l'or coûte cher, alors les objets rares coûtent cher.

Nous émettons deux constats élémentaires simples, qui aboutissent par inférence à la loi générale « les objets rares coûtent cher ».



Qu'est-ce que l'effet Matilda ?

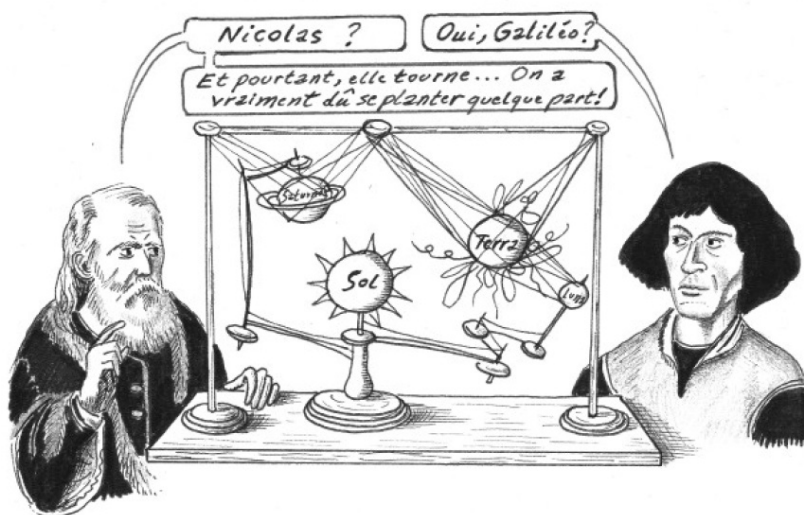
En 1993, l'historienne des sciences **Margaret Rossiter** (1944-ajd) mit un nom sur un phénomène très répandu dans le domaine des sciences. La tendance qu'ont les hommes à s'attribuer les mérites des découvertes de femmes, à minimiser leur contribution, ou même à les invisibiliser, portait désormais le nom d'effet Matilda, en référence à Matilda Joslyn Gage, militante féministe américaine du XIX^e siècle. De nombreuses femmes scientifiques furent invisibilisées et le résultat de leurs travaux attribué à leurs collègues masculins : la biologiste Rosalind Franklin pour la découverte de la forme en double hélice de la molécule d'ADN, Mileva Einstein pour son apport majeur à la théorie de la relativité de son mari **Albert Einstein** (1879-1955). Arrêtons-nous sur le profil de la médecin française **Marthe Gauthier** (1925-2022).

En 1955, Marthe Gauthier fut nommée cheffe de clinique à l'Hôpital Trousseau. Forte d'une expérience britannique d'une année, elle décida de s'intéresser aux « mongols », terme utilisé à l'époque pour décrire les personnes atteintes du syndrome de Dawn (trisomie 21). Suivant les conseils de son supérieur, le professeur Raymond Turpin, Marthe Gauthier se mit à compter le nombre de chromosomes chez des sujets mongols. Quelle ne fut pas sa surprise de découvrir qu'ils en possédaient 47 au lieu de 46. Afin de prouver sa découverte, elle souhaita photographier ces 47 chromosomes. Seulement, son laboratoire ne disposait pas d'appareils assez précis. Jérôme Lejeune, alors collègue de Raymond Turpin, proposa à Marthe Gauthier de changer de laboratoire afin de disposer d'appareils plus performants. En 1958, la scientifique réussit à photographier les 47 chromosomes. Alors en séminaire au Canada, Jérôme Lejeune annonça seul la découverte, et devint le premier signataire des résultats de recherche. En seconde position vint Marthe Gauthier, puis protocolairement Raymond Turpin. Jérôme Lejeune profita seul des retombées : il démarra sa thèse en 1961 sur la trisomie 21, reçut la médaille d'argent du CNRS, le prix Jean-Troy avec Raymond Turpin. La contribution de Marthe Gauthier fut totalement invisibilisée. En 2014, alors que la scientifique devait recevoir le Grand Prix de la Société française

de génétique humaine, la fondation Jérôme Lejeune envoya des huissiers afin de s'assurer que le discours ne « porte pas atteinte à l'honneur » du scientifique. Marthe Gauthier fut alors décommandée, et reçut son prix en privé. Très prégnant à l'époque, l'effet Matilda est toujours d'actualité aujourd'hui. En France, des associations telle que Femmes et Sciences luttent en partie pour mettre en avant le travail de nombreuses scientifiques et ainsi mettre fin aux nombreux processus d'invisibilisation.

CHAPITRE 1

Mécanique



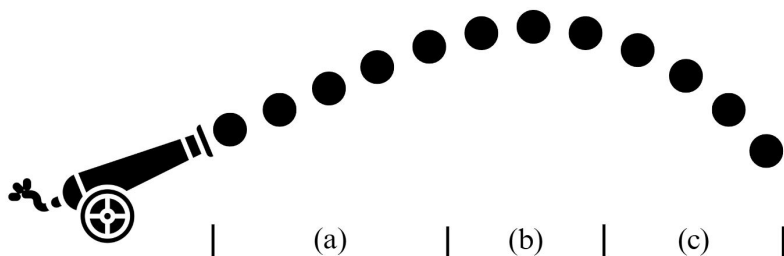


Pourquoi ne faut-il pas confondre vitesse et force ?

Jetez une balle à la verticale au-dessus de votre tête. Si l'objet semble être propulsé au départ, il ralentit peu à peu, pour retomber au sol quelques secondes plus tard. **Aristote** (384-322 av. J.-C.) proposa une explication assez simple de cette expérience. En lançant une balle vers le haut, l'expérimentateur lui confère un mouvement violent. En se déplaçant, la balle crée du vide derrière elle. L'air, tentant de combler ce vide, va pousser la balle vers le haut. Peu de temps après, la balle n'a plus la force de continuer sa trajectoire et finit par retrouver son mouvement naturel qui la fait retomber sur Terre, son lieu d'origine. Si les savants grecs ont rapidement apporté des contradictions à la théorie d'Aristote sur le mouvement des objets, il n'en demeure pas moins qu'aujourd'hui encore, de nombreux enfants ou adultes découvrant le monde qui les entoure confondent les notions de vitesse et de force.

Le Philosophe **Jean Philopon** (490-570) fut l'un des premiers à reprendre les arguments d'Aristote sur le mouvement d'un objet afin d'y corriger quelques affirmations. Selon lui, l'expérimentateur confère bien à la balle un mouvement violent, la chargeant d'une impulsion appelée « impetus ». En montant, la balle et l'air se frictionnent, consommant alors une partie de l'impetus. Au maximum de sa trajectoire, la balle a consommé tout son impetus, et retrouve alors son mouvement naturel dirigé vers le bas. Cette théorie perdura jusqu'au ^{xiv}^e siècle et fut même enseignée à l'Université de Paris. L'impetus trouva un partisan de taille en la personne de **Jean Buridan** (vers 1295-vers 1358) qui défendit ardemment la thèse de Philopon. Il affirma que l'impetus, ou impulsion, était proportionnelle à la vitesse initiale donnée par l'objet, mais aussi à son poids. Ainsi, tant que l'objet n'avait pas consommé la totalité de son impetus, il ne pouvait pas changer de trajectoire et suivre son mouvement naturel. Il s'agissait là, en réalité, des prémices de la formulation de la notion d'inertie ! Les analyses balistiques de Buridan et **Albert de Saxe** (1316-1390) les menèrent à proposer des trajectoires en trois étapes basées sur la consommation de l'impetus. Prenons l'exemple d'un boulet

de canon. Lorsque ce dernier est éjecté du canon, il possède un mouvement violent, et part donc en ligne droite, de manière rectiligne (a). Tout au long de sa trajectoire, les frottements de l'air consomment l'impetus. Il y a coexistence du mouvement violent et du mouvement naturel qui l'attire vers la Terre. Sa trajectoire devient alors courbée (b). Alors, lorsqu'il ne possède plus de mouvement violent, son impetus étant consommé, il va définitivement tomber au sol (c).



Cette théorie fut étudiée par **Leonard de Vinci** (1452-1519), qui émit les premières réserves quant à la trajectoire des projectiles décrite par Buridan et Albert de Saxe. En effet, le savant italien, en étudiant des mouvements de rotation ou encore des tirs de canon, avait du mal à expliquer la phase de coexistence entre mouvement violent et mouvement naturel (b). Comment prévoir lequel des deux l'emportait ? De plus, les modèles se basant sur l'impetus ne permettaient pas de prévoir le lieu de chute des projectiles. Jusqu'au ^{xvii}e siècle, les mathématiques étaient totalement absentes de la balistique. **Tartaglia** (1499-1557) ouvrit la voie à **Galilée** (1564-1642), et ce difficilement, en considérant que la trajectoire d'un boulet de canon ne débutait pas de manière rectiligne, mais était déjà courbée. Galilée nomma cette trajectoire parabole.



La notion d'impetus, mise au point grâce aux premiers travaux d'Aristote, prit alors fin avec l'arrivée de la notion d'inertie. Lorsque l'on tire un boulet de canon, nous lui conférons une vitesse initiale. Si le boulet n'était pas soumis à la force d'attraction de la Terre,