

# 1. Matière et rayonnements:

## Les concepts fondamentaux de la physique

*Atomes et électrons - Mouvement des corps matériels -*

*Ondes de lumière et ondes sonores*

*Quel est notre rapport avec le monde physique?*

**Alain Boudet**

Dr en Sciences Physiques, Thérapeute psycho-corporel, Enseignant

[www.spirit-science.fr](http://www.spirit-science.fr)

**Résumé:** La physique classique décrit le monde environnant en distinguant la matière et les ondes électromagnétiques. La matière est faite d'atomes, eux-mêmes constitués d'un noyau et d'électrons. Vers 1900, la physique semble (presque) entièrement constituée avec des théories puissantes et unificatrices englobant l'ensemble des phénomènes connus: la théorie atomique, la mécanique de Newton, la théorie électromagnétique de Maxwell, et la théorie de l'électron de Lorentz. Selon ces théories, nous vivons dans un monde continu et déterminé. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue qu'il s'agit là de modèles qui sont une fructueuse représentation des phénomènes, en accord avec les mentalités et le contexte historique d'une époque. Ils n'excluent pas d'autres représentations. À toute époque, il y a eu des luttes entre partisans de modèles différents. Contrairement à un cliché répandu, la science ne se construit pas selon une logique paisible, mais est traversée de controverses alimentées par l'émotionnel et les égos. Y compris des abus d'autorité et des dogmes imposés qui font barrage à de nouvelles visions du monde.

### Table des matières

La science physique cherche à donner un sens aux phénomènes de la nature.....	2
La matière est faite d'atomes.....	3
Les théories scientifiques sont bâties sur des modèles.....	5
Les électrons, minuscules constituants de l'atome.....	5
La mécanique mathématique, étude du mouvement des objets dans l'espace.....	7
La lente élaboration des lois du mouvement.....	9
Les rayons de lumière.....	10
Ondulations dans la matière.....	11
Ondes sonores.....	11
Vibrations stationnaires.....	12
Phénomènes vibratoires de la lumière.....	12
La lente élaboration de la théorie ondulatoire.....	14
L'éther, substance de l'espace.....	15
La lumière et les champs électromagnétiques.....	15
Controverses et émotions chez les scientifiques.....	16
Le gâchis des dogmes scientifiques.....	17
Le refus de tenir compte des plans supérieurs de réalité.....	19
Géocentrisme, une connaissance ancienne rendue confuse.....	19
Scientifiques guidés par des visions.....	21
Les rêves sources de nouvelles connaissances.....	21
Les théories sont le produit de leur époque.....	22
Le cadre de la physique aux alentours de 1900.....	22
Les corps matériels suivent le chemin de moindre action.....	23
Article suivant.....	24
En savoir plus.....	24

Voici le premier article d'une série qui vise à **répondre à la demande de ceux et celles que la physique attire, sans pour autant être des spécialistes**. Peut-être éprouvent-ils simplement une sensibilité envers la matière et les forces de la nature? Peut-être se sentent-ils enfants de la Terre et enfants de l'univers?

Beaucoup d'entre vous ont été en contact par le passé avec les concepts de la physique, ceux qui sont enseignés dans les collèges, mais le plus souvent, vous les avez oubliés ou vous ne les avez jamais compris. Vous aviez l'impression qu'on vous parlait en chinois. Si maintenant, attirés par la physique et ce qu'elle vous évoque, vous tentez d'en avoir une nouvelle approche avec un autre regard, il est rare que vous soyez comblés par les textes scientifiques disponibles sur la toile, parce qu'ils sont écrits par des étudiants, ou par des professeurs pour des étudiants, dans un langage incompréhensible pour les non-initiés. J'ai donc été attentif, dans la mesure de mes possibilités, à ce que **les textes de cette série soient rédigés pour celles et ceux qui ne sont pas familiarisés avec la physique**.

Je supposerai que **vos expériences de la physique est plutôt de l'ordre des expériences quotidiennes**: observation des nuages et des étoiles, écoulement de l'eau de vaisselle, déplacement d'une brouette de sable, réalisation d'une peinture, séchage du linge, chute d'un verre sur le plancher, réparation d'une panne d'électricité, réglage du son lors de l'écoute d'un CD sur la chaîne audio, modification d'une image sur l'écran d'un ordinateur...

Dans cette série, je présente les concepts modernes de la physique. Ce sont les concepts qui ont un impact sur notre culture actuelle, ceux qui, sans remonter à la tradition grecque, ont leurs sources dans les études des savants du 17<sup>e</sup> siècle (grosso modo) jusqu'aux visions les plus avancées d'aujourd'hui.

Le discours ambiant fait souvent référence à la physique, sur les chaînes télévisées, sur internet, ainsi que dans les revues, et cela stimule le désir d'en savoir plus. Mais les journalistes nous livrent les données scientifiques recueillies par des interviews auprès d'experts, qu'il nous reste à accepter tel quel comme une vérité absolue. Or, la science n'est pas une vérité absolue. **Ces affirmations ont été établies dans un certain contexte et n'ont de valeur que relativement à ce contexte** qu'il est important de connaître. J'en donnerai donc une esquisse.

En vous donnant un tableau du contexte, en vous montrant le chemin suivi à partir des constatations de notre vécu quotidien jusqu'aux grandes théories scientifiques, je vous invite à vous mettre en position d'observateurs. Vous serez parfois émerveillés des trouvailles, et parfois vous prendrez conscience que les théories décrivent des aspects tronqués de la réalité et sont éphémères. La science reflète les mentalités d'une époque, les représentations du monde et des relations humaines des contemporains, et leurs préjugés, comme nous le verrons en [fin d'article](#).

J'écris sur la physique dans l'intention que cela peut contribuer à ouvrir notre esprit et nous faire entrevoir d'autres horizons. La connaissance n'offre d'intérêt que si elle est vivante. Cela signifie qu'elle touche quelque chose en nous. La physique vivante nous éclaire sur ce que nous sommes, sur notre situation dans le monde actuel, et sur ce que nous sommes appelés à devenir. Dans le cas contraire, elle resterait académique et ne ferait qu'encombrer notre mental. Au fond, j'écris pour donner plus de sens à notre vie ([voir mon article Le sens de la vie](#)).

Ce premier article est consacré aux notions de base de la physique, celles que nous pouvons facilement mettre en rapport avec notre expérience commune et qui sont couramment appelées la physique classique. En en prenant connaissance, vous serez mieux en mesure de comprendre comme est née la physique quantique et en quoi elle s'en distingue ([article suivant, La physique quantique](#)). Ce n'est pas pour autant que la physique classique est dépassée. La physique quantique s'applique dans le domaine microscopique. La physique classique est celle de notre monde courant. En outre, ces notions sur la matière et les rayonnements pourront éclairer certains développements scientifiques exposés dans d'autres articles de mon site [spirit-science.fr](#) tels que: [Les sons créateurs de formes](#); [Physique et perception du son](#); [La nature de la couleur](#); [Cristaux et géométrie cristalline](#); [L'ADN électromagnétique et la communication entre molécules](#); [Les origines de la vie](#); [La Spirale, mouvement primordial de vie](#); [Comment l'information est codée dans la matière](#).

## La science physique cherche à donner un sens aux phénomènes de la nature

La science physique dérive de notre envie de mieux comprendre les phénomènes que nous observons ou détectons et de les mettre en relation avec d'autres phénomènes.

Certains phénomènes sont manifestes. **Notre expérience nous met en contact avec le comportement de la matière, de la chaleur, du son, de la lumière**. Je vois l'eau couler de mon arrosoir. Je vois le rayon de soleil qui entre par une fente du volet d'une chambre occultée. J'entends le son de personnes qui parlent, même si je suis séparé d'elles par des bâtiments. D'autres phénomènes ne se produisent qu'en laboratoire dans des conditions très particulières, avec des appareils très sophistiqués, eux-mêmes conçus à partir de théories physiques. De ces observations, nous tirons une certaine représentation qui devient notre vérité, tout au moins notre culture.

Lorsque des phénomènes se produisent avec une certaine régularité dans les mêmes circonstances ou des circonstances différentes, **la physique s'efforce de décrire les relations entre ces phénomènes et les influences qui les provoquent**. Lorsque cette relation fonctionne dans tous les cas connus, elle prend le statut de loi. La science s'efforce de donner à la loi une forme mathématique, mais ce n'est pas toujours possible.

Lorsqu'il est possible de décrire le comportement des objets par une loi mathématique, **on peut alors calculer ce qu'ils vont devenir dans le futur**. Connaissant la loi du mouvement des planètes, on peut prédire le moment de la prochaine éclipse. Connaissant les lois des déplacements des masses d'air de la planète et leurs caractéristiques d'aujourd'hui, on peut en déduire le temps qu'il fera demain. Connaissant la loi de la dilatation thermique, on peut calculer l'allongement de la traverse métallique d'un pont lorsque sa température augmente.

Il y a indéniablement une **utilité pratique** qui nous concerne. Notez que cet intérêt est relié à un type d'éducation et de mentalité, et qu'il n'a pas forcément été présent chez tous les peuples et en toutes époques. Dans la science physique à partir du 16e siècle tout au moins, certaines recherches proviennent du désir d'**améliorer le quotidien** et de considérations pratiques. Comment l'eau ou l'air peuvent-ils faire tourner les roues des moulins. Comment soulever un objet trop lourd avec un système de levage comportant des poulies qui démultiplient l'effort...

On distingue un premier niveau de connaissances scientifiques qui est la **description des faits** avec des formules, et un deuxième niveau qui est une **interprétation de ces faits**. Les savants et les philosophes ont généralement envie de **comprendre si une loi est l'expression d'une réalité plus profonde dont les phénomènes seraient la manifestation visible**. Cette réalité sous-jacente est prise en compte sous la forme d'une théorie. Par exemple, la théorie de l'atome a été inventée pour rendre compte de certaines lois de la chimie et de la physique des gaz. **La théorie unit les faits en fournissant une explication commune** et elle leur donne un sens plus profond.

## La matière est faite d'atomes

Pour nous qui vivons au 21e siècle, l'idée des atomes nous est familière. Nous l'acceptons d'emblée, tout simplement parce qu'elle nous a été enseignée maintes fois dans notre cursus scolaire et répétée dans tous les médias. Les enfants acceptent sans broncher comme des vérités ce que leurs disent les adultes, cela fait partie de la culture sociale.

Mais au fond, comment pouvez-vous affirmer que les atomes sont une réalité? Sur quelles bases votre opinion est-elle fondée? Nous verrons dans un autre article de cette série que la notion d'atome en tant que corpuscule n'est pas adoptée par tout le monde et qu'il existe d'autres approches possibles, qui mettent l'accent sur l'énergie.

L'idée que **la matière est constituée d'atomes** (la théorie atomique) est relativement récente, elle date seulement des environs de 1800. À cette époque, l'idée que la matière pourrait être faite de grains nommés atomes avait cheminé depuis les grecs et faisait partie des choses possibles. L'atome n'était qu'une entité abstraite et on ne faisait pas de différence entre molécule et atome. D'ailleurs, vers 1870, on se souciait à peine de cette représentation. La plupart des physiciens y étaient indifférents, voire méfiants. Ils préféraient se limiter à décrire les phénomènes par des rapports mathématiques, par exemple entre la chaleur et l'énergie pour l'effet de la chaleur sur les gaz. L'intervention d'une théorie de prétendus atomes en mouvement ne semblait pas utile.

### Dans les réactions chimiques, les proportions des constituants sont simples

La pensée atomiste a été inspirée par l'étude des réactions chimiques.

Lorsque le fer rouille, c'est l'oxygène de l'air qui se combine à lui pour former un autre corps chimique, la rouille ou hématite. C'est une réaction chimique. Il existe de **nombreuses réactions chimiques qui transforment une ou plusieurs substances en d'autres**, sous l'influence de certaines conditions. Les espèces formées au cours de la réaction sont appelées produits de réaction. Les scientifiques connaissent ces transformations depuis longtemps. Par exemple, elles ont fait l'objet de l'alchimie, qui a donné naissance à la chimie.

Au 18e siècle, Antoine de Lavoisier (chimiste français, 1743 - guillotiné en 1794) étudie certaines réactions chimiques de façon quantitative. Vers 1780, il montre que dans ces réactions, la somme totale des masses des corps est préservée. La somme des masses des produits de réaction est la même que la somme des masses des produits initiaux. C'est de cette loi qu'est née la maxime célèbre Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme.

Puis en 1799, Joseph Louis Proust (chimiste français, 1754 - 1826) trouve la loi des proportions définies. **Les corps chimiques d'une réaction se combinent dans des proportions précises de poids**. Qu'est-ce que ça signifie? Lorsque vous faites une pâte à gâteau, vous mélangez de la farine avec des œufs. Vous pouvez mettre plus ou moins de farine, ça changera peut-être le goût et l'aspect, mais ça reste possible. Dans les réactions chimiques, non. C'est comme s'il fallait une proportion définie de farine, par exemple 3 œufs pour 100g de farine. Si vous en mettiez 120g, les 20g en excès ne seraient pas intégrés à la pâte et resteraient en-dehors du mélange.

Proust fait des essais avec diverses réactions. Si on oxyde de l'étain, il faut ou bien 13,5 g d'oxygène, ou bien 27g d'oxygène pour 100g d'étain. Cela fait une proportion de 11,9 % d'oxygène pour 88,1 % d'étain ou 21,3 % d'oxygène pour 78,7 % d'étain. Ces proportions restent identiques quelle que soit la quantité de substance. Proust remarque que les proportions font intervenir des petits nombres, par exemple de 1 à 2 pour 13,5g et 27 g d'oxygène.

A partir de 1803, John Dalton (chimiste et physicien britannique, 1766 - 1844) trouve que ces lois avec des nombres entiers pouvaient s'expliquer simplement par la théorie atomique. Il propose que **chaque élément chimique est composé d'atomes d'un seul et unique type et que ces atomes sont immuables et indestructibles**. Ils peuvent se combiner en structures plus complexes selon des proportions simples. Il ne fait pas de distinction entre atomes et molécules. Dalton est

#### Le nombre d'Avogadro

Avogadro détermine que le nombre de molécules d'un gaz est toujours le même dans les mêmes conditions, quelque soit le gaz. Il définit un volume de référence, 22,4 litres aux conditions normales de température et de pression, soit une pression de 1 atmosphère et une température de 0 °C. Le nombre de molécules dans ce volume est appelé une mole, définie comme le nombre d'atomes de carbone dans 12 grammes de l'isotope 12 du carbone.

Il y a  $6,02214129 \times 10^{23}$  molécules de gaz dans une mole.

considéré comme le père de la théorie atomique. Sa nouvelle théorie atomique déclenche de violentes controverses dans la communauté scientifique.

Le comte Amedeo Avogadro (physicien et chimiste italien, 1776 - 1856) fournit des estimations plus correctes en étudiant la combinaison chimique des gaz au cours des réactions chimiques. En 1811, il en déduit que **les molécules sont faites de plusieurs atomes combinés qui peuvent se dissocier dans les réactions**. Il calcule que deux volumes égaux de gaz différents, dans les mêmes conditions de température et de pression, contiennent un nombre identique de molécules. Comme souvent lorsqu'une idée va à l'encontre des opinions admises, la communauté scientifique reste distante vis-à-vis de ces nouvelles théories.

### Dans l'eau, les poussières sont animées de mouvements chaotiques

Vers 1827, Robert Brown (botaniste écossais, 1773 - 1858) observait des grains de pollen. Dans le fluide situé à l'intérieur de ces grains, il constata que de très petites particules étaient constamment animées d'un mouvement désordonné. C'est ce qu'on nomme le **mouvement brownien**. Mais il ne savait pas quoi en déduire. Ce n'est qu'en 1860 que certains penseront que cette agitation est provoquée par des mouvements internes dans le liquide qui entraînent les particules.

Si on suppose que **le liquide est constitué de molécules**, les particules sont malmenées parce qu'elles entrent en collision avec les molécules. Dans un article de 1905, Albert Einstein (physicien théoricien d'origine allemande, 1879 - 1955) décrit ce mouvement à l'aide d'un modèle mathématique. Il indique que des mesures faites sur le mouvement de grosses particules dans les fluides permettraient d'en déduire la dimension des molécules. C'est ce que vérifie avec succès Jean Perrin (physicien chimiste français, 1870 - 1942) en 1908. Ce résultat valide la théorie atomique.

### Les gaz sont faits de molécules agitées

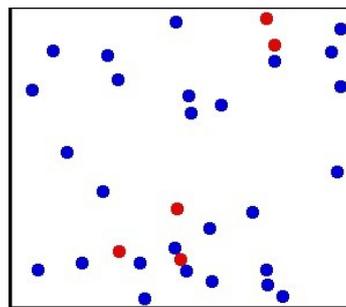
Les gaz tels que l'air nous apparaissent comme des fluides continus, analogues à l'eau mais avec une densité beaucoup plus faible. Toutefois, après les travaux de Daniel Bernoulli (physicien et mathématicien suisse, 1700 - 1782) et de Rudolf Clausius (physicien allemand, 1822 - 1888), on commençait à imaginer une représentation à l'échelle microscopique de molécules qui virevoltent dans l'espace en s'entrechoquant.

Ludwig Boltzmann (physicien autrichien, 1844 - 1906) a formalisé cette représentation en 1871 en une théorie mathématique qui donne la répartition statistique de l'énergie des molécules. Cette théorie cinétique des gaz, complétée par James Clerk Maxwell (physicien et mathématicien écossais, 1831 - 1879), établit les bases de la physique statistique.

Dans cette théorie, **les propriétés macroscopiques (à notre échelle) de la matière sont interprétées comme des moyennes statistiques des caractéristiques microscopiques d'un grand nombre de molécules**. La température est liée au degré d'agitation des molécules. La pression exercée sur une surface résulte des chocs des molécules sur la surface



Ludwig Boltzmann  
Merci à [Wikipedia](#)



Modèle de l'agitation des  
molécules dans un gaz  
Merci à [Wikipedia](#)

La nouvelle théorie est à nouveau vivement critiquée par les opposants. Pourtant, le succès de sa théorie deviendra un argument fondamental pour valider l'existence des atomes.

## Les théories scientifiques sont bâties sur des modèles

La façon dont la notion d'atome a été bâtie en théorie scientifique nous montre comment on est passé des faits constatés dans les réactions chimiques et dans les fluides, à une représentation susceptible de les expliquer. La représentation constitue ce qu'on appelle un modèle, c'est-à-dire un scénario sur lequel on construit une théorie formelle et mathématique. Le scénario est généralement suggéré par des analogies avec d'autres domaines. Par exemple, la théorie moléculaire des gaz nous évoque des boules de billards qui s'entrechoquent et rebondissent.

Le modèle nous interroge sur son rapport avec la réalité de l'univers. Il demande à **être validé dans d'autres circonstances**. La théorie atomique élaborée par les observations sur les gaz sera vérifiée par d'autres phénomènes

comme la diffraction des rayons X par la matière (voir [Cristaux et géométrie cristalline](#)).

Toutefois, il ne faut pas perdre de vue qu'un **modèle explicatif reste un modèle et non une vérité**. Comme la notion d'atome détient une grande force explicative, on oublie communément qu'il s'agit d'une interprétation de faits et on glisse facilement (y compris dans l'enseignement scientifique) vers la pensée que c'est une réalité.

**Lorsqu'on a trouvé un modèle qui marche bien, rien ne prouve qu'il est le seul possible**. On peut seulement dire qu'il est celui qui, dans l'état actuel de nos connaissances des phénomènes, a la valeur explicative la plus générale et la plus puissante. Mais la supériorité d'un modèle sur un autre n'est pas souvent évidente à un moment donné de l'état des connaissances. Par exemple, à l'image actuelle d'un atome représenté comme une boule comprenant protons, neutrons et électrons, certains préfèrent la notion de concentration d'énergie. De même, plusieurs modèles peuvent rendre compte de la stabilité des électrons dans les atomes.

Souvent **de nouveaux faits viennent contredire le modèle** et obligent à le modifier ou à l'abandonner. C'est de cette façon que la physique quantique a été élaborée à partir de nouveaux faits qui contredisaient les lois énoncées par la physique classique (article suivant, [La physique quantique](#)).

La communauté scientifique est souvent réticente à adopter de nouvelles idées. Elle est régulièrement traversée par de **nombreuses controverses entre des théories "concurrentes"**. Elle préfère penser que les expériences qui fondent les nouvelles théories ont des défauts. Leurs auteurs sont fréquemment critiqués, tels que Dalton, Avogadro, Boltzmann, Ampère, Young, Faraday, etc. (voir [plus bas](#)).

## Les électrons, minuscules constituants de l'atome

Les scientifiques ont été confrontés à d'autres types de phénomènes qui les ont conduits à élaborer la notion d'électron. C'est une particule constituante de l'atome, beaucoup plus petite que l'atome lui-même. Avec l'électron, ils ont découvert que les atomes ne sont pas les plus petits constituants de la matière. Mais ce n'est pas dans les études sur l'atome que cette découverte a pris racine, mais dans celles sur les courants électriques.

### Le courant électrique, mouvement de corpuscules chargés

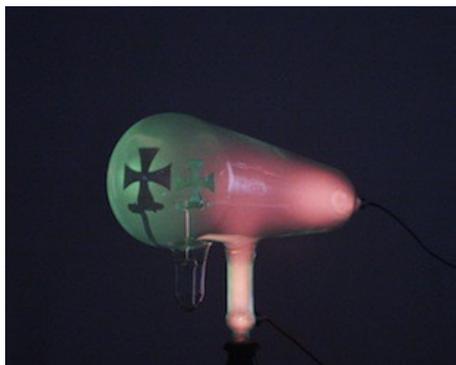
S'appuyant sur les travaux de Luigi Galvani (physicien et médecin italien, 1737 - 1798) sur l'électricité dans les organismes vivants, le comte Alessandro Volta (physicien italien, 1745 - 1827) étudie le phénomène de la pile électrique. On peut d'ailleurs mesurer l'impact de ces deux hommes sur notre technologie électrique moderne par le fait que leurs noms sont associés à des procédés électriques (galvanisation; être galvanisé) et des unités de mesure (volt, unité de tension électrique; voltage).

En 1800, Volta invente la pile, formée par l'empilement (d'où son nom) d'unités constituées d'un disque de cuivre et d'un disque de zinc séparés par un tissu imbibé d'eau salée. Des charges électriques se manifestent dans chacun de ces disques. Volta suppose que ces charges ont voyagé d'une plaque à l'autre grâce à l'eau salée.

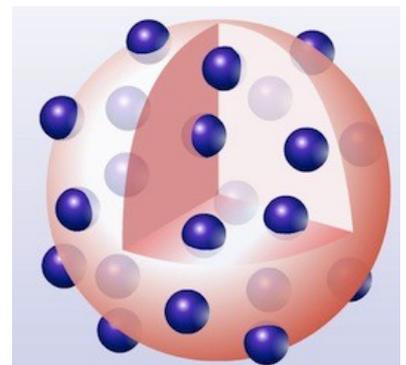
Un peu plus tard, André-Marie Ampère (physicien et chimiste français, 1775 - 1836) étudie les forces magnétiques créées par un courant électrique qui circule dans un fil conducteur. Vers 1820, il interprète ce phénomène en imaginant que **d'innombrables corpuscules minuscules chargés électriquement circulent dans le conducteur**. De lui aussi, le nom a été retenu plus tard, pour définir l'unité d'intensité électrique.



*La pile de Volta*  
Merci à [Wikipedia](#)



*Le tube de Crookes, avec sa cathode à l'extrémité de droite, l'obstacle en forme de croix de malte dans le tube, et son ombre qui est projetée à l'autre extrémité, démontre l'existence de rayons électroniques.*  
Merci à [Wikipedia](#)



*Le modèle atomique de J.J. Thomson*  
Merci à [Sylvain Guibaud](#)

Et à nouveau, les scientifiques de l'époque rejettent cette théorie trop novatrice. Elle sera acceptée seulement soixante ans plus tard avec la découverte des faisceaux d'électrons.

## Les faisceaux d'électrons dans le vide

Prenez un tube de verre plein de gaz, équipé d'une électrode (tige ou plaquette de métal) à chaque extrémité. Si vous appliquez entre les deux électrodes une tension électrique suffisamment forte, il se produit des étincelles. Si vous diminuez la quantité de gaz, autrement dit sa pression, il se produit une radiation violette ou rose dans le gaz (c'est le principe des lampes au néon et ampoules basse consommation). C'est ce phénomène qu'étudiait Michael Faraday (chimiste et physicien britannique, 1791 - 1867) vers 1838. Mais il n'en comprenait pas la nature.

Par la suite, d'autres chercheurs se penchent sur ce sujet et constatent que si on abaisse encore la pression, la lumière disparaît, mais une fluorescence verte se produit à l'extrémité du verre opposée à l'électrode négative (la cathode).

En 1869, Johan Wilhelm Hittorf (physicien et chimiste allemand, 1824 - 1914) prouve que cette lueur fluorescente est due à l'impact sur le verre de **rayons qui se propagent en ligne droite depuis la cathode**. En effet, en disposant une croix métallique face à la cathode, il observe que son ombre est bien nette sur la paroi du tube opposée à la cathode. Ce dispositif est nommé tube de Crookes, du nom de celui qui a ensuite perfectionné cette étude en 1886 (William Crookes, chimiste et physicien britannique, 1832 - 1919). Les rayons sont nommés **rayons cathodiques** parce qu'ils proviennent de la cathode.

En 1895, Jean Perrin (déjà nommé plus haut, physicien et chimiste français, 1870 - 1942), étudiant les rayons cathodiques créés dans un tube de Crookes, démontre qu'**ils sont composés de corpuscules de charge électrique négative**.

En déviant les rayons cathodiques par des champs magnétiques et électriques, Joseph John Thomson (physicien anglais, 1856 - 1940) montre aussi que les corpuscules ont une charge négative. En 1897, il estime **leur masse, une valeur 1000 fois plus petite que celle de l'atome d'hydrogène (valeur actuellement estimée à 1836)**. Cela donne une réalité substantielle à l'aspect corpusculaire. Le corpuscule découvert par Thomson est l'**électron**, déjà prévu par George Johnstone Stoney (physicien irlandais, 1826 - 1911) par ses études sur l'électrolyse des liquides.

Thomson avance que **les corpuscules (les électrons) proviennent de l'intérieur des atomes des électrodes**, et en sont donc des constituants. Il esquisse un modèle approximatif de l'atome, une sphère de charge positive dans laquelle sont placés des électrons de charge négative, positionnés comme des grains de raisins secs dans un pudding (c'est un anglais!). La façon par laquelle ce modèle a ensuite évolué avec l'image d'un noyau dense, est liée à l'histoire de la physique quantique et sera racontée dans l'article suivant ([La physique quantique](#)).

## Des électrons émis par radioactivité

C'est en étudiant la fluorescence d'un sel d'uranium en 1896 qu'Henri Becquerel (physicien français, 1852 - 1908) découvre que ce sel émet des rayonnements (rayons uraniques). Ces rayonnements peuvent se classer en 3 types. **Le rayon  $\beta$  est assimilable à un faisceau d'électrons**. Un autre, le rayon  $\gamma$ , est de nature électromagnétique, comme les rayons X que vient justement de découvrir Roentgen. C'est le début de la connaissance de la radioactivité.

## Les électrons produisent des rayons électromagnétiques

Par hasard, la même année 1896, Wilhelm Conrad Röntgen ou Roentgen (physicien allemand, 1845 - 1923), intrigué par la fluorescence d'un carton couvert de cyanure de platine et de baryum placé à proximité de son tube de Crookes, découvre qu'elle est provoquée par les rayons cathodiques émis par ce tube, même lorsque celui-ci est enveloppé de carton noir. **Les électrons des rayons cathodiques frappent les atomes du verre, et cela provoque l'émission de rayons X** dans la pièce. On montrera plus tard qu'ils sont de nature électromagnétique, avec une énergie plus vigoureuse que les celle des rayons ultraviolets.

Le physicien hollandais Hendrik Antoon Lorentz (1853 - 1928) montre en 1895 que **l'atome émet des rayonnements lumineux**, et propose que la cause en est **la vibration de l'électron**. En effet, toute particule chargée électriquement qui vibre émet un rayonnement électromagnétique. En 1909, il fait la synthèse des connaissances en faveur de la théorie de l'électron dans son ouvrage Théorie des électrons.

## La mécanique mathématique, étude du mouvement des objets dans l'espace

Les modèles de l'atome et de l'électron ont été construits dans le cadre de lois plus générales décrivant les mouvements des corps matériels. Ainsi, Thomson a déterminé la masse et la charge de l'électron en calculant sa trajectoire grâce aux lois de l'électricité et du magnétisme et en la comparant avec les résultats de son expérience. De même, Boltzmann a testé la validité de sa représentation des gaz par des molécules en mouvement non seulement en les imaginant comme des boules de billards qui s'entrechoquent, mais de plus en calculant l'énergie cinétique de l'ensemble de ces molécules, grâce aux lois du mouvement des objets dans l'espace.

**Les lois du mouvement des corps dans l'espace sont à la base d'une grande partie des modèles de la physique**, y compris la physique quantique, même si dans ce cas elle a pris un autre visage.

Imaginons une bille qui roule sur un sol plat et lisse. **Elle se déplace en ligne droite**. Elle finira par s'arrêter sous l'effet des frottements du sol, mais si la surface du sol est vraiment très lisse, elle peut rouler très longtemps. On peut

## L'espace de la mécanique classique

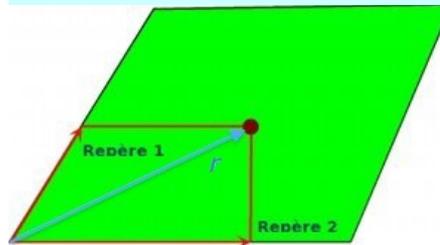
Les lois du mouvement sont établies en considérant que les corps se déplacent dans un espace vide.

Pour la mécanique de Newton, l'espace est homogène, c'est-à-dire le même quel que soit l'emplacement. Il est aussi isotrope, c'est-à-dire qu'il est le même quelle que soit la direction dans lequel on le parcourt. Le temps y est uniforme, c'est-à-dire qu'il a la même signification quel que soit l'instant.

### Coordonnées d'espace

Pour mettre en équation le mouvement d'un corps dans l'espace, il faut le situer dans cet espace par un système de repérage, leurs coordonnées. Des coordonnées ne peuvent être définies que si on indique d'abord un repère.

Sa quantité de mouvement ou impulsion est  $p_i = m_i \times v_i$



Dans l'espace, il faut ajouter la dimension verticale. Un point matériel  $i$  dans l'espace est repéré par ses 3 coordonnées  $(x_i, y_i, z_i)$ , définissant un vecteur  $r_i$ .

De plus on attribue à l'objet de masse  $m_i$  une direction de déplacement, une vitesse, et une quantité de mouvement. Sa vitesse est la dérivée  $v_i = \partial r_i / \partial t$

### Coordonnées généralisées

Pour le même repère, il existe d'autres systèmes de coordonnées, par exemple les coordonnées généralisées de position  $q_i$  et les vitesses généralisées  $\dot{q}_i = \frac{dq_i}{dt}$  (voir [en annexe](#))

### Le principe de relativité de Galilée

Il est équivalent de décrire le mouvement d'un corps dans un repère ou dans un autre qui se déplace de façon uniforme par rapport au premier, moyennant un changement de coordonnées. C'est le principe de relativité de Galilée.

C'est en effet une expérience que vous connaissez bien lorsque vous êtes assis dans un train à l'arrêt dans une gare. Si un autre train démarra à côté de vous, il est difficile de dire si c'est ce train ou le vôtre qui démarre. L'impression est la même. Vous pouvez décrire votre mouvement aussi bien par rapport à votre propre train (l'immobilité) ou par rapport à l'autre. En l'absence d'accélération, les lois sont les mêmes.

se rendre compte qu'en l'absence idéale de frottement, elle devrait continuer sans s'arrêter. Par contre, si quelqu'un intervient en soufflant dessus, ou en lui donnant une petite impulsion, **sa trajectoire va changer d'orientation**, elle va accélérer ou freiner.

Si je maintiens la bille en l'air et que je la lâche, elle tombe, car **elle est attirée vers le sol par la force de gravité**. Si je la pose sur une table, elle reste immobile. La gravité est toujours présente, mais la table la retient en **opposant sa résistance**.

Ces quelques exemples sont à la base de la découverte des lois du mouvement. L'observation des planètes a joué également un rôle important pour les déterminer.

Lorsqu'on cherche à comprendre le mouvement d'une planète, il ne suffit pas de donner une description de ce mouvement, on veut aussi formuler le mouvement par une loi mathématique, afin de **calculer le mouvement futur et ainsi prévoir le comportement** de la planète, c'est-à-dire donner sa position dans l'espace et sa vitesse un moment donné.

La science qui décrit le mouvement des objets dans l'espace par les mathématiques s'appelle la mécanique. Essentiellement, **la mécanique décrit comment le mouvement des corps est contrôlé par les forces qui sont appliquées dessus**. Elle est valable pour tous les objets matériels, une comète, une molécule, un électron, un ballon qui dévale une pente, la roue d'un chariot, un boulet de canon, un tsunami, un nuage...

Le mot mécanique nous évoque la mécanique technique, et ce n'est pas par hasard. En effet, à l'origine, vers 1560, la mécanique s'intéresse à l'action des machines aussi bien qu'au mouvement des corps. La distinction entre la mécanique scientifique et la mécanique technique n'est vraiment réalisée que vers 1840.

## Force et énergie

La masse de l'objet, sa localisation, sa vitesse et les forces qui l'influencent sont les ingrédients de la mécanique mathématique. **On peut en dériver quelques autres caractéristiques** qui sont calculées à partir des précédentes, comme la notion importante d'énergie.

**L'énergie découle de la force**. Je suppose que vous en avez fait l'expérience. En effet, si vous voulez soulever un poids, vous devez exercer une force et cela vous demande de l'énergie. La force, c'est la pression que vous exercez même avant de commencer à déplacer le poids, et vous dépensez de l'énergie en le déplaçant. **L'énergie est la force au travail**. En mathématique, on la définit par la force multipliée par le déplacement.

Imaginez une grue qui monte une grosse pierre. Lorsque la pierre arrive en haut, l'énergie a été accumulée dans cette position. Il suffit de dérouler le câble pour récupérer l'énergie de la pierre, par exemple comme contrepoids pour

Un corps possède une **énergie due à sa vitesse**. Si vous lancez une balle sur une quille, son énergie va faire tomber la quille.

En physique, **l'énergie d'un corps est la somme de son énergie de mouvement (énergie cinétique) et de son énergie potentielle**.

monter autre chose. C'est une **énergie potentielle**.

à

## Oscillation ou vibration

Les vibrations sont des mouvements extrêmement répandus en mécanique. **Le corps oscille autour d'une position d'équilibre stable**, comme une balançoire. Dans sa position de repos, la balançoire est stable. C'est lorsqu'on la pousse qu'elle effectue des mouvements oscillatoires. C'est aussi le cas des atomes qui vibrent sur place dans un cristal, ou des électrons qui vibrent dans les atomes.

Pourquoi un corps vibre-t-il? La balançoire revient au point d'équilibre sous l'effet de son poids. Mais la force d'inertie l'entraîne plus loin jusqu'à un maximum, elle s'y arrête et revient. Un corps oscille parce qu'**une force la rappelle au point central**. C'est aussi le cas pour un ressort. Plus on le tire, plus la force de rappel augmente. Lorsqu'on le lâche, il oscille.

## La lente élaboration des lois du mouvement

Les lois de la mécanique énoncent les formules qui permettent de **calculer les mouvements des corps (leur position et leur vitesse à un moment donné) si on connaît leurs caractéristiques intrinsèques (leur masse) et les influences extérieures, les forces, auxquelles ils sont soumis**.

Cette mécanique est née progressivement à partir du 16e siècle. Elle a été affirmée et conceptualisée par Isaac Newton (1643 – 1727) dans ce qu'on a appelé par la suite la **mécanique newtonienne, dite aussi mécanique classique** par rapport à la mécanique quantique.

Les lois du mouvement ont été établies peu à peu, par l'observation des phénomènes, ou en rapport avec des problèmes techniques, comme l'a fait Léonard de Vinci.

Léonard de Vinci ou Leonardo da Vinci (1452 - 1519) est un peintre italien qui réunissait également les qualités de scientifique, d'ingénieur, d'inventeur et de philosophe. Il participe à de nombreux **projets techniques, hydrauliques, militaires, civils**, en tant que chargé de mission ou conseiller pour le compte de ses "employeurs", le duc de Milan Ludovic Sforza, les villes de Venise et de Florence, le prince César Borgia. Il inspecte les forteresses et les canaux. Il remplit ses carnets de ses multiples observations et croquis de travail, dessine à peu près tout ce qu'il rencontre, humains, animaux, plantes, mécanismes, copies d'ouvrages consultés dans les bibliothèques. Il construit des engins de levage (grues) et des engins de guerre (catapulte). Il améliore les horloges, le métier à tisser, le roulement à billes (voir la vidéo [Léonard de Vinci, un savant de la Renaissance](#)).

Progressivement, il élabore une sorte de doctrine technique, **véritable méthode scientifique, qui part de l'observation puis passe à l'hypothèse et l'expérience avant d'arriver à la théorie**. La sagesse est la fille de l'expérience écrit-il. La technique est soutenue par des principes théoriques, elle n'est plus la seule affaire des traditions artisanales.

Galilée (ou Galileo Galilei), mathématicien, géomètre, physicien et astronome italien (1564-1642) naît 45 ans après la mort de Léonard de Vinci et profite de sa méthode expérimentale en la précisant. Il pose les bases de la mécanique dans ses ouvrages les Dialogues (1632) et les Discours (1638).

À partir de 1597, il étudie les mouvements des corps en chute libre, en particulier depuis le haut de la tour de Pise. Vers 1602, il étudie aussi les mouvements des billes sur un plan incliné et met en évidence la notion d'inertie. Il comprend la nécessité d'un repère de référence pour décrire le mouvement d'un corps avec ses coordonnées et énonce que des repères en mouvement uniforme l'un par rapport à l'autre sont équivalents (principe de relativité, voir encadré).

### Les 3 lois de Kepler sur le mouvement des planètes

1. Les planètes se déplacent le long d'une ellipse, dont le Soleil est un foyer.
2. La ligne qui va du soleil à la planète balaie des secteurs égaux en des périodes égales.
3. Le carré  $T^2$  de la période orbitale  $T$  d'une planète est proportionnel au cube  $a^3$  de sa distance moyenne  $a$  au soleil (moyenne des plus grandes et des plus petites distances).

$$T^2 = k a^3$$

La constante  $k$  est la même pour toutes les planètes.

### Les 3 lois de Newton sur le mouvement des corps soumis à des forces

1. 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.

2. La modification du mouvement est proportionnelle à la force qui lui est imprimée; et cette altération se fait en ligne droite dans la direction de la force.

Si  $F_i$  désigne les forces extérieures exercées sur l'objet,  $m$  est sa masse, et  $a$  son accélération, alors la somme vectorielle des forces est proportionnelle à l'accélération: 
$$\sum \vec{F}_i = m\vec{a}$$

Si cette somme est nulle,  $\sum F_i = 0$  alors  $a = 0$  et la vitesse est constante (loi n°1)

3. Pour chaque action, il existe une réaction égale et opposée: l'action est toujours égale 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.

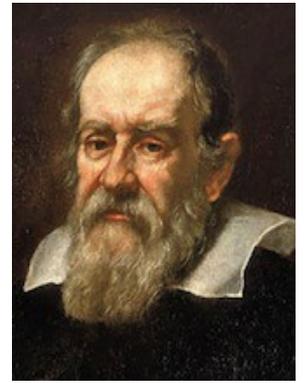
Galilée est également célèbre pour ses études astronomiques et son invention de la lunette. Son contemporain Johannes Kepler, un astronome allemand (1571-1630) va en tirer parti. Les corps dont il étudie le mouvement sont les planètes.

Comme Galilée, il est favorable à la vision de Nicolas Copernic (la Terre tourne en cercles autour du Soleil). En commençant par Mars, il constate que les planètes ne tournent pas selon un cercle parfait autour du Soleil mais qu'elles décrivent des ellipses. Il découvre **les 3 relations mathématiques fondamentales (les lois de Kepler) qui régissent les mouvements des planètes sur leur orbite** (voir encadré). Il les publie en deux fois en 1609 et 1619.

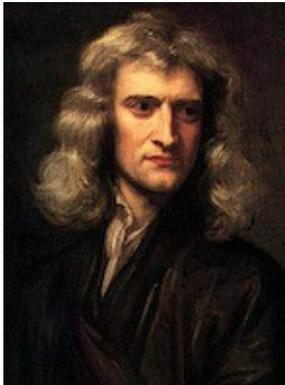
Les lois de Kepler ont plus tard été exploitées par Newton pour élaborer la théorie de la gravitation universelle.

Sir Isaac Newton (1643 – 1727) est un philosophe, mathématicien, physicien, alchimiste, astronome et théologien anglais. Il a publié ses idées dans sa publication d'importance majeure, Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica (1687). Il y décrit la loi universelle de la gravitation et **formule les trois lois du mouvement** qui sont les fondement de la mécanique que l'on nomme aujourd'hui mécanique newtonienne ou mécanique classique (voir encadré). C'est une synthèse des lois de Kepler sur les orbites planétaires et de Galilée sur la chute des corps.

D'autres savants ont contribué à perfectionner l'expression de ces lois. Je cite Joseph Louis Lagrange (mathématicien français, 1736 - 1813), auteur, en 1788, des équations qui portent son nom (voir [en annexe](#)).



*Galileo Galilei, portrait par Giusto Sustermans en 1636.  
Merci à Wikipédia*



*Isaac Newton, portrait par Godfrey Kneller en 1689  
Merci à Wikipédia*

## Les rayons de lumière

Les phénomènes qui attiraient l'attention des scientifiques et des curieux portaient sur des aspects variés, pas seulement sur les planètes et les billes qui roulent ou qui tombent. Les sons et à la lumière appartiennent à une autre grande catégorie de phénomènes qui nous interrogent fortement **sur leur nature et leur origine**.

Actuellement, il nous est facile de dire que la lumière est une onde faite de photons. Mais nous le savons non pas à cause de notre expérience directe, mais parce que c'est ce qu'on nous a appris. **Dans notre expérience commune, nous ne voyons ni ondes ni particules, mais des rayons**. Avec une lampe de poche, avec des projecteurs de scène, le faisceau de lumière se projette en ligne droite. On peut même le concentrer en un très fin pinceau. On ne peut pas dire vraiment qu'il va en ligne droite, on ne constate aucun mouvement, le faisceau est simplement présent.

Par contre on constate qu'il provient d'une source, dans notre cas l'ampoule. Nous savons que **le faisceau se propage effectivement depuis la source**, mais tellement vite (environ 300'000 km/s) qu'il faut un dispositif spécial avec des lasers pour le mesurer.

Nous sommes aussi témoins des rais de lumière qui pénètrent à travers la fente d'un volet dans une chambre obscure lors d'une journée ensoleillée. Ils sont rendus visibles par toutes les poussières qui dansent dans la lumière. Parfois, lorsque le ciel est chargé, nous voyons les rayons du soleil se dessiner dans les nuages en faisceaux divergents, comme les rayons d'une bicyclette.

Il est clair que **la lumière rayonne en ligne droite à partir de sa source**. C'est cet aspect de la lumière qui a d'abord retenu l'attention des savants, sous le nom d'optique géométrique.



*Merci à Jean-Louis Basdevant*

## Les rayons divins

Johannes Kepler, le même que nous avons rencontré pour son étude des planètes, s'est intéressé à l'optique géométrique. Son approche n'est pas simplement une description du phénomène. Il réfléchit sur sa nature. Comme tous les érudits et chercheurs de ces temps, il est inspiré par ses représentations imaginaires et ses visions spirituelles (il en est de même aujourd'hui et toujours, sous d'autres formes - voir [plus loin](#)). Selon Kepler, **la lumière est un flux de nature divine qui s'étend à l'infini**. C'est une émanation abstraite du soleil, de la même façon que le Christ est une émanation de Dieu.

Cette vision le stimule et l'inspire dans ses études. Il observe et mesure la façon dont les rayons lumineux se comportent vis-à-vis des miroirs et des lentilles de verre. Il analyse le phénomène de réfraction de la lumière lorsqu'elle traverse deux milieux séparés par une surface, comme l'eau et l'air (voir [plus loin](#)). Il en tire des principes fondamentaux qu'il expose en 1604 dans son ouvrage Astronomia pars Optica.

## Des corpuscules en mouvement

Si vous projetez un fin pinceau de lumière obliquement sur un miroir, il est réfléchi et renvoyé dans une direction symétrique. Ce comportement rappelle celui d'une balle que l'on projette vers le sol et qui rebondit. C'est à cause de cette analogie que Isaac Newton, qui étudiait aussi ce domaine, a proposé à la suite de Pierre Gassendi que **la lumière est constituée de petites particules ou corpuscules** de masses différentes émis par une source. Ces corpuscules se propagent en ligne droite avec une énergie due à leur grande vitesse (énergie cinétique).

Newton faisait ainsi entrer la lumière dans sa vision de la mécanique des corps. Dans sa théorie corpusculaire, exposée dans son ouvrage *Opticks* (1704), il prétendait que lorsque les particules de lumière arrivent à la surface d'un milieu, elles déclenchent une force perpendiculaire à cette surface qui s'exerce sur elles. Cette force dévie leur trajectoire. De cette façon, Newton arrivait à rendre compte des phénomènes de réflexion, de diffraction, de réfraction à travers une lentille, et de dispersion de la lumière blanche à travers un prisme de verre en un spectre de couleurs.

La théorie de Newton était en concurrence serrée avec **la théorie ondulatoire** postulée par Huygens un peu avant (1690), qui énonce que **les rayons de lumière sont des ondes qui se propagent**. Toutefois, à cause du prestige scientifique de Newton, la théorie ondulatoire est laissée de côté pendant une centaine d'années. Elle a été de nouveau mise en avant vers 1800 pour expliquer les phénomènes de diffraction, d'interférence et de polarisation qui étaient difficilement interprétables dans le cadre de la théorie corpusculaire. Et pourtant, une forme nouvelle de théorie corpusculaire émergera en 1905 avec les quanta d'Einstein, les photons (article suivant, [La physique quantique](#)).

La notion d'onde n'est pas apparue du néant. Elle était déjà connue dans d'autres domaines de la physique comme les phénomènes sonores. Pour comprendre l'essence de la théorie ondulatoire, examinons d'abord ce qu'est une onde et ce qu'on entend par onde qui se propage dans le domaine de la matière.

## Ondulations dans la matière

La notion d'onde nous est suggérée par l'observation des vagues dans l'eau et par d'autres phénomènes d'ondulations dans la matière liquide, gazeuse ou pâteuse. Imaginez que vous êtes placé près de l'eau calme à l'extrémité d'un petit canal ou d'un bassin. Vous plongez la main très doucement afin de ne pas perturber cette eau, puis vous effectuez quelques battements lents de la main. Vous avez produit plusieurs vaguelettes qui se déplacent et atteignent l'autre extrémité. **Le mouvement des vaguelettes est une onde.**

Les vagues avancent dans l'eau d'un bout à l'autre, mais l'eau ne coule pas comme le courant d'une rivière. On s'en rend compte si on laisse flotter un bouchon à la surface de l'eau. Immobile avant le passage de la vague, il est soulevé au moment de son passage, puis il retombe au même endroit. **Il n'a pas été déplacé latéralement, mais verticalement seulement un bref instant.** Que se passe-t-il?

Pour comprendre le mouvement de la vague, imaginez que vous regardez des danseurs alignés debout sur une scène. Ils se tiennent l'un à côté de l'autre, main dans la main, disons qu'ils sont 12. Le premier se penche et reste penché. Puis le second se penche et le premier se relève. Puis le 3e se penche et le 2e se relève, et ainsi de suite jusqu'au 12e. Visuellement vous avez l'impression d'un creux dans la ligne, qui se propage du 1er au 12e, alors que les danseurs n'ont pas changé de place. **Ce qui s'est propagé, c'est seulement leur position penchée, comme un frisson qui traverse un champ de blé.**

Dans l'eau, qui sont les danseurs? Ce sont les molécules d'eau. Lorsque la vague arrive, les molécules montent comme le bouchon, et, la vague passée, elles redescendent. La vague est elle-même le mouvement de ces molécules. **Les ondes sont la propagation d'une impulsion, d'un changement de position momentanée d'un élément, qui se transmet de proche en proche.**

Si les danseurs étaient indépendants les uns des autres, il n'y aurait pas de propagation. **Le mouvement se transmet parce qu'il y a un lien entre les voisins**, par leurs mains (ils peuvent le faire yeux fermés), de même qu'il y a des forces de liaison entre les molécules voisines. Si le lien est très rigide, tout le monde se baisse d'un bloc et il n'y a pas d'onde. **La matière peut être le siège d'ondes lorsqu'elle est souple et mobile.**

Le premier danseur peut initier un autre type de mouvement, sur le côté, en poussant l'épaule de son voisin avec son épaule, puis revenant à sa place. L'impulsion a lieu dans le même sens que la propagation de la vague, c'est une onde longitudinale. Dans la danse précédente et dans l'eau, l'impulsion a lieu perpendiculairement au mouvement de propagation, c'est une onde transversale.

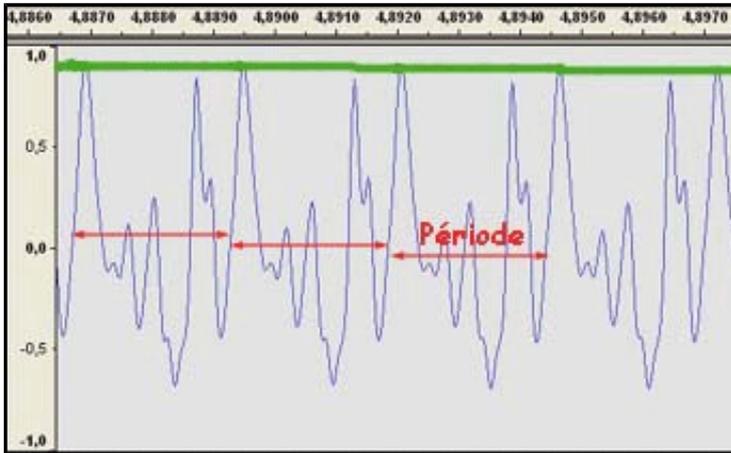
Autre exemple d'onde transversale: Prenons une corde libre. Si nous donnons une secousse à une de ses extrémités, la déformation se propage jusqu'à l'autre extrémité. On peut remarquer à nouveau que ce n'est pas la matière elle-même qui se déplace d'un bout à l'autre de la corde, car la corde reste entière et identique. C'est seulement sa position momentanée.

On utilise couramment les ondes comme **support pour transmettre des messages sous forme de signaux codés**. En effet, si on modifie légèrement la vague d'une onde, par sa forme ou par son rythme, cela devient un signal qui est transmis à l'autre bout de la ligne. Il suffit pour cela que ce message soit codé selon un code connu de la personne qui le reçoit.

## Ondes sonores

On rencontre des ondes de matière dans les phénomènes sonores (acoustiques). La matière en question est l'air et les éléments qui dansent sont les molécules d'air. Mais contrairement à l'eau, les molécules ne bougent pas verticalement sur une vague, mais oscillent horizontalement. C'est une onde longitudinale. Cela revient à dire que les molécules se rapprochent et s'écartent alternativement l'une de l'autre.

En réalité, le mouvement de propagation d'un son ne s'effectue pas dans une seule direction. Il rayonne dans toutes les directions et diffuse à partir de chaque point atteint par l'onde.



*Lorsqu'on enregistre un son continu avec un micro, la vibration sonore de l'air met en mouvement la membrane du micro. Cette vibration est transformée en un courant électrique dont l'intensité suit les variations du son (voir [Physique et perception des sons](#))  
©A. Boudet*

*État stationnaire d'une plaque métallique mise en vibration par un son. Rendu visible par du sable qui s'accumule dans les zones immobiles.  
(voir [Sons créateurs de formes](#))  
Photo © A. Lauterwasser, [Images sonores d'eau](#)*

Comme on l'a évoqué plus haut pour les gaz, le mouvement des molécules exerce une pression sur des parois ou des objets, par exemple sur un microphone. Lorsqu'on enregistre un son, on enregistre la variation locale de la pression.

## Vibrations stationnaires

Parfois, l'onde ne se déplace pas, elle oscille sur place, elle est stationnaire. **Une onde stationnaire est un mouvement synchronisé sur place.** Cela arrive lorsque les danseurs (les éléments) bougent de façon synchronisée. Ils se penchent tous en même temps, mais pas tous à la même hauteur, et ils se relèvent en même temps. Le 1er et le 12e restent immobiles. Le 2e et le 11e se penchent légèrement, les 3e et 10e un peu plus... tandis que les 6e et 7e ont une amplitude maximale. Les états stationnaires sont courants dans les phénomènes électromagnétiques et acoustiques où ils jouent des rôles importants.

Dans l'eau d'un bassin, les vagues rebondissent sur la paroi, se recombinaient et interfèrent entre elles. Pour certaines fréquences, elles peuvent **entrer en résonance avec la forme** du bassin. Les vagues y sont toujours présentes, mais elles cessent de se déplacer. L'eau oscille sur place en état stationnaire.

Dans le cas d'une corde tendue à ses extrémités comme une corde de guitare, on obtient facilement des ondes stationnaires. Vous pouvez vous en rendre compte en marquant un endroit de la corde par un point fluorescent. Vous le voyez osciller verticalement. Si vous marquez plusieurs points, certains oscillent à peine, d'autres sont vigoureusement soulevés.

On obtient aussi des états stationnaires avec des plaques métalliques mises en vibration par des vibreurs ou des sons. La plaque posée horizontalement vibre verticalement. Certaines zones vibrent au maximum, et d'autres sont calmes, quasiment immobiles. Si l'on saupoudre la plaque de sel ou de sable, la poudre s'accumule dans les zones calmes et met en évidence la forme de l'état stationnaire. **Les formes créées par les ondes stationnaires sont remarquables.** Elles reflètent à la fois les fréquences composant l'onde et la symétrie de la plaque (voir article [Les sons créateurs de formes](#)).

## Phénomènes vibratoires de la lumière

Bien que les rayons de lumière nous ont suggéré que la lumière se propage en ligne droite, on peut se trouver en face de phénomènes où ce n'est pas le cas.

Imaginez que vous remplissez un seau d'eau avec deux arrosoirs. Il est clair que vous allez deux fois plus vite qu'avec un seul arrosoir parce que les deux débits d'eau s'ajoutent. Maintenant imaginez que vous éclairez une feuille de papier avec deux lampes. Il est clair que la feuille est deux fois plus éclairée qu'avec une seule lampe. Or il y a des cas

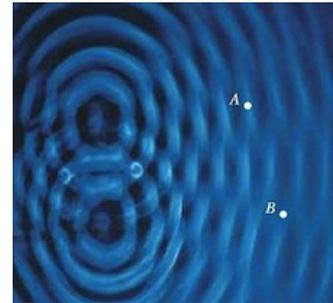
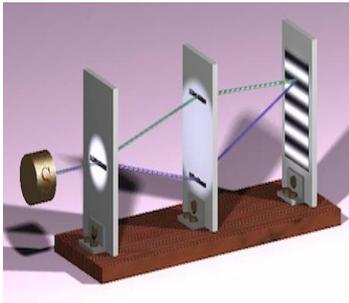
où les intensités lumineuses ne s'ajoutent pas purement et simplement mais se combinent en zones d'ombres et de lumières.

Là où on s'attend à avoir de l'ombre, il y a de la lumière. Cela se produit dans les phénomènes de diffraction et de réfraction des rayons, ainsi que dans les interférences de plusieurs sources lumineuses. Ces phénomènes sont analogues à ceux qu'on peut observer avec les ondes de l'eau, ce qui démontre que la lumière a un aspect ondulatoire.

### Interférences de deux sources lumineuses

Pour que des phénomènes d'interférence entre deux sources de lumière puisse avoir lieu, il a une condition bien précise: **il faut que les deux sources de lumière soient coordonnées**, c'est-à-dire en relation de phase. On réalise aisément cette condition en créant les deux sources à partir d'une seule dont les rayons sont dirigés par deux chemins différents.

La première source éclaire un écran opaque percé de 2 trous ou de 2 fentes, qui constituent les deux sources secondaires. Sur l'écran d'observation placé plus loin, on peut observer des franges alternativement claires et sombres. Les deux faisceaux, issues de la même source primaire, sont coordonnées (en physique on dit cohérents) et ils interfèrent.



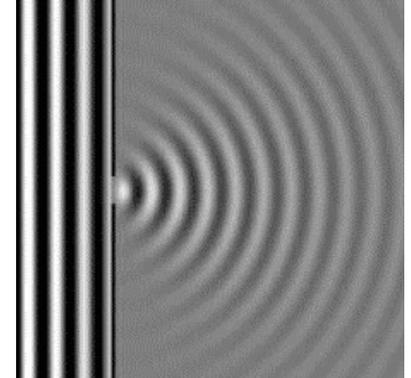
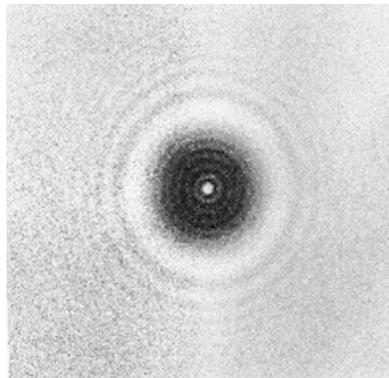
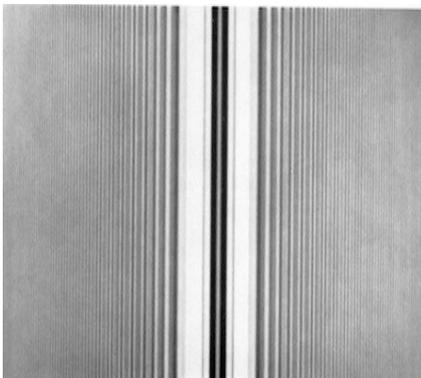
*Expérience de Thomas Young. Un premier écran à gauche sert à définir un faisceau de lumière fin, qui est projeté sur un deuxième écran percé de deux fentes. Sur le 3e écran, on observe un diagramme d'interférences caractéristiques d'un comportement vibratoire de la lumière.*

*Interférence de vagues émises en deux points à la surface de l'eau.*

Pour en comprendre le mécanisme, on peut le rendre visible en observant le même phénomène **dans l'eau**. Des vaguelettes sont créées par deux sources qui pulsent à la même fréquence (donc coordonnées). Des vaguelettes s'éloignent en cercles concentriques de chacune des sources. Lorsque la crête d'une vaguelette issue de la source 1 se mêle à la crête d'une autre vaguelette issue de la source 2, les crêtes se renforcent (point A de la figure). Lorsque la crête de l'une rencontre le creux de l'autre, elles s'annulent (point B).

### Diffraction de la lumière

Si nous éclairons une feuille de papier blanche par un fin faisceau de lumière et que nous interposons un fil sur le trajet du faisceau, nous voyons l'ombre de ce fil sur la feuille. Mais, si le fil est très fin, on peut apercevoir des franges lumineuses dans cette ombre et autour. Elles résultent de l'interférence des faisceaux qui passent (qui sont diffractés) de chaque côté du fil.



*Diffraction de la lumière par un fil. L'ombre géométrique du fil se trouve au centre, incluant les deux bandes sombres. Michel Cagnet, Maurice Françon, Jean Claude Thrier Atlas de phénomènes d'optique, Springer-Verlag, 1962*

*Franges de diffraction de la lumière au passage dans un trou. Document Institut d'Optique, Paris Merci à Bibnum*

*Diffraction d'une onde au passage dans une petite ouverture. Merci à Web pédagogique*

**Chaque fois que la lumière côtoie une bordure, la lumière est diffractée.** Ses rayons sont déviés plus ou moins en fonction de leur distance à la bordure, et ils interfèrent entre eux. On peut s'en apercevoir en éclairant un trou circulaire percé dans une plaque opaque. Sur l'écran d'observation placé à l'arrière, on voit la tache circulaire, projection de la forme du trou. C'est l'image à laquelle on s'attend avec des rayons rectilignes. Lorsque ce trou est très petit, de l'ordre du micromètre (ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière), les bords de l'ombre deviennent flous. On observe des cercles concentriques qui sont de plus en plus faibles et plus en plus larges lorsqu'on s'éloigne du centre.

C'est le phénomène de la **diffraction**. Ce mot, dérivé de fraction, signifie qu'il y a une **brisure du trajet de l'onde**. Ce phénomène se produit lorsque des ondes rencontrent des ouvertures dont les dimensions sont de l'ordre de grandeur de leur longueur d'onde. **La diffraction est la signature de leur nature ondulatoire.**

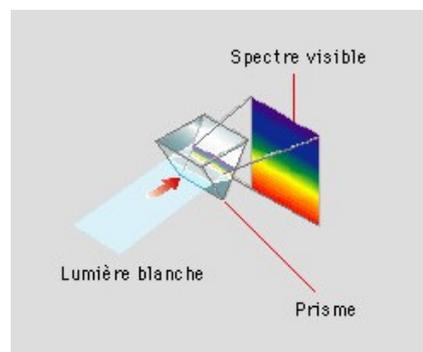
La diffraction de la lumière est analogue à celle qu'on observe dans l'eau. Lorsqu'un train de vagues frontales butte sur une digue dans laquelle est ménagée une petite ouverture, les vagues traversent l'ouverture puis en divergent comme si elle était la nouvelle source. Selon le principe de Huygens et Fresnel, chaque point du front d'onde devient la source d'ondes concentriques et toutes ces ondes se recombinent entre elles.

## Réfraction des rayons lumineux

Notre expérience commune nous offre un autre phénomène dû à la nature ondulatoire de la lumière. Plongez un bâton dans l'eau. Vous avez l'impression qu'il s'est brisé à la surface de l'eau et que la partie dans l'eau a été fléchi. Cela s'explique par le principe de Huygens-Fresnel. Dans l'air, la vitesse des ondes est quasiment égale à celle du vide. Dans l'eau, elle faiblit à cause des interactions électromagnétiques avec les molécules.



*Dans l'eau, le bâton paraît brisé en deux, à cause de la réfraction de la lumière.  
Merci à [Shortdrusilla38](#)*



*Dispersion de la lumière blanche par un prisme  
(Merci à D. Nicole)*

## Dispersion de la lumière blanche

Lorsqu'on interpose un biseau de verre sur le trajet d'un faisceau de lumière blanche, la lumière est réfractée en un éventail de couleurs arc-en-ciel, appelé son spectre. Cela montre que la lumière blanche peut être considérée comme étant la superposition d'un ensemble d'ondes lumineuses dont les fréquences s'étalent sur toutes les teintes.

## La lente élaboration de la théorie ondulatoire

En observant certains rayons naturels de lumière, Francesco Maria Grimaldi (père jésuite italien, 1618-1663) constate que la lumière ne se propage pas seulement en ligne droite, par réflexion ou par réfraction, mais aussi par diffraction et peut produire des interférences. Il relate ces résultats dans son ouvrage *Physico-mathesis de Lumine, coloribus et iride* publié en 1665.

De son côté, Robert Hooke (physicien, astronome et naturaliste britannique, 1635 - 1703) est connu pour son invention ou sa mise au point du **microscope**, grâce auquel il observe l'anatomie des insectes et les structures tissulaires des plantes. Dans une coupe de liège, il découvre des structures répétitives, premières observations de ce qu'il nomme "cellule". Il publie ses résultats dans son ouvrage *Micrographia* (1665) dans lequel sont développées ses considérations sur la lumière.

En optique, **il examine les franges de couleurs** qui se produisent lorsqu'on éclaire en lumière blanche des couches de matière très minces (parois d'une bulle de savon), ou une lentille posée sur une lame de verre mince, ou deux lames de verre minces pressées l'une contre l'autre. C'est ce **phénomène de diffraction de la lumière** qui le conduit à imaginer que la lumière est faite d'ondes. Cela lui vaut une confrontation difficile avec Newton, défenseur de la théorie corpusculaire.

À la même époque, le physicien et astronome hollandais Christiaan Huygens ou Christian Huyghens (1629 — 1695) propose une théorie élaborée de la lumière fondée sur sa nature ondulatoire qu'il publie en 1690, dans son **Traité de la lumière**. Il démontre que les ondes lumineuses peuvent se combiner et que chaque point d'une d'onde émet des ondes

sphériques dont l'enveloppe crée le front d'onde à un instant ultérieur (principe de Huygens). Toutefois, sa théorie possède certaines limitations et elle est éclipsée par la théorie corpusculaire de Newton pendant un siècle.

En 1801, Thomas Young (physicien, médecin et égyptologue britannique, 1773 - 1829) découvre qu'un faisceau de lumière qui est dirigé vers deux fentes produit des interférences (**expérience des fentes de Young**), comme je l'ai exposé [plus haut](#). Elle met incontestablement en évidence la nature ondulatoire de la lumière. Il expérimente de nombreuses autres observations concernant par exemple les reflets colorés d'une lame transparente mince. Toutes confirment sa théorie. Cette théorie a valu à Young de sérieuses attaques de la part de ses confrères, allant jusqu'à des insultes écrites dans des articles de journaux.

## Polarisation des ondes lumineuses

Dans les 10 années suivantes, Augustin Fresnel (physicien français, 1788 - 1827) qui au début ne connaissait pas les travaux de Young, impose peu à peu la vision du caractère ondulatoire de la lumière. Dans ce cadre, il explique la propagation rectiligne, la réflexion, la diffraction par un fil, l'interférence, la double réfraction des cristaux (voir [Mémoire de Fresnel](#)). En 1818, il donne une explication du phénomène de polarisation. Il montre que **la vibration de ces ondes est transversale** (voir [plus haut](#) le sens de ce mot).

## L'éther, substance de l'espace

Puisque la lumière est comme l'eau traversée de vagues, c'est donc que ces ondes lumineuses se propagent par la déformation d'une substance invisible qui remplit l'espace. C'est ce que pensent les savants de l'époque. Elle a reçu la faveur d'Einstein, et a de nouveaux défenseurs aujourd'hui. Cette question est examinée dans le [troisième article](#) de cette série.

Ainsi pour Robert Hooke, la lumière est produite par les petits mouvements vibratoires d'un milieu subtil, homogène, mouvements transmis dans tous les sens comme les rayons partant du centre d'une sphère. Christian Huygens (Traité de la Lumière, 1690) explique la double réfraction en supposant qu'en pénétrant dans le spath d'Islande, la lumière crée dans l'éther deux espèces d'ondes, les unes sphériques, produisant la réfraction ordinaire, les autres ellipsoïdiques.

L'idée qu'une substance invisible remplit l'espace remonte à l'aube (pas la nuit !) des temps. **Elle a des racines archétypales, car elle reflète une réalité.** Mais cette réalité ne se situe pas au niveau matériel ordinaire, mais à des niveaux subtils non accessibles aux observations matérielles (voir [Corps subtils et chakras](#)). Par ailleurs, ces savants n'étaient plus en mesure de la comprendre.

## La lumière et les champs électromagnétiques

Pendant ce temps, plusieurs savants découvrent que les aimants et les courants électriques provoquent des influences à distance qui sont sensibles dans tous les points de l'espace environnant.

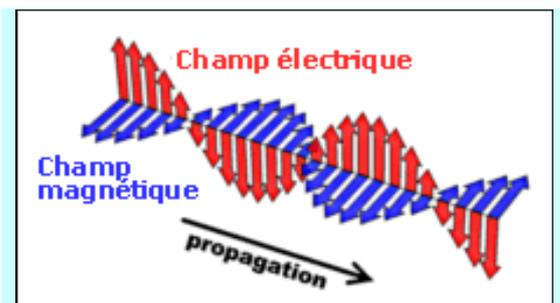
Hans Christian Ørsted (physicien et chimiste danois, 1777 – 1851) et André-Marie Ampère (physicien et chimiste français déjà cité à propos de l'électron, 1775 - 1836) montrent qu'un fil traversé par un **courant électrique crée des effets magnétiques**.

À leur suite, Michael Faraday (physicien et chimiste britannique, 1791 - 1867) constate que si on déplace un aimant près d'un fil conducteur, un courant électrique apparaît dans le conducteur. C'est le phénomène de l'induction électromagnétique, à la base du principe de la dynamo. Cette expérience et bien d'autres le conduisent à introduire la notion de lignes de force ou **lignes de flux qui émanent d'un aimant**. Vers 1849, il propose que les forces électromagnétiques s'étendent dans tout l'espace vide autour du conducteur.

De ces constatations, il établit **le concept de champ**. Le champ d'une grandeur, telle que la force magnétique, décrit la valeur que prend cette grandeur en tout point de l'espace. Pour Faraday, les lignes de force magnétique **confèrent à l'espace de nouvelles qualités physiques**. L'idée de ligne de force est rejetée par ses collègues.

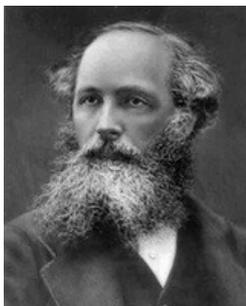
En 1864, James Clerk Maxwell (physicien et mathématicien écossais déjà cité pour sa contribution à la théorie cinétique des gaz, 1831 - 1879) unifie les résultats des travaux de Faraday, d'Ampère, de Gauss, d'Ohm, et d'autres, sur l'électricité, le magnétisme et l'induction, en les formulant sous forme d'un ensemble d'équations. Nommées désormais équations de Maxwell, elles décrivent **les relations du champ électromagnétique et des courants électriques avec la matière**.

*Information peu connue: À l'origine, ces équations sont au nombre de 20, incluant des entités mathématiques nommées quaternions, nombres complexes à 4 composantes. En 1873, Maxwell les condense en 8 équations. Plus tard Heaviside les tronque pour n'en conserver que 4 sous la forme qui est enseignée actuellement.*



*Selon Maxwell, la lumière est la vibration transversale d'un champ électrique et magnétique*

*Merci à Jean-Michel Courty, CNDP*



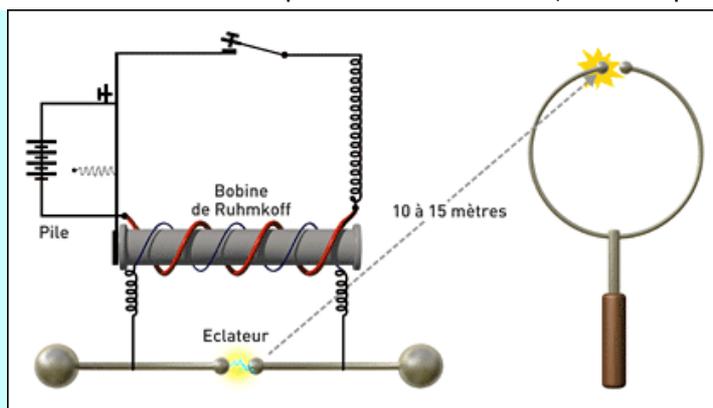
James Clerk Maxwell  
Merci à James Clerk  
Maxwell Foundation

Les équations de Maxwell prévoient que les champs électriques et magnétiques se propagent dans l'espace sous la forme d'une onde à la vitesse de la lumière, **l'onde électromagnétique**. Puis Maxwell interprète **la lumière comme étant elle-même une onde électromagnétique**. En 1864, il écrit: L'accord des résultats semble montrer que la lumière et le magnétisme sont deux phénomènes de même nature et que la lumière est une perturbation électromagnétique se propageant dans l'espace suivant les lois de l'électromagnétisme.

Pour Maxwell, le champ électromagnétique était fait d'une nouvelle substance qui remplit le vide. En parlant de l'Énergie du champ, je souhaite être entendu littéralement. Toute énergie est pareille à de l'énergie mécanique, qu'elle existe sous la forme de mouvement ou celle d'élasticité, ou sous toute autre forme. L'énergie dans les phénomènes électromagnétiques est de l'énergie mécanique. La seule question est celle-ci. Où réside-t-elle?

En 1888, Heinrich Hertz (physicien allemand, 1857 - 1894) **confirme expérimentalement l'existence des ondes électromagnétiques** prévues par Maxwell. Il actionne un circuit électrique muni d'un éclateur, une coupure où se produisent des étincelles. Il a la surprise de constater que des étincelles se produisent alors par influence d'ondes dans une boucle servant de récepteur, munie elle aussi d'un éclateur. Il a découvert l'émetteur d'ondes radio, non visibles, appelées ondes hertziennes.

Or, c'est ce même Hertz qui parallèlement en 1887 découvre l'effet photoélectrique qui va progressivement remettre en cause tout l'édifice des conceptions de la physique classique sur le plan microscopique, et impulser les bases de la physique quantique (voir [article suivant](#)).



Mise en évidence expérimentale des ondes radioélectriques par H. Hertz  
Merci à Jean-Michel Courty, CNDP

## Controverses et émotions chez les scientifiques

On se fait habituellement **une image de la recherche scientifique qui n'est pas conforme à la réalité**, colportée par les ouvrages d'enseignement et par les médias. On nous dit que la science progresse pas à pas, en accumulant les observations, puis en construisant une théorie qui les explique. Lorsque de nouveaux faits ne sont pas en accord avec cette théorie, on modifie la théorie ou on l'abandonne.

**Les scientifiques seraient donc des hommes paisibles et sages** qui communiquent pour échanger leurs arguments, examinent leur valeur par un raisonnement objectif et honnête, et conservent les théories qui font leurs preuves. Si un défaut apparaît dans la théorie, ils vont recueillir d'autres résultats et reformuler la théorie.

En pratique, cela ne se passe pas du tout comme ça. Tout au long de cette présentation, nous avons constaté combien l'introduction de nouveaux concepts est accueillie avec réticence et suscite souvent de vives oppositions de la part de la communauté scientifique. Les opposants entretiennent des controverses houleuses. Certains écrivent parfois des critiques très sévères dans des articles de journaux où ils n'hésitent pas à employer l'insulte et la diffamation.

Newton (1687) a été vivement critiqué en France pour son concept de **force d'attraction universelle**. On l'accusait de faire appel à des explications magiques. Cela n'a rien d'un argument scientifique, mais une opposition a priori pour des raisons métaphysiques (= au-delà de la physique).

En 1794, le physicien allemand Ernst Chladni (connu par ailleurs pour ses études sur la création de formes par les sons) publie un livre où il expose que **les météorites sont des cailloux du ciel bien réels** et non des illusions. Il est alors exposé à un **feu soutenu de critiques** car ses idées offensent pour les uns la théologie, pour les autres les idées des Lumières. Des pierres ne peuvent pas venir du ciel puisqu'il n'y a pas de pierres dans le ciel.

À son tour Thomas Young (1801) subit de vives critiques et des insultes lorsqu'il introduit l'idée que **la lumière est de nature ondulatoire**, qui s'opposait à la nature corpusculaire des théories de Newton. À la même époque, la **théorie de l'atome** de John Dalton (1803) déclenche également de violentes controverses.

Lorsque Friedrich Reinitzer découvre l'existence d'un **état intermédiaire entre le liquide et le solide, nommé cristal liquide** (1888), son équipe est soupçonnée de ne pas avoir pris toutes les précautions de propreté dans ses expériences.

Le pugilat tourne parfois au drame, comme c'est le cas pour **Ludwig Boltzmann** qui se suicide en 1906, alors que sa **théorie atomique des gaz** suscite de violentes réactions.

## Les opposants

Les opposants sont généralement des scientifiques bien installés et bien acceptés par leurs collègues pour leurs travaux dans le cadre des concepts en cours, qu'ils ont passé beaucoup de temps à intégrer, utiliser et développer. De la même façon qu'une personne qui a fait beaucoup de travaux pour retaper une maison a beaucoup de mal à s'en séparer si elle doit déménager, de même ces scientifiques ne peuvent pas envisager que les théories qui sont à la base de leurs travaux soient abandonnées, et que leurs travaux risquent d'être considérés comme dépassés. Il faut attendre 10 ans, 20 ans, quelquefois plus, que les gardiens de vieux concepts ne soient plus en service ou soient morts, pour que la nouvelle théorie soit acceptée par la communauté.

Il est clair qu'il s'agit de réactions émotionnelles liées aux égos. Ces scientifiques ont peur de perdre leur célébrité et de ne plus recevoir les crédits nécessaires à leurs recherches. Inconsciemment, ils craignent **de perdre leurs repères, leur valeur, et même leur identité**. S'ils ont bien développé leur mental et leur faculté de raisonner, cela n'entraîne pas automatiquement une conscience de soi suffisamment affinée pour observer en eux les racines de leurs réactions émotionnelles. Ils sont incapables d'observer que leur **peur de perdre l'estime de soi et le besoin de reconnaissance sont liés aux blessures de l'enfant intérieur**. Un mental brillant n'est pas forcément signe de sagesse.

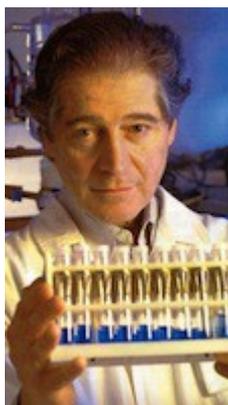
En réalité, les théories anciennes ne sont pas forcément dépassées, et les travaux qui en sont issus gardent toute leur valeur, ne serait-ce que pour avoir contribué à construire le cadre qui permet aux nouvelles théories d'émerger. Bien plus, il arrive souvent que **les deux théories en présence soient les deux facettes d'une même réalité et que la théorie en perte de vitesse renaisse plus tard sous une autre forme**. Mais **l'égo des hommes ne peut pas accepter la coexistence des deux, et exige un gagnant exclusif et un perdant**. Si l'un a raison, cela signifie que l'autre a tort. L'exemple de la réconciliation faite en physique quantique des aspects corpusculaire et ondulatoire de la lumière montre que la vérité se situe à un autre niveau qui inclut les deux autres.

Heureusement, il existe des exceptions, **des scientifiques qui bien qu'étant en désaccord, savent s'écouter, se comprendre et s'estimer**. C'est le cas remarquable d'Albert Einstein et de Niels Bohr qui se sont opposés une bonne partie de leur vie, jusqu'à la mort d'Einstein en 1955, à propos du caractère probabiliste de la mécanique quantique. Leurs discussions acharnées et saines ont grandement contribué à faire émerger les concepts les plus profonds de la mécanique quantique (voir article suivant [Les concepts fondamentaux de la physique quantique](#)).

## Le gâchis des dogmes scientifiques

Parmi les opposants, certains occupent des positions hiérarchiques qui leur donnent des moyens pour imposer leurs convictions. En ayant facilement accès aux moyens de communications, ils peuvent orienter la pensée commune et déclencher des campagnes d'opinion pour ridiculiser les adversaires. Ou bien ils font en sorte d'**étouffer les moyens d'expression et d'action de leurs adversaires**. Ils ont la possibilité de refuser la publication d'un article dans un journal scientifique. Ils peuvent couper les crédits de recherche d'une équipe. Ils peuvent également rejeter les résultats expérimentaux nouveaux de leurs collaborateurs qui ne correspondent pas aux théories établies.

### La mise à l'écart du professeur Jacques Benveniste



Professeur Jacques Benveniste

Merci à Ass. J. Benveniste pour la Recherche

En biologie, le cas du professeur Benveniste est typique de cette opposition farouche. En 1971, Jacques Benveniste (médecin et immunologiste français, 1935 - 2004) a une grande notoriété après sa découverte d'un facteur activateur des plaquettes sanguines. Par la suite, il étudie les réactions de globules blancs mis en présence d'anticorps spécifiques. En 1988, il démontre, en collaboration avec 5 autres laboratoires de différents pays, qu'il obtient des résultats équivalents lorsqu'il expose les globules blancs à de l'eau ayant contenu ces anticorps et diluée de telle sorte qu'il n'en reste plus aucune molécule. Il interprète le phénomène comme la transmission d'une information de la molécule d'anticorps dans l'eau. Il soumet un article pour publication dans la revue Nature.

L'article est publié, mais avec un **avertissement du rédacteur en chef** indiquant que ces observations ne reposent sur aucun fondement physique. Un mois plus tard, ce rédacteur entreprend une **parodie d'expertise** dans les locaux même du laboratoire de Benveniste accompagné d'un magicien et autres personnes pour détecter d'éventuelles supercheries. Ne retenant que les tests négatifs qu'ils ont mené eux-mêmes et passant sous silence les tests positifs du laboratoire et des autres, ils publient un **article**

**dénigrant tout le travail de Benveniste**. Discrédité, Benveniste est évincé de son institut de recherche, l'INSERM, en 1995. Il en est réduit à s'installer dans un baraquement de chantier pour continuer ses recherches en privé.

En 2001, l'équipe de Madeleine Ennis en Irlande, au départ très sceptique sur les théories de Benveniste, refait les expériences et valide ses résultats. Ses conclusions, publiées dans une petite revue, passent inaperçues. Bien d'autres expériences sur les fondements de l'homéopathie sont conduites par la suite avec succès dans d'autres universités, mais restent confidentielles. Exemple, l'article de David Reilly de Glasgow en Écosse est publié avec un avertissement des éditeurs mentionnant qu'ils ne reconnaissent pas les résultats.

**Dans l'institution, il est malvenu de prétendre qu'une information peut être véhiculée d'une molécule à une autre par l'intermédiaire de l'eau.** Cette position est imposée sans justification, comme un dogme. Tout chercheur qui veut s'engager dans cette voie est mis à l'écart. Pourtant, pour un non-spécialiste de la biologie, il n'y a là rien d'extraordinaire. On est habitué au transport d'information par des ondes sans que cela nécessite la présence de molécules. Cette information peut agir sur la matière liquide et solide, et par exemple, être affichée sur votre écran d'ordinateur.

**Il a fallu attendre 20 ans pour que ces phénomènes trouvent une certaine reconnaissance.** En 2008, le professeur Luc Montagnier, prix Nobel de médecine, découvreur du virus HIV écrit: La biologie moléculaire [...] a atteint des limites et elle n'explique pas tout. Certains phénomènes, comme l'homéopathie, restent mystérieux. Je fais allusion à certaines idées de Jacques Benveniste (le scientifique qui a inventé la «mémoire de l'eau») car j'ai récemment rencontré des phénomènes que seules ses théories semblent pouvoir expliquer. Dans ses recherches, L. Montagnier arrive à reconstituer l'ADN d'un virus en l'absence de molécules de cet ADN, mais en présence de ses constituants et du signal enregistré dans l'eau émis par la molécule de cet ADN, confirmant expérimentalement les vues de Benveniste.

## Interdiction de déroger aux dogmes

**Qu'est-ce qui pousse donc ces détracteurs à occulter la vérité à tout prix, au détriment des chercheurs, de l'humanité et, en définitive, d'eux-mêmes?** Pourquoi ces comportements violents et cet enfermement dans une vision limitée à court terme? Parce qu'ils sont sous l'influence directe ou interposée de groupes de pression que cette vérité dérange.

**La science n'est pas objective.** Son jeu est faussé par les forces émotionnelles de la communauté scientifique. Le cas de la mémoire de l'eau n'est pas le seul exemple d'interprétation scientifique imposée par des autorités sans possibilité de discussion franche. Au cours de leur formation, les chercheurs sont imprégnés de quelques théories toutes faites et admises sans critique qui sous-tendent toutes leurs recherches. En voici trois.

## Le modèle cosmologique standard du big bang

À partir des mesures effectuées dans le cosmos, les chercheurs ont élaboré des modèles d'évolution de l'univers. En faisant fonctionner ces modèles dans l'autre sens, on peut remonter à un univers de plus en plus chaud et de plus en plus contracté jusqu'à son origine supposée, le big bang, il y a 13,82 milliards d'années, où les forces élémentaires sont probablement unifiées. En supposant que les lois physiques soient toujours valables à ce moment-là, on peut calculer qu'à l'instant de  $10^{-43}$ s ou temps de Planck, l'univers aurait une température de 1032 degrés et une taille de  $10^{-35}$  m (distance de Planck).

Ce scénario est considéré comme accepté définitivement. Tout résultat de mesure en astrophysique est placé délibérément dans le cadre de la théorie du big bang.

Mais alors pourquoi, en 2004, 33 éminents scientifiques, puis 150 en 2006, ont-ils adressé une lettre à la communauté scientifique publiée dans NewScience, dans laquelle ils dénoncent la dominance, en particulier budgétaire, du modèle standard du big bang et de l'expansion de l'Univers. Pour eux, la théorie du big bang n'est pas le seul modèle à disposition pour comprendre l'histoire de l'univers.

Dans le monde de la cosmologie aujourd'hui, le doute et la dissidence ne sont absolument pas tolérés; ainsi de jeunes scientifiques apprennent à rester silencieux s'ils ont quelque chose de négatif à dire à propos du modèle standard du big bang. Ceux qui doutent de la théorie du big bang ne veulent pas le dire de peur que cela ne leur coûte leurs fonds de recherche. [NewScience](#)

## Le hasard et la sélection darwinienne

On nous redit à satiété dans tous les documentaires et publications sur la terre, l'archéologie, les animaux, etc. que le monde est ce qu'il est parce que des éléments matériels issus du big bang se sont organisés par hasard et ont évolué selon les modalités de la sélection darwinienne. C'est le cadre d'interprétation obligatoire de toute découverte archéologique ou ethnologique. Selon ce scénario imposé:

L'espace est parsemé de matière qui s'est formée par hasard à partir du big bang, et se trouve positionnée là par hasard. Ses mouvements se sont organisés au hasard. **Le hasard intervient en permettant les rencontres des éléments matériels, liées aux probabilités de rencontres sur de grandes durées de temps.** Les associations qui sont les plus stables, telles les étoiles et les planètes, perdurent au détriment des autres. Toutefois, les étoiles et le soleil vont mourir sous l'effet de l'entropie qui conduit l'univers vers l'uniformisation.

Par hasard les constantes de l'univers (force de gravitation, vitesse de la lumière, constante de Planck, etc.) se sont trouvées fixées dans les conditions optimales pour permettre l'apparition de la vie sur terre. Sur terre, les molécules se sont formées par hasard, se sont rencontrées, ont formé par hasard de l'ADN, puis des cellules, puis des animaux. Seuls ont proliféré les animaux qui ont réussi à **survivre mieux que les autres, grâce à des mutations génétiques aléatoires qui leur ont conféré des avantages (sélection darwinienne)**. Ils ont par hasard évolué en un être humain.

**L'évolution humaine a consisté à acquérir des avantages physiques et mentaux** par rapport aux autres peuples, afin de mieux vivre en se nourrissant mieux et en conquérant des territoires par la lutte. Ceux qui trouvent des solutions plus favorables prennent le dessus et survivent aux dépens des autres. Il s'ensuit logiquement que la civilisation actuelle détient l'ensemble des meilleures solutions. Autrement dit **nous sommes la civilisation techniquement la plus avancée** ayant jamais existé.

Si un archéologue trouve un nouveau squelette, il cherche immédiatement à le resituer dans la chaîne évolutive et à déceler son avantage sélectif dans une ambiance de lutte, avant même que sa trouvaille ait été complètement observée.

Notons tout d'abord que ce scénario suppose que **les sociétés étaient systématiquement en compétition et en lutte** pour leur survie. Cette idée est très limitative, elle correspond à une projection de notre mentalité actuelle où le caractère masculin s'est dévoyé en devenant arrogant. Certes, la lutte a existé intensément, mais ça n'a pas été le seul mode de développement. Le féminin coopératif et respectueux a eu ses époques (le féminin dévoyé aussi), et il est encore vécu et enseigné par certains peuples de la Terre comme les Kogis ou les Aborigènes australiens. Il serait important de le prendre en considération.

D'autre part, les modalités d'une évolution par rencontres fortuites et par adaptations successives de façon progressive et continue n'ont rien d'une observation. Elles ne sont qu'un modèle, une interprétation hypothétique, tentant de tisser un lien entre un nombre limité de trouvailles archéologiques. La puissance créative de ce processus n'a jamais été démontrée, en particulier l'apparition d'organes. **D'autres modèles sont possibles et ont été proposés, mais les opposants sont ignorés dans cette grande foire darwinienne.** Comme la motivation de certains d'entre eux était leur croyance biblique littérale en la création, il est facile d'y amalgamer les autres et de proclamer qu'on est soit darwinien soit créationniste, comme si aucun autre scénario ne pouvait être envisagé (voir par exemple [A critique of Darwin's theory of evolution](#)).

## Le refus de tenir compte des plans supérieurs de réalité

Un troisième dogme à ne pas franchir est **le refus d'introduire dans la science les réalités des plans spirituels, pourtant largement constatées.** Non pas des affirmations abstraites et improuvables comme la création du monde par Dieu, mais une réalité que beaucoup ont exploré en conscience élargie, celle des plans supérieurs de conscience, qui commence avec la reconnaissance de l'existence des corps subtils, des circuits vitaux et des chakras dans le corps humain.

Basée sur certaines informations concernant ces plans, ainsi que sur les avancées de la science physique qui sont exposées dans les articles suivants, voici un bref aperçu de **ma vision sur de nouvelles pistes décrivant notre évolution.** Elle est exposée de façon plus détaillée dans les articles [Les origines de la vie](#) et [Aspects géométriques et sonores des créations de l'univers.](#)

Le professeur Luc Montagnier déjà cité a montré qu'une réaction chimique peut être guidée par un signal électromagnétique enregistré dans l'eau. Au lieu de se produire au hasard, **la réaction suit le schéma directeur de ce signal.** Par ailleurs, Karl Pribram a démontré que les informations traitées par le cerveau n'ont pas leur source dans le cerveau même, mais dans un **champ d'information de type hologrammique** qui l'englobe. Enfin Peter Gariaev et d'autres ont montré que **l'information génétique était contenue dans un tel champ capté par l'ADN.**

Cela m'induit à considérer que **les plans supérieurs de réalité** - le plus élémentaire se situant au niveau d'une matière subtile appelée éther ou matrice cosmique (voir [3e article de cette série](#)) - sont **les réservoirs de schémas directeurs des créations qui s'effectuent sur le plan matériel.** Les êtres reçoivent les schémas qui président à leur évolution quand le moment est favorable.

Une telle vision est en accord avec les textes anciens et les légendes qui affirment que le monde a été créé à partir de sons, ou du verbe, les sons étant la forme que les visionnaires ont perçue de ces schémas directeurs.

## Géocentrisme, une connaissance ancienne rendue confuse

Les historiens des sciences aiment montrer combien nos connaissances ont réalisé un passage extraordinaire lorsque les scientifiques ont accepté l'idée que les planètes et la terre tournent autour du soleil. Ils insistent sur le fait que l'humanité est passée d'une ère d'ignorance et de superstition à une ère de vérité et de liberté d'esprit, grâce à la science. Ce faisant, ils encensent les nouvelles découvertes qui sont effectivement le fruit méritoire d'un effort de vérité. Mais par ailleurs, ils sont aveugles aux réalités d'une autre nature dont sont porteuses les anciennes théories, sous une forme souvent dégradée il est vrai.

Dans l'antiquité grecque, Aristote (né en 384 av.J.C.) imaginait que le soleil et les planètes tournaient autour de la Terre qui restait immobile. C'était aussi la vision de Claude Ptolémée (90-168), un grec d'Alexandrie, dont l'ouvrage a été traduit par les arabes sous le nom d'Almageste. Sa vision a été colportée en Occident à travers les arabes dès le 9e siècle. Pour Aristote, les planètes et les astres sont fixés sur des sphères concentriques matérielles qui entourent la Terre et sont mobiles. En tournant, elles entraînent les astres.

Jusqu'au 17e siècle, même après les travaux de Kepler et de Galilée, la théorie de l'héliocentrisme est refusée par les Universités, faute de preuves expérimentales concluantes, soit pour des raisons de logique (qu'ils conduisent sur une

base erronée), soit pour des raisons religieuses. On s'appuie sur les écritures sacrées, et l'Église peut considérer comme hérétique quiconque diffusera des idées contraires à ces écritures.



*Le système de Ptolémée  
Gravure du XVIIe siècle  
Bibliothèque nationale de France, Paris. Ph. Coll.  
Archives Larbor  
Merci à Encyclopédie Larousse*



*Saint Denis et la hiérarchie céleste  
Enluminure d'un manuscrit en français ayant  
appartenu à Philippe le Long (1294-1322)  
Bibliothèque nationale de France  
Merci à Citadelle*

Au système des orbes planétaires d'Aristote, l'Église superpose **les hiérarchies célestes**. Ces hiérarchies étaient connues et décrites par les Pères de l'Église, surtout par Denys, dit aussi Pseudo-Denys l'Aréopagite (ayant vécu au 5e ou 6e siècle), dans sa **Hiérarchie céleste**. Il y distingue 9 strates régies chacune par une catégorie d'êtres angéliques (Séraphins, Chérubins, Trônes, Dominations, Vertus, Puissances, Principautés, Archanges, Anges).

Pour l'Église du 13e siècle, le système d'Aristote et celui des hiérarchies célestes décrivent la même chose. Les anges actionnent les sphères orbitales. Les théologiens cherchent comment concilier l'existence de ces couches célestes dures avec les indications de la Bible. Comment les élus vont-ils s'y prendre pour traverser ces couches lors du jugement dernier?

En considérant cette représentation de la Terre au centre du monde, les historiens actuels y voient de l'**égocentrisme**. Placer la Terre au centre, c'est se placer soi-même au centre. Pourtant on ne voit rien dans les textes qui justifie un tel jugement. Je me demande si ce n'est pas **notre mentalité actuelle qu'ils projettent sur un comportement ancien, ce que j'appelle une interprétation projective**. D'ailleurs, si égocentrisme il y avait, il n'a pas été éliminé par l'héliocentrisme, puisque nous avons le sentiment que nous sommes meilleurs et que nous avons éliminé la magie et la superstition grâce à nos connaissances scientifiques. Car ce que ne relèvent pas les historiens, c'est qu'il y a une confusion entre deux réalités, deux mondes qui coexistent mais sont situés à des niveaux vibratoires différents.

Le mouvement des planètes que décrit la science est héliocentrique et la science en a donné des indications de plus en plus précises. Mais **les couches angéliques décrivent les plans vibratoires que les âmes traversent au moment de leur descente en incarnation et au moment de leur remontée après la mort**. Ce monde est décrit dans le Livre des morts tibétain, le Livre des morts égyptien, des enseignements plus récents de Rudolf Steiner, d'Alice Bayley et de bien d'autres. Des grecs comme Pythagore, formé chez les prêtres égyptiens, ont été initiés à cette connaissance. Pythagore a donné un enseignement secret à ses élèves. **Il est donc probable que le géocentrisme grec et par conséquent le géocentrisme occidental proviennent de ces enseignements dont on a perdu le sens d'origine**. Cette connaissance-là s'est dégradée.

En traversant les couches angéliques, l'âme acquiert ou se libère de certaines influences. Certaines écoles les mettent en lien avec la qualité d'un métal, d'une couleur ou d'une planète, d'où la confusion facile avec une planète réelle. L'âme n'aborde pas la terre à bord d'un vaisseau spatial qui voyage aux travers des orbites planétaires.

Décrivant un chemin d'évolution de soi, il est normal que **le centre, point de départ de l'évolution, soit occupé par la Terre**. Une représentation proche qu'on trouve dans d'autres civilisations est la spirale ou le labyrinthe qui décrivent le voyage de l'âme incarnée.

**Des millions de personnes peuvent attester avoir voyagé en conscience dans d'autres sphères de réalités**. D'autres le font en rêve, sans comprendre. Certaines ont raconté leurs aventures dans leurs ouvrages. Elles

sont beaucoup plus nombreuses à témoigner que les astrophysiciens découvrant une exoplanète ou que les scientifiques ayant analysé la courbe d'un synchrotron révélant la probabilité non nulle de l'existence d'une nouvelle particule. Et pourtant, la science ignore totalement leurs témoignages.

Actuellement, nous vivons dans un état de dichotomie. D'un côté la science, de l'autre côté les sentiments et l'aspiration spirituelle. On s'accommode de cette séparation. **Il est temps de reconnaître les différents plans de réalité, et de les intégrer dans un Tout harmonieux.** Je souhaite que cet article, ceux qui suivent, et ceux qui parlent des [réalités parallèles](#) dans ce site, contribuent à réunifier et alchimiser ces deux aspects qui se côtoient en vous.

## Scientifiques guidés par des visions

Il arrive souvent que **la pensée d'un modèle ou la solution à une question surgisse brusquement comme une vision** venue d'ailleurs à l'esprit du scientifique, sans qu'il s'y attende. Cela va à l'encontre d'un autre cliché tenace qui nous présente des chercheurs qui avancent pas à pas en partant des faits dans une démarche déductive inébranlable. Cette image correspond à une phase ultérieure où le scientifique doit valider son modèle en l'établissant sur des fondements rigoureux.

Peu de scientifiques se confient sur la façon dont leur théorie s'est imposée à eux en vision, comme si c'était une faute, un manquement à la déontologie, et qu'il ne fallait pas avouer l'aspect non logique et non déductif de leur production. Certains ont toutefois osé porter témoignage (par exemple Essai sur la psychologie de l'invention dans le domaine mathématique, Jacques Hadamard, 1978, Gauthier-Villars). Et c'est bien **l'intervention de l'imaginaire qui a constitué pour eux les moments les plus vivants et les plus excitants de leur construction scientifique.**

Ainsi Henri Poincaré (mathématicien français, 1854 - 1912) raconte comment la solution à son interrogation se présente à lui brusquement dans des circonstances inattendues, au moment où il a oublié sa question. Les péripéties du voyage me firent oublier mes travaux mathématiques; arrivés à Coutances, nous montâmes dans un omnibus pour je ne sais quelle promenade; au moment où je mettais le pied sur le marchepied, **l'idée me vint, sans que rien dans mes pensées antérieures ne parût m'y avoir préparé, que les transformations dont j'avais fait usage pour définir les fonctions fuchsienues étaient identiques à celles de la géométrie non-euclidienne.** Je ne fis pas la vérification; je n'en aurais pas eu le temps puisque, à peine assis dans l'omnibus, je repris la conversation commencée; mais j'eus tout de suite une entière certitude. (Henri Poincaré, L'invention mathématique, 1908, cité par B. Nicolescu, Nous, la particule et le monde).

Un autre exemple est le cas de Friedrich Kekulé von Stradonitz (chimiste allemand, 1829- 1896). Il a compris que **la molécule de benzène** avait une forme d'anneau car sa représentation lui est venue en rêve sous la forme d'un serpent qui se mord la queue.

## Les rêves sources de nouvelles connaissances

Recevoir des indications en rêve pour résoudre un problème ou inciter à un changement d'attitude est chose courante. Beaucoup d'entre nous ont fait l'expérience de s'endormir avec une question et de se réveiller avec la réponse. On peut tirer profit de ce processus en lui accordant de l'attention pour développer cette capacité.

Écouter les instructions de ses rêves est une pratique habituelle dans certaines populations. Les Senoïs, un peuple de Malaisie aujourd'hui disparu, étaient connus pour organiser leur journée en fonction des rêves de la nuit, qu'ils partageaient collectivement le matin.

Le même type de transmission de connaissance existe à l'état éveillé. Il est un autre dogme, cette fois chez les ethnologues, qui énonce que **les connaissances pratiques de l'agriculture et de la pharmacopée auraient été construites peu à peu par empirisme**, par essais et erreurs, en retenant ce qui marche bien. Or les indiens d'Amazonie disent que **les plantes leur parlent, leur transmettent des chants spéciaux**, et que grâce à cette communication, ils ont trouvé des associations de plantes médicalement efficaces. La probabilité de les trouver par empirisme est quasi-nulle.

Comment les scientifiques peuvent-ils ignorer ce que racontent les indigènes eux-mêmes sur les sources de leurs connaissances? Ils n'accordent aucune valeur à leurs récits, et les relèguent au rang de superstitions. C'est avouer "moi je sais, et toi non". Autrement dit, c'est croire que nous détenons la vérité et toute la vérité et que nous sommes supérieurs.

C'est loin d'être le cas, bien au contraire, car au nom de la démarche cartésienne, les scientifiques se sont coupés de tout un pan de la connaissance. Ils ont élaboré leurs théories sur la réalité de la matière et seulement de la matière. Même la pensée et les images mentales seraient produites par l'excitation électrique du cerveau, et deviendraient une émanation de la matière.

La science officielle refuse de considérer les plans de conscience modifiés comme une réalité. Ni le rêve, ni les états de conscience élargie obtenus au cours de rituels ou de méditation, ne sont pris en considération autrement que comme hallucinations aléatoires du cerveau.

## Les théories sont le produit de leur époque

On présente aussi le scientifique interrogeant librement la nature, qui lui répond dans les limites de l'instrumentation disponible à son époque. Or, non seulement l'instrument est souvent conçu ou fabriqué par les scientifiques eux-mêmes en lien avec leurs interrogations, mais leurs interrogations sont imprégnées de la mentalité d'une époque, de la culture, de la religion, de la moralité et des interdits sociaux.

Cette imprégnation est largement inconsciente. **L'homme a tendance à mettre de côté ce qui ne cadre pas avec sa logique.** Ce n'est pas parce qu'il est en présence d'un phénomène qu'il le voit, qu'il l'examine et qu'il se questionne. On ne voit qu'en fonction d'une disposition d'esprit. Par exemple, quelqu'un peut se trouver souvent au volant de sa propre voiture, sans se poser la question de savoir comment l'impulsion qu'il donne au volant est transmise aux roues. Tout simplement parce que cela ne l'intéresse pas, ça ne l'interpelle pas. Et c'est ça, **on ne voit que lorsqu'on est interpellé.** Ça n'est pas parce qu'on voit la lune se lever chaque soir à une heure différente qu'on se demande quelle est la loi qui fixe son heure du lever. La connaissez-vous?

Comme l'ont montré les travaux d'Alexandre Koyré (philosophe et historien des sciences français d'origine russe, 1892 - 1964), les savants sont le produit de leur époque, des conditions matérielles et des idées qui y régnaient, même s'il y a eu des visionnaires. Voici quelques exemples de liens entre une théorie et la pensée d'une époque.

Niels Bohr a proposé que l'aspect onde et l'aspect particule de la matière sont complémentaires et mutuellement exclusifs. L'idée lui en est venue par analogie avec les doubles consciences qui se manifestent alternativement chez un hystérique.

Einstein était très gêné par l'interprétation probabiliste de l'onde quantique et ne l'acceptait que comme une description incomplète et provisoire. Dans une lettre à Born (1926), il écrit: La théorie quantique nous apporte beaucoup de choses, mais elle nous rapproche à peine du secret du Vieux.

Newton mêlait ses recherches en optique et en mécanique et d'autres en théologie et en alchimie.

C'est en partant de considérations mystiques que Kepler a découvert les lois fondamentales qui régissent les mouvements des planètes (voir [plus haut](#)). Il y voit un message divin adressé à l'Homme. Son modèle du système solaire est construit sur la sphère, géométrie parfaite par excellence, image de la lumière. Les orbites des six planètes connues à l'époque (de Mercure à Saturne) sont représentées par six sphères entre lesquelles peuvent être contenus les cinq solides de Platon. Les solides de Platon sont des polyèdres réguliers, exprimant eux-aussi la perfection divine. Ainsi à Saturne est associé le cube, à Jupiter le tétraèdre, à Mars le dodécaèdre, à Vénus l'icosaèdre et à Mercure l'octaèdre.

## Le cadre de la physique aux alentours de 1900

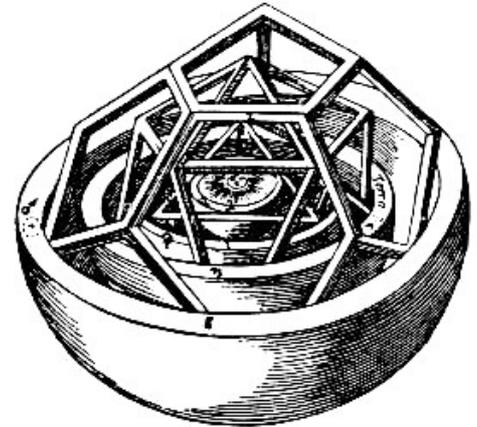
En 1900, la physique a accumulé un très bel ensemble de théories puissantes et unificatrices et semble être parvenue à expliquer tous les phénomènes connus du monde de la matière et des rayonnements.

### L'évolution du monde matériel est déterminée

La matière est faite d'atomes. Par les lois du mouvement de Newton et de Lagrange, il est en principe possible de **décrire complètement le comportement de la matière et son évolution**, en calculant le mouvement de chacun des corpuscules. En pratique, comme il est démesuré de les décrire un à un, on peut se contenter de décrire des populations de corpuscules par la mécanique statistique, comme l'a fait Boltzmann dans la théorie moléculaire des gaz.

Si on connaît l'état d'un système à un moment donné, par la donnée de ses grandeurs dynamiques (positions, vitesses), alors son évolution est déterminée et inéluctable jusqu'à intervention d'une autre force. Il est même possible de remonter dans son passé en calculant sa trajectoire à rebours.

Cette pensée est exprimée par Pierre-Simon de Laplace (mathématicien, astronome et physicien français, 1749 - 1827) de la façon suivante (Essai philosophique sur les probabilités, 1814, cité par M.E. Berthon, le défi quantique): Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur, et comme cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui pour un instant donné connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ses données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome: rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux."



*Le système solaire imaginé par Kepler  
Alternance de sphères et de polyèdres  
Extrait de *Mysterium Cosmographicum*  
(1596)  
Merci à Wikipédia*

## L'espace est continu

Dans la trajectoire d'un corps, on peut imaginer son déplacement d'une distance aussi petite que l'on veut. Cette vision a donné naissance au calcul différentiel et intégral par Newton, également développé par le mathématicien allemand Gottfried Leibniz.

## La physique est "définitivement constituée"

Les phénomènes électriques et magnétiques sont parfaitement décrits par la théorie électromagnétique de Maxwell, qui a reçu une éclatante confirmation par Hertz. Avec la mécanique et les lois de la gravitation universelle de Newton, la théorie atomique et la théorie de l'électron de Lorentz en 1909, tous les éléments de la physique semblent être en place dans une synthèse harmonieuse et définitive.

À cette époque, il semble que la théorie physique arrive à son point d'achèvement. On cite souvent un extrait de ce qu'aurait dit Lord Kelvin (William Thomson, physicien britannique, 1824 - 1907), en 1900. La physique est définitivement constituée dans ses concepts fondamentaux; tout ce qu'elle peut désormais apporter, c'est la détermination précise de quelques décimales supplémentaires. En réalité, rien ne prouve qu'il ait dit cela, car aucune source ne le mentionne explicitement (voir William Thomson [ici](#) et [ici](#)). Toutefois, il est probable que cela reflète l'état d'esprit de la majorité des physiciens, car d'autres, tel Michelson, ont exprimé ce genre d'opinion.

En réalité, quelques phénomènes ne peuvent pas entrer dans le cadre explicatif de cette physique. C'est le cas du résultat négatif de l'expérience de Michelson et celui du rayonnement du corps noir. Ils vont remettre en cause tout l'édifice, et vont déboucher sur deux théories révolutionnaires: la relativité et la physique quantique! La deuxième est le sujet de [l'article suivant](#).

## ANNEXE

### Les corps matériels suivent le chemin de moindre action

Les formules de Newton, largement enseignées, ne sont pas la seule façon de décrire mathématiquement les lois du mouvement des systèmes mécaniques. **Le principe de moindre action ou principe de Hamilton** est une formulation plus générale. Elle est aussi plus élégante, car elle rend symétriques les coordonnées de position et de

vitesse, en introduisant les coordonnées généralisées  $q_i$  et  $\dot{q}_i = \frac{dq_i}{dt}$  d'un système de particules  $i$ .

On écrit d'abord le lagrangien du système. C'est une fonction importante, introduite en mécanique analytique par Joseph Louis Lagrange (mathématicien français, 1736 - 1813), et symbolisée pour cela par  $L$ .

Considérons un ensemble de  $n$  particules de masse  $m_i$ , possédant donc  $3n$  coordonnées de position  $q_i$  et  $3n$  coordonnées de vitesse  $\dot{q}_i$ , évoluant dans un potentiel  $V(q_i)$ . Le lagrangien vaut généralement l'énergie cinétique moins l'énergie potentielle :

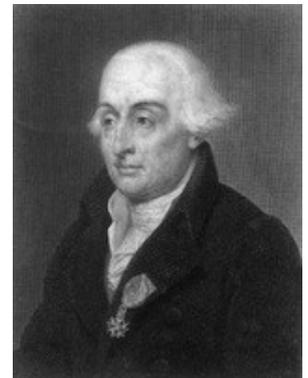
$$L(q_i, \dot{q}_i) = \sum_{i=1}^{3n} \frac{m_i \dot{q}_i^2}{2} - V(q_i)$$

$L = T - V$  et s'écrit:

$$S(q, \dot{q}) = \int_{t_1}^{t_2} L(q, \dot{q}) dt$$

Les équations du mouvement s'obtiennent en écrivant que cette action doit être minimum. On peut le comprendre en imaginant que nous cherchons à dépenser le minimum d'énergie pour aller d'un point à l'autre, tels un skieur qui dévale une pente irrégulière, ou l'eau qui s'écoule sur un terrain caillouteux.

$$\delta S = \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial L}{\partial q_i} \delta q_i + \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \delta \dot{q}_i \right) dt = 0$$



Joseph Louis Lagrange  
Merci à Wikipedia

## Symétries et loi de conservation

La formulation lagrangienne est invariante si l'on change le système de coordonnées et c'est ce qui fait sa puissance. Pour un système fermé ou placé dans un champ extérieur constant, même si l'état varie avec le temps, l'invariance pour certaines transformations de symétries permet d'établir des lois de conservation (théorème de Emmy Noether, mathématicienne allemande, 1882 - 1935).

La conservation de l'énergie du système est la conséquence de l'invariance du lagrangien dans le temps (uniformité du temps)

La conservation de la quantité de mouvement ou impulsion  $p=mv$  est la conséquence de l'invariance dans la translation dans l'espace (espace homogène)

La conservation du moment angulaire ou moment cinétique  $M=mv.r$  ( $r$  étant le rayon) est la conséquence de l'invariance dans la rotation dans l'espace (espace isotrope).

## Article suivant

### 2. Physique quantique: les concepts fondamentaux.

*Onde et particule, le double visage de la matière. Abandon de la notion de trajectoire - États entremêlés - Univers parallèles. Une interrogation sur la réalité objective.*

## En savoir plus

- [Niels Bohr et l'atome](#), par Sylvain Guilbaud
- [Ludwig Boltzmann](#) par Yohann Duguet et Eric Blanco, Institut de Physique Nucléaire de Lyon
- La pile Volta: [Comment progresse la science](#), TPE d'élèves de première; [La pile Volta](#), vidéo du CNDP, La Cinquième, ©1998, Le film explique son fonctionnement.
- Les rayons cathodiques. [Histoire de la découverte des rayons X et de leur application en médecine](#), par Hagop Demirdjian, éduscol.
- Léonard de Vinci: [Biographie de Léonard De Vinci](#) par Futura-Sciences; [Léonard de Vinci, un savant de la Renaissance](#), vidéo du CNDP
- Isaac Newton: [Biographie de Newton](#), par Futura-Sciences; [Biographie](#), par Jérôme Saby, Astrofiles; [Lois de Newton et mouvements](#), les sciences en terminale S
- Lumière: [Lumière sur la lumière](#), dossier par Brice Errandonea, le site du zéro; [La lumière](#), conférence de Michel Blay, Université de tous les savoirs, 2 août 2000; [Aux origines de l'optique physique](#), Arago et Fresnel, conférence de James Lequeux
- Interférences: [Les trous de Young](#), par Richard Taillet, Futura-Science
- Diffraction de la lumière: [Notions d'optique pour les astronomes amateurs](#), par Serge Bertorello; [Augustin Fresnel](#), par Manuel Luque; [Commentaires sur Le Mémoire de Fresnel sur la diffraction de la lumière](#), par Jean-Louis Basdevant
- Wikipédia: [Joseph-Louis Lagrange](#); [John Dalton](#); [Théorie atomique](#); [Amedeo Avogadro](#); [Jean Perrin](#); [Joseph John Thompson](#); [électron](#); [Johannes Kepler](#); [Léonard de Vinci](#); [Lois du mouvement](#); [Galilée](#); [Dualité onde-corpuscule](#); [Géocentrisme](#)
- Le formalisme lagrangien: présenté par [Futura-Sciences](#); par [Physique cours gratuits](#)
- [Maxwell](#), ses 20 équations d'origine (en anglais), par Tom Bearden

17 juillet 2013

Texte conforme à la nouvelle orthographe française (1990)

Copyright 2013

Alain Boudet. Tous droits réservés

[www.spirit-science.fr](http://www.spirit-science.fr)

Les publications de ce site sont identifiées par le numéro international ISSN 2430-5626