

RÉVOLUTION DANS LE MONDE DE LA PHYSIQUE

Michel Colin



Introduction

Vers l'an 1600, le peuple de France ne possédait que sa propre énergie et celle des chevaux ou autres animaux de trait ou de bât pour assurer les transports et effectuer les travaux des champs et des villes.

Les gens s'éclairaient à la lueur des lampes à huile et se chauffaient au feu de bois. Les femmes filaient au fuseau. Les hommes tissaient sur des métiers archaïques. Les moulins à vent ou à eau permettaient de moudre et de tamiser les grains des céréales, de presser les fruits, de fouler le lin, le chanvre, les tissus, les cuirs et la pâte à papier. L'énergie hydraulique était utilisée pour meuler et polir les métaux, pour actionner des tours, des marteaux, des foreuses, des laminoirs, des ventilateurs, des monte-charge, etc.

Le progrès viendra de deux sortes de personnages.

Les techniciens

Partis, en 1600, quasiment de rien, des individus, de tout rang social, bricoleurs astucieux, parfois autodidactes, furent progressivement à l'origine d'objets nouveaux concernant ou non leur profession. Ces inventeurs, au terme de trois siècles de recherches, ont réalisé quasiment tout ce qui constitue le confort du monde moderne, comme en a témoigné l'Exposition universelle de 1900.

Les théoriciens

Les mathématiciens, en 1600, dans le même dénuement matériel de l'époque, bénéficiaient d'un riche bagage hérité des Grecs, des Indiens, des Chinois et des Arabes, comprenant l'arithmétique, la géométrie, l'algèbre (équations du 3^e et 4^e degrés), le système décimal, les chiffres arabes avec le

zéro comme 10^e chiffre, les algorithmes, la trigonométrie, les dérivées, les intégrales, les équations différentielles et le calcul infinitésimal.

Certains théoriciens, en plus de leur capacité à mettre en équation les causes et les effets des découvertes des techniciens et à en déduire des lois, se révélèrent capables de mener eux-mêmes des expériences et de repérer le moindre indice révélant la présence d'une particularité. D'autres, par déduction, anticipèrent un résultat expérimentalement confirmé ultérieurement. D'autres encore furent d'habiles manuels aptes à construire leurs appareils de mesure.

Ces pionniers de la science, au cours de trois cents ans de recherches, ont permis à leurs collègues de 1900 de résoudre tous les problèmes scientifiques. C'est ainsi qu'en 1892, Lord Kelvin (William Thomson) déclarait au nom des théoriciens : « La physique est définitivement constituée avec des concepts fondamentaux ». C'était vrai à quelques détails près. Par exemple ils ne connaissaient de la lumière que les constituants. Ils ignoraient tout de l'atome sauf qu'il émettait des rayons lumineux.

Par ailleurs, l'Exposition de 1900 témoigna que les techniciens, de leur côté, avaient inventé quasiment tout ce qui fera le confort du xx^e siècle. À charge d'ingéniosité pour les futurs ingénieurs.

L'Exposition universelle de 1900



Porte monumentale

En 1900, Paris est une métropole moderne, avec un réseau dense de transports (train et tramway), des chaussées et des trottoirs en bon état, un

mobilier urbain diversifié et un éclairage public électrique et à gaz efficace. Les travaux d'Hausmann se sont achevés en 1895 et ont donné à Paris un nouveau visage, la ville est désormais parcourue de larges voies.

On y recense 250 000 véhicules, dont 165 000 bicyclettes, 14 000 fiacres, 50 000 automobiles et 10 000 voitures à bras. Les Parisiens peuvent emprunter le métropolitain.

En France, les bureaux de poste assurent la distribution du courrier par des facteurs. À Paris, ils possèdent en plus un service de courrier pneumatique urbain qui ne dépasse pas les limites de la ville. Ce service fonctionne depuis le 1^{er} mai 1879. Il consiste en un ensemble de tubes reliés les uns aux autres, chaque bureau peut envoyer des curseurs contenant le courrier, propulsés jusqu'au bureau destinataire par l'air comprimé. Là, des coursiers portent les lettres aux destinataires habitant à proximité.

Depuis le 1^{er} septembre 1889, l'état exploite le réseau téléphonique sur lequel, à partir de centraux, des téléphonistes relient manuellement les abonnés entre eux.

Paris, dominé par la tour Eiffel, compte plusieurs gares, terminus de lignes de chemin de fer de France et d'Europe.

L'exposition ouvre ses portes le 5 mai 1900 et les ferme le 31 octobre suivant.

Le voyageur qui vient de la place de la Concorde est stupéfait en arrivant devant la Porte monumentale. Un grand arc se dresse devant lui, avec au sommet, *La Parisienne*, une sculpture de six mètres. Deux minarets sont érigés de part et d'autre de cet édifice qui, le soir, s'embrase sous le charme de la fée Électricité.

Du pont Alexandre III, nouvellement construit, jusqu'à la tour Eiffel, le long de la rue des Nations, s'élèvent les palais des pays étrangers, plus de quarante sont représentés. Chacun dans son style y rivalise d'ingéniosité pour mettre en valeur son savoir-faire et ses richesses artistiques, économiques, techniques et agricoles. Afin que les visiteurs accèdent sans fatigue à ces palais, on a construit, sur 3 370 mètres, un chemin de fer électrique et un trottoir roulant, sur deux voies de circulation parallèles fonctionnant en sens inverse et établies sur un viaduc à sept mètres au-dessus du sol.

Les 108 hectares de l'exposition s'étirent, au centre de Paris, le long de

la Seine, entre le pont de la Concorde et le pont d'Iéna, avec à une extrémité la tour Eiffel, et à l'autre le Champs de Mars. Une annexe est installée sur 110 hectares à Vincennes.

Un emplacement d'une douzaine d'hectares sur le versant de la colline du Trocadéro est réservé aux colonies, tant françaises qu'étrangères. Pour retenir les visiteurs en soirées, des fêtes coloniales avec défilés nocturnes sont organisées.

Le palais de l'Électricité, construit sur l'esplanade des Invalides, est un édifice de métal et de verre. Au sommet trône une lampe à arc et une gigantesque sculpture représentant le triomphe de l'électricité. Au pied de ce monument, un château d'eau déroule ses vasques où se baignent sirènes et dieux marins. Le soir, 5 000 lampes à incandescence, rouges, bleues et blanches embrasent l'ensemble. Au fronton se détache en lettres de lumière « 1900 ». La cascade, qui consomme 100 000 litres d'eau par minute, est éclairée par 1 500 lampes.



Palais de l'Électricité

Le palais de L'Électricité est en réalité le centre énergétique de l'exposition. Il comprend 35 puissantes dynamos délivrant 38 000 kW/h, alimentées par des machines à vapeur de 12 000 chevaux dont les foyers des chaudières consomment 200 000 kilogrammes de houille par heure et

crachent leurs fumées par deux cheminées monumentales de 80 mètres de haut. Une salle de contrôle distribue l'électricité à travers toute l'exposition. Tout près de cette salle, une autre plus petite est consacrée aux nouveaux rayons X. Le visiteur peut voir les os de sa main.

Dans la galerie des Machines, on peut voir les films des frères Lumière projetés sur des écrans géants.

Dans une autre salle, il y a un nouvel appareil qui, sur un fil d'acier, enregistre et restitue la voix, le télégraphone (le premier répondeur téléphonique). Léon Gaumont y présente de son côté des phonoscènes avec un appareil de projection et un phonographe synchronisés mécaniquement (le film est projeté en même temps que tourne le cylindre du phonographe).

Dans la section automobile, plus de deux cents modèles sont exposés : des Peugeot, des Mors... Dans les stands des marques sont affichés les succès dans différentes courses, des Panhard & Levassor, des Renault, des Benz. De nombreuses voitures sont équipées de pneumatiques.

Dans la section de l'industrie lourde est présenté un pont roulant de fabrication allemande de dimensions impressionnantes.

Certains industriels ont leur pavillon (Lefèvre-Utile) ou leur kiosque (Pernod).

Dans le pavillon du Creusot, l'entreprise Schneider expose sa technologie de l'acier, un moteur électrique de 17 000 chevaux, une locomotive électrique de 50 tonnes, et divers types de dynamo, des canons gigantesques et diverses sortes de projectiles.

Le palais de l'Optique présente une lunette astronomique de 60 mètres, un miroir de 1,25 mètre et un sidérostade de 2 mètres de diamètre, d'un poids de 7 tonnes pour une image grossie 10 000 fois. Des projections stellaires sont réalisées sur un écran de 144 m².

Chaque ministère a son palais : l'éducation, les beaux-arts, les armées de terre et de mer, les industries, l'agriculture, etc.

En flânant entre les stands, des nouveautés sautent aux yeux : les télégraphes, les téléphones, la photographie en noir et blanc et en couleur, les phonographes à cylindres ou à disques plats, des machines à écrire, des fers à repasser, des machines à coudre, d'autres à laver le linge, des stylos à réservoir, etc.

Les visiteurs assistent également aux démonstrations de Poulsen, dont

le télégraphe, inventé en 1898, permet les premiers enregistrements magnétiques sur fil d'acier. L'appareil de Poulsen préfigurait ainsi le magnétophone.

À la gravure sur un cylindre de cire, on va substituer la photographie des sons sur pellicule, photographie convertible ultérieurement en ondes acoustiques. Le procédé de Poulsen sera exploité en association avec Gaumont, au sein de la Société française des films parlants. On doit aussi à Poulsen un émetteur à arc (1903) capable de produire des ondes électromagnétiques entretenues, utilisé par la télégraphie sans fils.

De nombreuses attractions permettent aux visiteurs de se divertir : la grande roue de 100 mètres peut élever 1 200 personnes à la fois. L'aquarium, le plus vaste du monde, renferme de nombreux spécimens de poissons et de végétaux dans une cuve de 38 mètres de long sur 18 mètres de large et 6,5 mètres de haut.

Le palais des Fêtes pouvant contenir plus de 15 000 spectateurs propose du théâtre et des ballets. Le Cinéorama projette des vues des capitales européennes et propose de grandes fresques panoramiques de tous les continents. Un Maréorama offre même l'illusion d'un voyage maritime avec roulis et tangage. Il y a aussi le palais de l'Illusion et des manèges. Les tavernes, les limonadiers, les restaurateurs sont dans le prolongement du cours la Reine ; après la place d'Alma, sur une surface de 6 000 m² se présente une reconstitution du vieux Paris (XVIII^e siècle).

Une nouvelle attraction est née le 14 juillet avec l'ouverture de la ligne du métropolitain Vincennes-Maillot.

Il est difficile d'énumérer toutes les nouveautés présentes sur l'exposition. D'autres sont encore en gestation. Il faudra attendre, par exemple, le 17 décembre 1903 pour voir Orville Wright expérimenter son avion dans les dunes de Kitty Hawk. Il y volera sur 39 mètres pendant 12 secondes. Ce vol sera généralement considéré par le peuple américain comme le premier vol motorisé et contrôlé d'un « plus lourd que l'air ».

La télévision fut évoquée lors du congrès international d'électricité qui s'est tenu, dans le cadre de l'Exposition universelle de Paris, du 18 au 25 août 1900. Mais sa réalisation demandera plusieurs décennies.

Certes, le progrès est là. Quant au mode de vie du commun des mortels, l'après 1900 ressemble à ce qu'avaient connu leurs ancêtres.

L'année 1900 fut une date charnière pour la physique. Si l'exposition de 1900 marqua une simple étape sur la route du progrès technique, en revanche c'est au début du XX^e siècle que se révélèrent deux façons antagonistes de décrire les phénomènes qui gouvernent l'univers : celle des physiciens classiques et celle des quantiques.

Dans ce livre, avec des textes simples et des dessins, je décris les expériences minutieusement contrôlées qui, au terme de quatre siècles, sont aujourd'hui les bases de la physique classique qui décrit absolument tous les phénomènes de la nature ainsi que l'origine et l'évolution de l'univers.

Je termine ce livre par un résumé de la physique quantique pour constater qu'elle est née en 1930 dans les universités à partir de concepts mathématiques abstraits et qu'elle s'y développa en accumulant des hypothèses jamais vérifiées.

Du fait de son implantation universitaire il lui fut facile, sous une forme simplifiée, de s'imposer à tous les niveaux de l'éducation nationale, dans les dictionnaires et les encyclopédies.

Dernièrement, les physiciens quantiques croyaient que le boson de Higgs serait la clé de voûte de leur théorie. Mais voilà, loin de tout régler, après sa découverte, de l'aveu même de certains physiciens quantiques, le boson de Higgs n'a pas les qualités escomptées.

La conclusion de mon livre sera que, face à la physique quantique inachevée et dont les hypothèses ne sont jamais confirmées, il faudra que la physique classique reprenne son rang de seule théorie crédible dans tous les domaines de cette science.

La physique avant 1900

EXTRAIT

La gravitation

La version classique et le faux concept d'Einstein

Galilée (1564-1642) réalisa la célèbre expérience de la chute des corps depuis la tour de Pise. Elle consistait à mesurer le temps de chute de corps de différentes masses et de différentes natures. Galilée arriva à la conclusion suivante :

Le temps de chute est le même pour tous les corps, quels que soient leur poids, leur taille et leur nature. En d'autres termes, la vitesse de chute libre est la même pour tous les corps.

Le principe d'inertie est peut-être le plus grand apport de Galilée à la physique. En faisant des expériences avec des billes qui roulent sur des plans de différentes natures, il observa que si le plan était très rugueux, la bille s'arrêtait rapidement, par contre, si le plan était très lisse ou recouvert d'huile par exemple, la bille parcourait une distance beaucoup plus grande avant de s'arrêter. Galilée eut alors l'idée de forces de frottement, et il en conclut :

... Tout corps possède une certaine inertie qui l'oblige à conserver sa vitesse, à moins qu'une force extérieure, une force de frottement par exemple, ne l'oblige à arrêter ce mouvement, à modifier cette vitesse.

De ce principe, découlait naturellement la notion de force :

Une force est ce qui modifie le mouvement d'un corps, tant en vitesse qu'en trajectoire. En l'absence de force, le corps poursuit sa trajectoire et conserve sa vitesse. Si une force est appliquée dessus, alors l'objet modifiera sa trajectoire.

C'est ainsi que l'attraction du Soleil oblige les planètes à modifier leur trajectoire pour tourner autour dudit Soleil.

Descartes (1596-1650) ramena la pesanteur et le mouvement à une explication mécaniste. La notion de force, et a fortiori d'action à distance, n'existait pas pour lui. Sa description du monde était essentiellement cinématique, le mouvement se transmettant de proche en proche par contact. Si un corps perd du mouvement, il le transmet à un autre. En l'absence d'interaction, un corps poursuivra indéfiniment son mouvement. Il s'agit du principe d'inertie, déjà présent chez Galilée, mais clairement affirmé par Descartes. Au sein de ce système, la théorie des chocs joue un rôle particulier. C'est elle qui est en effet susceptible de permettre des calculs prévisionnels de mouvement.

Descartes expliquait qualitativement le mouvement circulaire des planètes comme un équilibre entre une force attractive vers le Soleil et une force répulsive, par analogie avec une pierre qui tourne attachée par une corde à un axe.

Réfutant l'existence du vide, René Descartes expliqua le mouvement des planètes par l'action de grands tourbillons d'éther (matière subtile composée de minuscules globules transparents) remplissant l'espace et qui les emportaient en les maintenant sur leurs trajectoires. Ce même éther était supposé transmettre instantanément la lumière sous la forme d'une pression.

Robert Hooke (1635-1703) est l'un des premiers scientifiques à construire et utiliser un microscope, il eut le premier l'idée que le mouvement circulaire des planètes pourrait s'expliquer comme la conséquence d'une unique force attractive (inversement proportionnelle au carré de la distance : $1/r^2$) qui attire le corps vers le Soleil. C'était un pas vers la réalité !

Isaac Newton (1642-1727), en 1675, dans son ouvrage *Opticks* (publié en 1704), exposa ses travaux sur la lumière et prouva qu'elle est constituée d'un spectre de plusieurs couleurs (voir page 52).

Newton décrivit le principe d'inertie, la proportionnalité des forces et des accélérations, l'égalité de l'action et de la réaction, les lois du choc, il étudia le mouvement des fluides, les marées, etc.

Après avoir réfuté la théorie des tourbillons de Descartes, et avant de reprendre l'idée de Robert Hooke relative à la description d'une loi en $1/r^2$, vers 1680 il s'assura expérimentalement de la véracité de cette loi. Puis il élaborait sa théorie de la gravitation universelle.

Le raisonnement de Newton fut le suivant : si l'on suppose qu'une force attractive existe entre le Soleil et les planètes, elle devrait exister entre tout corps constitué de matière. En particulier entre la Terre et la Lune, et entre la Terre et n'importe quel objet à sa surface. On savait déjà, à l'époque, que la distance Terre-Lune était à peu près de 60 fois le rayon terrestre. Donc, la force d'attraction qui s'exerce sur la Lune est $(1/60)^2$ plus petite que celle qui s'exerce sur un corps en chute libre à la surface de la Terre.

En 1687, il publia *Principia* où il décrit la loi de la gravitation universelle :

Entre deux masses, il se crée une force attractive dont l'action se transmet d'un point à un autre.

Il exprima cette loi de manière simplifiée par l'expression mathématique suivante :

$$F = - G (M_A M_b) / d^2$$

où (M_A et M_B) sont deux masses, (d) la distance qui les sépare, (F) la force qui s'exerce entre les deux masses et (G) une constante de proportionnalité évaluée empiriquement par Newton, dont la valeur réelle ne sera déterminée qu'en 1798 par Henry Cavendish. Satisfait de sa formule, Newton resta cependant inquiet : « Si j'introduis la notion de force, c'est uniquement quant à sa manifestation car je n'en connais ni l'origine, ni la nature ».

Dans un premier temps, il pensa que la force gravitationnelle se transmettait instantanément d'un corps à l'autre, sur des distances quelconques et à travers l'espace, vide ou non.

Newton, ne se satisfaisait pas de cette situation où une force se transmet à travers le vide. En 1692, dans une lettre à Richard Bentley il écrivit : « Que la gravité soit innée, inhérente et essentielle à la matière, en sorte qu'un corps puisse agir sur un autre à distance au travers du vide, sans médiation d'autre chose, par quoi et à travers quoi leur action et force puissent être communiquées de l'un à l'autre est pour moi une absurdité dont je crois

qu'aucun homme, ayant la faculté de raisonner de façon compétente dans les matières philosophiques, puisse jamais se rendre coupable »

Plus tard, selon les concepts de l'époque, il se rallia à l'idée d'un éther emplissant l'espace et justifiant la transmission de la force gravitationnelle. Cet éther resta une hypothèse passive, n'intervenant pas dans les calculs.

Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783) précise que seul le mouvement est un phénomène visible, tandis que la causalité motrice reste une abstraction. La force est un rouage invisible.

John Michell (1724-1793) inventa la balance de torsion avec l'intention de déterminer la constante (G) de gravitation de Newton. Mais il mourut avant.

La balance de **Michell** passa à **Cavendish** (1731-1810) qui put ainsi déterminer en 1798 la constante de gravitation ($G = 6,74 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$) de Newton, et la masse de la Terre, avec une précision raisonnable.

**La loi de la gravitation de Newton fut admise comme étant la réalité.
Mais qu'en fut-il de l'éther ?**

Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) est célèbre pour ses travaux sur l'éther qui servirait de support à la propagation des ondes électromagnétiques. Il a laissé son nom aux transformations de Lorentz qui sont à la base de la théorie de la relativité restreinte.

Henri Poincaré (1854-1912) est un mathématicien, physicien et philosophe français. Il a réalisé des travaux d'importance majeure en optique et en calcul infinitésimal. Il est un précurseur majeur de la théorie de la relativité restreinte. Il fit des recherches à propos des propriétés de l'éther et de « l'espace et du temps ».

On le considère comme un des derniers grands savants universels, maîtrisant en particulier l'ensemble des branches des mathématiques.

Si les physiciens de l'époque étaient parfaitement au courant des travaux de Poincaré, le grand public l'a ensuite presque oublié, alors que le nom d'Einstein est aujourd'hui quasiment connu de tous. Récemment, quelques voix ont cherché à rappeler le rôle de Poincaré, mais d'autres sont allées plus

loin, cherchant à faire de Poincaré l'auteur de la théorie de la relativité.

Hermann Minkowski (1864-1909), en 1907, étudia l'espace et le temps, que l'on avait l'habitude de dissocier, pour finalement les réunir en un continuum espace-temps à quatre dimensions. Ce continuum espace-temps, maintenant appelé « espace de Minkowski », est la base de tous les travaux sur la théorie de la relativité. Ces idées ont été utilisées par Einstein pour développer la théorie de la relativité générale.

En 1887, Albert Abraham Michelson (1852-1931) **et Edward Williams Morley** (1838-1923) avaient réalisé l'expérience qui porte leurs noms. Celle-ci était conçue pour mesurer la vitesse de la lumière dans son support supposé (l'éther) en se basant sur la loi classique d'addition des vitesses. Il est apparu que la Terre sur son orbite avec une vitesse d'environ 30 km/s était le laboratoire idéal pour déceler une variation de la vitesse de la lumière sur des parcours identiques en longueur, mais qui devaient être différents en temps selon qu'ils seraient dans le sens du mouvement ou perpendiculairement au vent d'éther. Or, les temps se révélèrent égaux.

L'interprétation de ce résultat conduisit les physiciens aux conclusions suivantes :

- 1 – la vitesse de la lumière est la même dans toutes les directions.
- 2 – l'éther (hypothétique) n'existe pas.

L'éther était une fausse hypothèse

Albert Einstein (1879-1955) était d'accord pour nier la présence de l'éther dans l'univers, mais il ne pouvait pas accepter l'idée qu'entre deux masses il se crée une force attractive dont l'action se transmet dans le vide. Pourtant **Heinrich Hertz**, qui avait étudié la propagation des ondes électromagnétiques de Maxwell, en 1885 lors d'une expérience avait fait passer sur une distance de 50 mètres l'énergie d'un circuit à un autre sans l'aide d'un fil conducteur.

Newton avait eu la même réaction mais n'avait pas trouvé d'autre solution que l'éther.

Einstein avait la chance de connaître les travaux de ses prédécesseurs sur l'espace et le temps. C'est ainsi que, vers 1915, une solution lui vint à

l'esprit, selon laquelle **la gravitation n'est pas une force au sens usuel que l'on donne à ce mot en physique, mais une manifestation de la déformation de l'espace-temps**. L'idée était simple à imaginer mais difficile à mettre en équation.

EXTRAIT

L'hypothèse d'Einstein

Einstein aurait lui-même écrit :

« La théorie de Newton sur la gravitation présente pour moi un inconvénient majeur : elle décrit une action instantanée entre deux masses qui peuvent pourtant être éloignées de plusieurs millions de kilomètres, ce qui est en totale contradiction avec la relativité restreinte, dont l'un des postulats est que rien ne se déplace plus vite que la lumière. Il me fallait décrire la gravitation sur une autre base que l'attraction entre deux masses. J'avais bien la vision de ce qui devait se passer réellement, mais, pour la décrire formellement, j'ai eu besoin d'outils avancés. J'ai eu recours aux mathématiques de Riemann. Pour avoir utilisé un outil dont j'avais besoin pour décrire un phénomène que je cherchais à expliquer. »

Tout le monde connaît le sérieux des livres de François de Closets. Voici quelques extraits de celui édité au Seuil en 2004, relatif à la biographie d'Einstein et intitulé *Ne dites pas à Dieu ce qu'il doit faire*, qui raconte les difficultés qu'éprouva le savant à formuler mathématiquement son hypothèse.

Dès 1905, Einstein essaie de remplacer les forces gravitationnelles qui agissent à distance, par un champ qui propage les interactions gravifiques à la vitesse de la lumière avec une configuration qui satisferait aux exigences de la relativité.

En 1911, Einstein place deux objets sur une surface souple et déformable : d'abord une boule lourde (le Soleil) qui, par le seul effet de sa masse, crée autour d'elle une dépression, puis sur le bord du cratère, une bille (la Terre) qui glisse en spirale sur la pente et finit contre la boule (le Soleil).