

## Chapitre A-II

# Une brève histoire de la physique.

Joël SORNETTE met ce cours à votre disposition selon les termes de la licence Creative Commons :

- Pas d'utilisation commerciale.
- Pas de modification, pas de coupure, pas d'intégration à un autre travail.
- Pas de communication à autrui sans citer son nom, ni en suggérant son autorisation.

Retrouvez l'intégralité du cours sur le site [joelsornette.fr](http://joelsornette.fr)

## RÉSUMÉ :

*Il est toujours dommage d'étudier la physique sans s'intéresser à son histoire. Vous trouverez donc ici de quoi combler cette lacune. Le résumé est volontairement très bref afin que le lecteur n'ait aucun mal à dégager le temps nécessaire à sa lecture. Qu'on ne s'étonne pas en contrepartie de ne pas y trouver tel ou tel développement espéré.*

*J'ai pu montrer par endroits que l'histoire de la physique est intimement imbriquée dans l'Histoire tout court ; en revanche, faute des compétences nécessaires, j'ai totalement occulté le lien avec l'histoire des idées : un philosophe serait bien mieux placé que moi pour le faire.*

*Enfin, je ne suis pas historien et n'ai donc pas les moyens de vérifier les sources, essentiellement encyclopédiques, dont je me suis inspiré. En particulier, une même découverte est souvent associée à des dates différentes selon le document exploité et j'ai parfois tranché de façon totalement intuitive, la date précise me semblant bien moins importante que l'enchaînement des idées.*

*Remontons donc le temps jusqu'au tout début de la période historique...*

# Table des matières

<b>A-II Une brève histoire de la physique.</b>	<b>1</b>
1 Au début était l'astronomie. . . . .	4
2 Le miracle grec. . . . .	4
3 Un long sommeil. . . . .	5
4 Copernic, Kepler, Galilée, Newton. . . . .	6
5 Le XVIIIe siècle : le triomphe de la mécanique. . . . .	7
6 Le XIXe siècle : l'électromagnétisme. . . . .	7
7 La naissance de la thermodynamique. . . . .	9
8 L'optique : d'une vision corpusculaire à une vision ondulatoire. . . . .	9
9 La crise autour de 1900. . . . .	10
10 Conclusion. . . . .	13

## 1 Au début était l'astronomie.

La première approche scientifique de l'univers débuta avec l'observation de l'alternance des jours et des nuits, de celle des saisons, des phases de la Lune, du mouvement des étoiles, observations d'abord utiles aux besoins de la vie quotidienne (mesure du temps, agriculture, navigation...). Ce sont les préoccupations astronomiques qui ont le plus puissamment contribué à l'évolution de la pensée humaine.

Les premières traces écrites datent des civilisations mésopotamiennes, ce sont des tables consignnant des observations entre 2800 et 600 av. J.C. Elles prouvent que ces civilisations avaient dressé une carte du ciel, mis en évidence le mouvement des cinq planètes visibles à l'oeil nu (Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne), y compris le phénomène de rétrogradation<sup>1</sup>, observé les éclipses du Soleil et de la Lune et tenté des prédictions de celles de notre satellite avec plus ou moins de bonheur.

Les Egyptiens de leur côté en étaient arrivés au même point. Le plus grand bienfait de ces observations est l'émergence d'une notion d'ordre et de loi.

## 2 Le miracle grec.

On assiste en Grèce dès le VIIe siècle av. J.C. à l'invention du rationalisme scientifique et à la normalisation du raisonnement déductif. Bien évidemment c'est en arithmétique et en géométrie, sciences purement déductives, que les avancées ont été les plus spectaculaires. Personne n'ignore les noms de THALÈS de MILLET, de PYTHAGORE ou d'EUCLIDE.

Pour la physique, le raisonnement inductif se heurte à la justification des axiomes auxquels il conduit, lesquels ne peuvent être démontrés que dans le cadre d'une science plus générale, la métaphysique. Pendant toute cette période, puis au Moyen Âge et jusqu'à la Renaissance, physique et philosophie resteront donc intimement mêlées.

Toutes sortes de théories se sont affrontées et le débat philosophique (par exemple entre stoïcisme et épicurisme) a eu des prolongements sur la vision du monde physique. Bien sûr, il y a eu quelques bonnes intuitions, comme l'atomisme de DÉMOCRITE, mais elles ne doivent rien à l'expérimentation et relèvent de la pure spéculation. Et les résultats les plus aboutis, ceux obtenus par ARCHIMÈDE, sont oeuvre de géomètre plus que de physicien.

L'astronomie, elle, est la seule science qui ait effectué quelques réels progrès conceptuels :

- on a compris que la nuit est due à l'absence de lumière et non à la venue d'un nuage d'obscurité.
- on a compris que la Lune est éclairée par le Soleil et ne brille pas par elle-même.
- on a compris qu'il y a éclipse de Lune lorsque celle-ci passe dans l'ombre de la Terre

---

1. On sait maintenant que par un effet de perspective résultant des deux mouvements de la Terre et de la planète autour du soleil, celle-ci semble par moments se déplacer par rapport aux étoiles dans le sens opposé au sens habituel

- (conçue donc comme un corps céleste à part entière).
- on a tenté de décrire le mouvement des planètes par les « épicycles »<sup>2</sup>
  - on a procédé à des mesures avec une assez bonne approximation :
    - mesure du rayon terrestre<sup>3</sup> par ERATOSTHÈNE à partir des différentes longueurs des ombres des gnomons (cadrans solaires primitifs) situés à des latitudes différentes, à midi le jour du solstice d’été.
    - mesure du rapport des rayons de la Lune et de la Terre à partir des éclipses de Lune et du temps qui sépare les « quatre contacts »<sup>4</sup>
    - mesure de la distance Terre-Lune à partir du diamètre angulaire de la Lune (avec les deux résultats précédents et un peu de trigonométrie).
    - Il faut noter qu’aucune autre mesure n’était techniquement possible à l’époque.

HIPPARQUE (IIe siècle av. J.C.) de son côté a collecté de nombreuses observations qui nous sont parvenues par la diffusion qu’en a faite PTOLÉMÉE ( IIe siècle ap. J.C.) et dont nous possédons la version arabe (l’Almageste). Elles étaient suffisamment précises pour mettre en évidence la précession des équinoxes (d’année en année la position du Soleil dans le Zodiaque à l’équinoxe de printemps se décale).

### 3 Un long sommeil.

Si la conquête et l’absorption de la Grèce par Rome en 146 av. J.C. a permis la diffusion de ces connaissances dans tout l’empire romain, la scission de l’empire en deux à la fin du IVe siècle et la chute de Rome en 476 a conduit à la perte par l’Occident de tout ce patrimoine. Il a toutefois été conservé par l’empire d’Orient (Byzance) puis transféré au monde arabe dans son rapide essor (moins d’un siècle entre l’Hégire en 632 et la conquête de l’Espagne en 719).

Il va falloir attendre le Quattrocento (la Renaissance italienne du XVe siècle) pour que l’Occident redécouvre le corpus culturel gréco-latin dont la diffusion va être accélérée par l’invention de l’imprimerie (GUTENBERG 1440). Ajoutons l’introduction de connaissances nouvelles en provenance d’Extrême-Orient (la boussole utilisée en Occident à partir du XIIIe siècle, la poudre rapportée de Constantinople en 1204) à la suite des Croisades, des échanges commerciaux accrus via l’antique route de la soie (voyages de MARCO POLO, qu’ils aient été réellement effectués par lui ou que ce soit par d’autres) et des « grandes découvertes »<sup>5</sup> (VASCO DE GAMA arrive en Inde en 1498 et l’équipage de MAGELLAN boucle son tour du Monde en 1522).

Par ailleurs, la chute de Constantinople à l’est (1453) est contemporaine de la fin de la

---

2. la planète se déplace sur un cercle dont le centre décrit un autre cercle ; la rétrogradation est qualitativement bien expliquée ainsi.

3. On savait donc que la Terre est ronde !

4. premier contact : entrée de la Lune dans l’ombre, deuxième : la Lune entre totalement dans l’ombre, troisième : la Lune commence à sortir de l’ombre, quatrième : la Lune est totalement sortie.

5. Désolé pour CHRISTOPHE COLOMB, la découverte de l’Amérique en 1492 n’a pas été décisive pour l’histoire des sciences.

« Reconquista » espagnole : le califat de Cordoue tombe en 1492 et permet la « réacquisition » par l'Occident des connaissances de la plus raffinée des civilisations médiévales.

Tout est maintenant prêt pour la véritable naissance de la physique moderne.

## 4 Copernic, Kepler, Galilée, Newton.

C'est sur une courte durée (un siècle et demi) que ces quatre hommes vont véritablement faire naître la physique moderne.

Nicolas COPERNIC (ou plutôt Nikolaĵ KOPERNIK), à force d'observations, comprend qu'il est beaucoup plus simple de décrire le mouvement des planètes si l'on abandonne le géocentrisme au profit de l'héliocentrisme (sauf pour la Lune). Sa théorie est achevée en 1531 et imprimée en 1540. Des orbites circulaires centrées sur le Soleil et parcourues à vitesse constante expliquent correctement et simplement le phénomène de rétrogradation<sup>6</sup> et les variations d'éclat des planètes proches (Vénus et Mars).

Pour fuir les troubles religieux, Johannes KEPLER s'exile vers 1600 à Prague où il devient l'assistant de Tycho BRAHE, créateur de l'astronomie de précision, et lui succède à sa mort. Il est amené à rectifier le modèle copernicien et découvre les trois lois qui portent son nom en 1604–1605 pour les deux premières, en 1618 pour la troisième :

- les planètes décrivent des orbites planes elliptiques dont le soleil occupe l'un des foyers.
- le segment qui joint le soleil à la planète « balaie en des temps égaux des aires égales ».
- le carré de la période d'une planète est proportionnel au cube de sa distance moyenne au Soleil<sup>7</sup>.

La tâche n'était pas aisée. Pour établir l'orbite de Mars, les observations résultent de la combinaison du mouvement de Mars et de celui de la Terre. De plus, on ne connaît pas par l'observation la position relative de Mars mais la direction dans laquelle elle se trouve. Il a fallu beaucoup d'astuce<sup>8</sup> et encore plus de calculs.

GALILÉE a eu un double rôle dans l'évolution des idées. Tout d'abord, il perfectionne en 1609 la lunette astronomique fabriquée par des opticiens hollandais en 1604 (sans doute à partir d'un modèle italien de 1590) et recueille une moisson d'observations qui confortent le modèle copernicien :

- existence de satellites de Jupiter (très important car on reprochait au modèle de COPERNIC l'exception faite à la Lune).
- phases de Vénus (en accord avec une rotation autour du Soleil).
- relief de la Lune et taches du Soleil (les astres sont aussi complexes que la Terre).

Mais surtout, il est à la fois le père de la physique expérimentale et celui de la mécanique. Il étudie à Pise les oscillations du pendule et surtout la chute des corps (1591) puis à Padoue

---

6. voir note 1

7. plus exactement du demi-grand axe de l'ellipse

8. Tout cela est détaillé dans le chapitre B-III.

(de 1592 à 1610) les mouvements sur un plan incliné et la trajectoire des projectiles. Tout cela le conduit à énoncer le principe d'inertie (un corps isolé conserve sa vitesse<sup>9</sup>).

Enfin sir Isaac NEWTON réalise la synthèse entre la mécanique naissante de GALILÉE et les lois de KEPLER en comprenant que la gravitation terrestre est de même nature que la force qui meut les planètes. Il rédige sa théorie en 1683 et la publie en 1687. Elle comporte deux volets :

- la proportionnalité entre force et accélération ainsi que la loi d'action et réaction.
- la loi d'attraction inversement proportionnelle au carré de la distance.

Avec ces deux lois, on peut désormais démontrer que le mouvement des planètes suit les lois de KEPLER. Le saut conceptuel est immense. Il s'agit de la première théorie établissant une causalité physique à partir de résultats observés, de la première axiomatisation rendant compte de l'expérience. La physique telle que nous la concevons aujourd'hui vient de naître.

## 5 Le XVIIIe siècle : le triomphe de la mécanique.

La progression des idées en mécanique va de pair avec les progrès des mathématiques, spécialement ceux en calcul différentiel et intégral. Ce n'est donc pas un hasard si les noms attachés à la mécanique sont ceux de mathématiciens connus. Du reste la « mécanique rationnelle » a été enseignée jusqu'à la moitié du XXe siècle non pas en cours de physique mais en cours de mathématiques.

Les notions qui ont été progressivement introduites et affinées sont celle de quantité de mouvement, d'énergie cinétique, de moment cinétique et dynamique, de lois de conservation, de mécanique du solide.

Les principaux acteurs de ces progrès sont :

- Christiaan HUYGENS (à noter en outre qu'il conçut en 1670 une horloge à pendule régulateur qui améliora considérablement la mesure du temps).
- les frères Jacques et Jean BERNOULLI (respectivement oncle et père de Daniel, le BERNOULLI de la mécanique des fluides).
- Pierre VARIGNON.
- Leonhard EULER.
- Jean Le Rond d'ALEMBERT.
- Louis de LAGRANGE.

## 6 Le XIXe siècle : l'électromagnétisme.

Les succès de la mécanique ont poussé les physiciens à rechercher les lois de ce que nous appelons aujourd'hui l'électrostatique et la magnétostatique. Longtemps ces deux disciplines ont été étudiées indépendamment l'une de l'autre.

---

9. L'intuition faisait croire, avant Galilée, qu'il fallait une force pour produire une vitesse : le rôle des frottements était méconnu.

La constatation des phénomènes électrostatiques date de loin. Les Grecs avaient constaté que l'ambre (« elektron » en grec) frottée attirait les corps légers. Mais il a fallu attendre la toute fin du XVIIIe siècle pour que l'on proposât une loi d'interaction. PRIESTLEY en 1771 et COULOMB en 1785, avec des approches différentes, postulent une loi de force analogue à la gravitation, c'est-à-dire en  $1/r^2$ , et COULOMB introduit la notion de charges électriques, l'équivalent des masses en gravitation. La théorie est développée par GAUSS, POISSON, etc.

La constatation des phénomènes magnétiques est plus tardive ; elle date de l'arrivée de la boussole en Occident. Là aussi on a proposé une loi de forces en  $1/r^2$  avec l'introduction de « masses magnétiques ». Après de premiers succès, cette théorie s'est avérée ultérieurement incompatible avec les résultats expérimentaux<sup>10</sup>.

Puis vint la découverte, un peu par hasard, du courant électrique. En 1790, GALVANI, étudiant les muscles des grenouilles, excite ceux-ci par une pile électrique qu'il a construite sans s'en rendre compte. Il passe à côté de la découverte et attribue à la grenouille l'origine des phénomènes observés. C'est VOLTA en 1796 qui donne la bonne explication et en profite pour inventer la pile électrique. La théorie de l'électrocinétique (tout au moins en courant continu) se met rapidement en place grâce à AMPÈRE, OHM, KIRSCHHOFF, JOULE, etc.

En 1819, OERSTED constate qu'une boussole oubliée sur la paillasse près d'un circuit électrique dévie quand le courant passe. Il comprend que la source des phénomènes magnétiques est le courant électrique. Là aussi la théorie avance vite grâce à BIOT, SAVART, WEBER, etc.

En 1831, FARADAY découvre le phénomène d'induction dont les lois sont précisées par FOUCAULT, HENRI, LENZ, NEUMANN, TESLA, etc.

Ce foisonnement d'idées et de résultats atteint son apogée lorsque MAXWELL en tente une synthèse<sup>11</sup>, s'aperçoit que le théorème d'AMPÈRE tel qu'on le connaît à l'époque est incompatible avec la conservation de la charge. Il lui ajoute un terme qu'il appelle « courant de déplacement ». Il unifie ainsi en 1864 les théories électrique et magnétique en une théorie électromagnétique, prédit l'existence d'ondes électromagnétiques qui seront mises en évidence par HERTZ en 1887, ce qui constitue la validation expérimentale des équations de MAXWELL.

A la fin du XIXe siècle, on pense avoir trouvé toutes les lois de la physique, qu'il ne reste plus qu'à affiner la précision des mesures. Hélas, l'étude fine des équations de MAXWELL soulèveront deux problèmes majeurs qui aboutiront l'un à la théorie de la relativité, l'autre à la mécanique quantique.

Avant d'aborder ce sujet, il faut toutefois rendre compte de la naissance de la thermodynamique qu'on ne saurait taire et de l'évolution de l'optique (évolution qui aura des retombées en mécanique quantique).

---

10. Plus de détails dans le chapitre C-XII.

11. Voir le chapitre C-VIII.



## 7 La naissance de la thermodynamique.

Était connue dans l'Antiquité la dilatation des corps avec la température mais guère plus.

Après GALILÉE, inventeur, rappelons-le, de la physique expérimentale, la thermodynamique a progressé de façon quasiment indépendante des autres branches de la physique et n'a été reliée à la mécanique que sur le tard. Il ne lui a fallu qu'un peu plus de deux siècles pour aboutir à la forme actuelle que nous lui connaissons.

Citons-en quelques étapes importantes :

- en 1643, TORRICELLI met en évidence la pression atmosphérique et les expériences de PASCAL (en 1648) sa variation avec l'altitude.
- R. BOYLE en 1662 en Angleterre et MARIOTTE en 1676 en France étudient la compressibilité des gaz.
- en 1730, RÉAUMUR invente le premier thermomètre fiable.
- en 1760, J. BLACK exprime clairement la distinction entre température et chaleur (on dit plutôt transfert thermique aujourd'hui), dégage les concepts de chaleur massique et de chaleur latente.
- en 1842, R. MAYER et JOULE établissent et chiffrent l'équivalence entre chaleur et travail.
- Sadi CARNOT en 1824<sup>12</sup> étudie les machines à vapeur et leur rendement ; ses travaux sont vulgarisés et approfondis par CLAPEYRON en 1834.
- en 1850, CLAUSIUS introduit le concept d'entropie et énonce le second principe.
- en 1852, W. THOMPSON (lord KELVIN) constate les premiers écarts au modèle du gaz parfait.
- de 1851 à 1868, JOULE, CLAUSIUS, MAXWELL, BOLTZMANN établissent la théorie cinétique des gaz et rattachent la thermodynamique à la mécanique.
- en 1877, BOLTZMANN donne une interprétation statistique à l'entropie.

## 8 L'optique : d'une vision corpusculaire à une vision ondulatoire.

Il est paradoxal que la lunette astronomique, dont on a vu plus haut le rôle dans la genèse de l'astronomie scientifique, ait été inventée en 1609, avant la découverte des lois de la réfraction.

Depuis leur découverte en 1620 par SNELL en Hollande et quelques années plus tard par DESCARTES en France et le développement de l'optique géométrique par FERMAT entre 1601 et 1665, l'évolution des idées a suivi celle de la physique basculant d'une vision corpusculaire, donc mécanique, à une vision ondulatoire.

---

12. Si l'ordre chronologique n'est pas respecté, c'est que les découvertes n'ont pas été réalisées dans le bon ordre, logiquement parlant.

NEWTON, le père de la mécanique, a observé la décomposition de la lumière, la coloration des lames minces<sup>13</sup>, la diffraction mais a proposé en 1675 une explication corpusculaire à ces phénomènes : la lumière est constituée de grains qui se déplacent.

RÖEMER évalue la vitesse de la lumière en 1676 de façon relativement correcte. Il est intéressant de constater que c'est le triomphe de la mécanique qui a permis cette mesure. En effet les lois de la mécanique céleste permettent de calculer avec une bonne précision les moments où les satellites de Jupiter se cachent derrière lui ou redeviennent visibles. L'observation de ces « immersions » et « émergences » à partir de la Terre se fait avec un retard plus ou moins grand selon que Jupiter est plus ou moins loin. C'est là-dessus que s'est basé RÖEMER pour ses calculs.

HUYGENS en 1690 a néanmoins proposé un mécanisme d'agitation se propageant de proche en proche, typique d'une approche ondulatoire et introduira un concept qui deviendra celui de surface d'onde. A cette époque de la mécanique triomphante, ses travaux ne trouvent aucun écho.

Bien plus tard, pendant que les lois de l'électromagnétisme prennent forme, YOUNG invente en 1810 un dispositif générant des interférences qui enterre le modèle corpusculaire au profit du modèle ondulatoire. FRESNEL reprend en 1812 les idées de HUYGENS et propose une théorie de la diffraction.

En 1849, Hippolyte FIZEAU invente un dispositif qui lui permet une mesure précise de la vitesse de la lumière. Et l'on constatera que c'est la valeur de la vitesse prévue dans la théorie de MAXWELL (1864) pour les ondes électromagnétiques<sup>14</sup>.

Désormais l'optique cesse d'être une discipline à part et s'intègre à l'électromagnétisme. La théorie corpusculaire semble tombée aux oubliettes de l'Histoire. Mais coup de théâtre, la physique va traverser à la toute fin du XIXe et au tout début du XXe une grave crise dont elle sortira totalement renouvelée et qui remettra sur la sellette la théorie corpusculaire tout étendant à la matière la théorie ondulatoire.

## 9 La crise autour de 1900.

L'analyse des conséquences des équations de MAXWELL va vite poser deux problèmes de taille.

Le premier est celui de la vitesse de la lumière. En effet, les vitesses ne sont pas invariantes dans un changement de référentiel et la lumière ne peut donc pas avoir la même vitesse dans tous les référentiels galiléens. On a donc cherché à trouver LE référentiel absolu dans lequel la théorie de MAXWELL serait vraie (comme on n'avait pas encore abandonné l'idée que la lumière, comme le son, a besoin d'un support matériel, ce support appelé éther devait être lié à ce référentiel particulier). MICHELSON, seul en 1881, puis avec MORLEY

---

13. on sait maintenant qu'il s'agit d'un phénomène d'interférences entre les rayons réfléchis par les deux faces de la lame (voir chapitre D-X).

14. c'est-à-dire  $c = 1/\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$

en 1887, mit au point une expérience avec l'interféromètre de son invention dont l'idée est la suivante : la composition (vectorielle) des vitesses ne donne pas le même résultat dans les deux bras de l'interféromètre ; en permutant les deux bras (par une rotation de  $90^\circ$ ) on modifie les temps de parcours donc la différence de marche et la figure d'interférence. MICHELSON espérait ainsi trouver la vitesse de la Terre par rapport à l'éther. Le résultat a été négatif. Pour éliminer l'hypothèse que ce jour-là, par hasard, la Terre avait une vitesse nulle par rapport à l'éther, on recommença l'expérience six mois plus tard : dans son mouvement orbital autour du Soleil, la vitesse de la Terre avait changé. Le résultat resta négatif.

Expérimentalement donc, la vitesse de la lumière était indépendante du choix du référentiel alors que théoriquement elle aurait dû en dépendre. Même si LORENTZ et quelques autres avaient ébauché des réponses phénoménologiques à cette aporie, c'est Albert EINSTEIN, dans un article historique publié en 1905, qui franchit le pas d'une révolution conceptuelle majeure : il part de l'invariance de la vitesse de la lumière, fait abstraction du passé et aboutit à la conclusion logique qu'il faut abandonner l'idée d'un temps absolu<sup>15</sup> et admettre au contraire que deux horloges mobiles l'une par rapport à l'autre ne peuvent pas être synchrones. Les conclusions immédiates sont les phénomènes de dilatation du temps et de contraction des longueurs. Ultérieurement, il aboutit à la célèbre formule «  $E = mc^2$  » d'équivalence entre masse et énergie. Il faut sur cette conséquence lui associer le nom de POINCARÉ. Mentionnons aussi Paul LANGEVIN dans les développements de la théorie appelée désormais relativité restreinte.

Le second problème (ou plutôt une série de problèmes) est à replacer dans le contexte de la découverte de la structure de la matière. CROOKES met en évidence l'électron en 1886, J. J. THOMSON, WIECKERT, ZEEMAN et MILLIKAN mesurent sa charge et sa masse. Deux modèles d'atomes, celui de J. J. THOMSON (un électron quasi ponctuel dans une boule positive) et celui de RUTHERFORD (planétaire, l'électron tourne autour du noyau lui aussi quasi-ponctuel) coexistent un temps et l'expérience de RUTHERFORD(1909) tranche au profit du second.<sup>16</sup>

Passé au crible des équations de MAXWELL, ce modèle conduit à une contradiction : l'électron qui tourne autour du noyau doit émettre une onde électromagnétique, donc perdre continuellement de l'énergie, spiraler et tomber sur le noyau avec une fréquence de l'onde variant continûment. Or l'expérience montre un noyau stable, ou alors émettant après excitation un spectre de raies avec des fréquences bien précises (BALMER trouve expérimentalement pour le monohydrogène une loi en  $f_{m,n} = C^{te} (1/n^2 - 1/m^2)$ ).

Dans le même ordre d'idée, l'effet photoélectrique (émission d'un électron par un métal éclairé) aurait dû être aisé : il suffisait d'attendre, quelle que soit l'onde utilisée, suffisamment de temps pour qu'elle apporte l'énergie nécessaire à l'extraction d'un électron. Or l'expérience montrait l'existence d'une fréquence seuil.

---

15. fondant en une les deux *catégories* d'espace et de temps introduites par le philosophe Emmanuel KANT.

16. Pour mémoire, radioactivité : BECQUEREL en 1896, puis travaux de Marie CURIE-SŁODOWSKA

De même l'émission de lumière par un corps chauffé, lorsqu'on lui appliquait les méthodes de la toute neuve thermodynamique statistique, conduisait à un spectre conforme à l'expérience aux basses fréquences mais totalement faux aux grandes fréquences («catastrophe de l'ultraviolet»).

C'est encore EINSTEIN, dans deux autres articles et toujours en 1905, qui trouva une explication correcte aux deux derniers phénomènes en revenant à une hypothèse corpusculaire de la lumière. La notion de photon était née. Niels BOHR reprit cette idée en postulant une quantification des orbites (donc des énergies) des électrons ; le changement d'orbite se faisait avec absorption ou émission d'un photon de fréquence proportionnelle à la différence d'énergie. L'accord avec l'expérience s'avère quantitativement parfait.

En 1923, Louis de BROGLIE postula que la double nature corpusculaire et ondulatoire de la lumière pouvait être étendue à la matière ; il ouvrait la voie à la mécanique quantique. Citons les noms de SCHRÖDINGER, BORN, HEISENBERG, DIRAC. Citons aussi l'« interface » entre thermodynamique statistique et mécanique quantique<sup>17</sup> avec les notions d'indiscernabilité et de principe d'exclusion (BOSE, EINSTEIN, FERMI, DIRAC). Tout cela s'est construit très rapidement entre 1923 et 1926. Remarquons aussi que l'atome de la mécanique quantique, à savoir un noyau ponctuel entouré d'un électron devenu orbitale atomique, revient au modèle<sup>18</sup> de J. J. THOMSON en inversant les rôles du noyau et de l'électron mais dans le cadre d'un formalisme beaucoup plus puissant.

N'oublions pas enfin la théorie de la relativité générale<sup>19</sup> développée par EINSTEIN en 1916 et qui est une théorie de la gravitation. En effet nous avons vu jusqu'ici ce mystère né avec la physique : la masse « inertielle » qui intervient dans  $F = m a$  et la masse « gravitationnelle » qui intervient dans l'interaction gravitationnelle n'ont aucune raison d'être les mêmes ; la preuve en est que dans l'interaction coulombienne intervient un coefficient différent, la charge électrique. Or l'expérience confirme l'identité entre masse inertielle et masse gravitationnelle. EINSTEIN élabora une théorie selon laquelle d'une part toute masse déforme l'espace autour d'elle et d'autre part tout corps suit ce qui remplace les droites dans un espace courbe, les « géodésiques » ; en gros les corps vont toujours tout droit, ce sont les droites qui tournent. La théorie est très ardue à maîtriser ; citons-en quelques conséquences :

- la lumière dévie près d'un corps massif (prédiction vérifiée lors d'éclipses de soleil : les étoiles qui apparaissent autour du soleil éclipsé ne sont plus à leur place habituelle).
- la précession de Mercure (vérifiée, mais c'est peu probant car la précession est aussi due à d'autres phénomènes).
- la prédiction de l'existence de trous noirs, astres tellement massifs que la vitesse de libération est supérieure à la vitesse de la lumière.

---

17. Voir chapitre E-IX.

18. qui n'était que descriptif.

19. Voir chapitre B-XXII.

## 10 Conclusion.

Le reste du XXe siècle a été consacré d'une part à la cosmogonie avec l'émergence de l'hypothèse du Big Bang et d'autre part à la structure du noyau atomique, à la découverte de l'interaction forte puis de l'interaction faible en son sein, à la découverte de particules exotiques (mésons  $\mu$  et  $\pi$  et tout un bestiaire de particules) et du (plutôt des) neutrino(s).

L'objectif avoué de la physique actuelle est une théorie unifiée qui explique les interactions électromagnétique, forte, faible et gravitationnelle. On avance à tout petits pas et il est donc prématuré de chercher à ajouter un chapitre à cette histoire de la physique. J'en confie la charge à mes jeunes lecteurs quand le temps de la synthèse sera arrivé.

Post-scriptum : la vraisemblable mise en évidence du boson de HIGGS au cours en 2012 conforte le « modèle standard » de constitution de la matière et propose une explication au fait que les particules élémentaires ont une masse.