

→ **Apërçu**

LA PHYSIQUE DES PARTICULES

TOM WHYNTIE & OLIVER PUGH

edp sciences

Dans la même collection :

Le temps, C. Callender, R. Edney

La théorie quantique, J.P. McEvoy, O. Zarate

La psychologie, N. Benson

Édition originale : Particle Physics, © Icon Books Lts, London, 2013.

Traduction : Thibaut Hennequin

Imprimé en France par Présence Graphique, 37260 Monts

Mise en page de l'édition française : studiowakeup.com

ISBN : 978-2-7598-1230-1

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences, 2014

De quoi sommes-nous faits ?

On peut probablement vivre une vie agréable, profitable sans connaître la réponse à la question : « Qu'est-ce qu'un quark ? »

VOUS N'AVEZ PAS BESOIN DE CONNAÎTRE LA DIFFÉRENCE ENTRE UN MUON ET UN GLUON POUR COMMANDER ET APPRÉCIER UNE BIÈRE, UN VERRE DE VIN OU UN SODA.

ET LA COMPRÉHENSION DE LA RADIATION TCHERENKOV N'AIDE PAS À SE REPÉRER DANS LE MÉTRO PARISIEN... ET (POUR LE MEILLEUR OU POUR LE PIRE) UNE BONNE CONNAISSANCE DE L'ÉLECTRODYNAMIQUE QUANTIQUE N'EST PAS NÉCESSAIRE POUR SE REPRODUIRE.

En revanche, si vous commencez à vous demander...

**DE QUOI CETTE BOISSON
FRAÎCHE EST-ELLE FAITE ?**

DE QUOI CETTE TABLE EST-ELLE FAITE ?

**DE QUOI TOUS CES GENS
EN SUEUR SONT-ILS FAITS ?**

**DE QUOI
SUIS-JE FAIT ?**

... vous vous êtes lancés par inadvertance dans l'un des plus grands voyages intellectuel, philosophique et scientifique existants.



Pas d'inquiétude. Vous n'êtes pas le premier à qui cela arrive, et vous ne serez pas le dernier. C'est une entreprise séculaire qui a rendu perplexe, tourmenté et inspiré certains des plus grands esprits qu'a connus l'humanité. C'est une quête qui nous emmène depuis de simples tables d'essai en bois dans des hangars de laboratoire jusqu'à des voyages en ballon défiant la mort. Elle nous a conduits au sommet des montagnes et au fond des mines. Et finalement, elle nous a conduits à construire l'énorme laboratoire du Large Hadron Collider.

**LA RECHERCHE DE LA RÉPONSE
À LA QUESTION «DE QUOI
SOMMES-NOUS FAITS», C'EST LA
PHYSIQUE DES PARTICULES.**

La philosophie: l'esprit et la matière



Traditionnellement, les questions comme « De quoi sommes-nous faits ? » étaient le domaine des philosophes.

Une des premières fameuses tentatives de réponse peut être trouvée dans *Le Timée* de Platon (360 avant J.-C.).

*TOUT EST FAIT DE QUATRE
ÉLÉMENTS: LA TERRE,
LE FEU, L'AIR ET L'EAU.*

En outre, ces éléments étaient considérés comme étant faits eux-mêmes des solides de Platon (formes des plus étranges).

Dans la Théorie du Tout de Platon, la terre est faite de cubes empilables; le caractère compact de l'octaèdre conduit naturellement à l'air qui nous entoure; l'icosaèdre coule aussi bien que ce que l'on peut attendre de l'eau et le côté aigu du tétraèdre explique élégamment pourquoi le feu nous brûle quand on le touche. (Un cinquième élément, l'éther, a été ajouté par Aristote pour donner la substance parfaite et immaculée du paradis).

Une telle théorie peut donner l'impression d'avoir été élaborée dans un bar (ou l'équivalent de l'époque), mais même jusqu'au XVIII^e siècle, des idées comme le **Dualisme** de Descartes (*Description du corps humain*, 1647) ou les **Monades** de Leibniz (*La Monadologie*, 1714) étaient toujours perçues comme une façon raisonnable de décrire la réalité.

LE DUALISME EST L'IDÉE QUE LE CORPS
ET L'ESPRIT SONT DEUX ENTITÉS SÉPARÉES.

ALORS QUE DANS LA *MONADOLOGIE* JE DÉCRIS L'UNIVERS
COMME UNE MULTITUDE D'ÉLÉMENTS FONDAMENTAUX,
IRRÉDUCTIBLES ET INDÉPENDANTS QUI SONT TOUS DES
REFLETS DE L'UN. MES MONADES MÉRITAIENT LE DÉTOUR.



La métaphysique

Avec ses éléments, Platon essayait de comprendre de quoi le monde était fait. Le Dualisme de Descartes allait plus loin, statuant que les choses qui nous faisaient penser étaient différentes des choses qui nous constituaient. Cette division entre l'esprit et la matière est un bon exemple de **métaphysique**, cette branche de la philosophie cherchant à comprendre et à décrire les différents aspects de ce que veut dire «être».



L'UNIFICATION SUPPOSÉE DE L'ESPRIT ET DE LA MATIÈRE À TRAVERS L'EXISTENCE D'UN MICROCOSME ÉTERNEL, IRRÉDUCTIBLE, N'INTERAGISSANT PAS, MAIS REFLÉTANT UN MACROCOSME COMPLET EST UN AUTRE EXEMPLE DE MÉTAPHYSIQUE.

Tant que tout ce que vous faites se limite à quelques postulats et un peu de dogmatisme, il n'y a rien qui vient remettre cela en cause.

L'empirisme

C'est avec la naissance de **l'empirisme*** de John Locke, au XVII^e siècle, que les penseurs ont commencé à admettre que confronter les différentes idées avec l'expérience valait le coup.



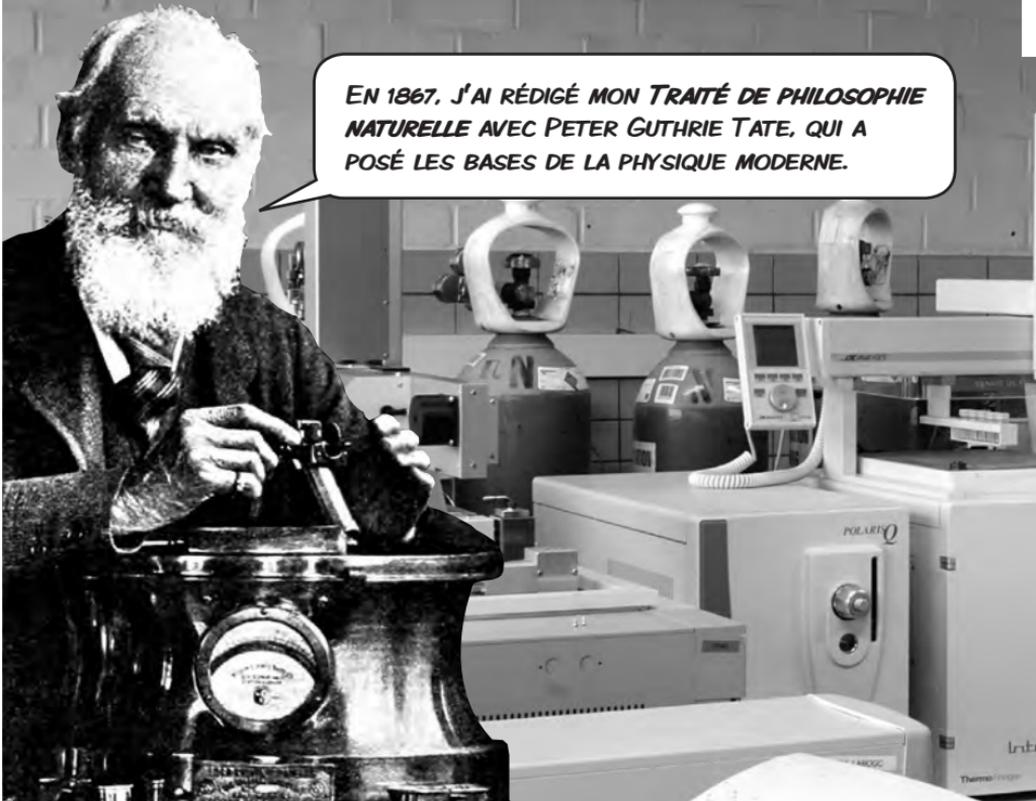
*EFFECTIVEMENT, «EXPÉRIENCE»
FAIT RÉFÉRENCE TANT AU MOYEN
DE TESTS QU'ÀUX CONNAISSANCES
ACCUMULÉES AVEC LE TEMPS.*

Cela correspond à notre définition moderne de la science ou de l'utilisation de la méthode scientifique. Cependant, jusqu'au XIX^e siècle, «science» voulait juste dire «connaissance». C'est le terme «philosophie naturelle» qui désignait les mesures purement théoriques du fonctionnement du monde.

* Les termes marqués d'un astérisque sont expliqués dans le glossaire, pp. 189-190.

La philosophie expérimentale

Lord Kelvin (1824-1907, né William Thomson) a créé le premier laboratoire universitaire de physique, en Écosse, le berceau spirituel de l'empirisme. Ici, les idées pouvaient être scientifiquement testées.

A black and white photograph of Lord Kelvin, an elderly man with a full white beard, wearing a dark suit and tie. He is standing in a laboratory, looking towards the camera. In the foreground, he is holding a large, ornate scientific instrument, possibly a thermopile or a similar device, which has a circular gauge on its front. The background shows a laboratory setting with several large, white, cylindrical apparatuses on stands, likely related to his work on thermodynamics and electricity. A speech bubble is positioned to the right of his head, containing text in French.

EN 1867, J'AI RÉDIGÉ MON TRAITÉ DE PHILOSOPHIE NATURELLE AVEC PETER GUTHRIE TATE, QUI A POSÉ LES BASES DE LA PHYSIQUE MODERNE.

On a parcouru du chemin depuis l'époque où quelques génies arrivaient à faire avancer la science, seuls, avec à peine plus qu'un hangar à leur disposition. Les expériences à la frontière des connaissances actuelles demandent des millions voire des milliards de dollars dans des aménagements et équipements dignes des méchants des films de James Bond, ou pour le réseau informatique international nécessaire pour le stockage et les traitements des données.

Et pourtant, de bien des manières, la physique des particules conserve l'esprit de la métaphysique: elle teste notre vision du réel. Certains pourraient dire qu'on ne devrait pas limiter la créativité de l'imagination humaine en la confrontant à quelque chose d'aussi banal que «la réalité». Je préfère voir cela comme le fait de chercher à comprendre, autant que l'on peut, ce qu'il se passe. Jusqu'à maintenant, en testant nos idées avec des expériences, on a pu témoigner du triomphe de la matière sur l'esprit.



*ET DONC, POUR CE QUI EST DE
COMPRENDRE CE QU'IL SE PASSE
RÉELLEMENT AU NIVEAU FONDAMENTAL,
JE PENSE QU'ON PEUT VOIR LA PHYSIQUE
DES PARTICULES COMME TRÈS PROCHE
DE LA «PHILOSOPHIE EXPÉRIMENTALE».*

Comprendre le code

Le grand **Richard Feynman** (1918-1988), qui a partagé un prix Nobel de physique pour sa contribution à la philosophie expérimentale, avait décrit la science comme le fait d'essayer de comprendre les règles des échecs juste en regardant une partie se jouer.

Pour le sujet de ce livre, on devrait changer cette image en ne considérant plus un spectateur extérieur, mais un groupe de personnages à l'intérieur d'un jeu vidéo.

*L'OBJECTIF N'EST NI DE GAGNER,
NI DE VAINCRE SON NÉMÉSIS,
NI DE FAIRE UN BON SCORE.*



*LES PERSONNAGES
ESSAYENT DE
COMPRENDRE LES
RÈGLES, LE CODE
INFORMATIQUE QUI
DÉTERMINE LEUR
COMPORTEMENT ET
CELUI DE L'UNIVERS
QUI LES ENTOURE.*

Mais pour le propos de ce livre, je vais élargir un peu le cadre. Les personnages peuvent en plus demander :



QU'EST-CE QU'UN PIXEL ?



COMMENT FONCTIONNE UNE PUCE INFORMATIQUE ?

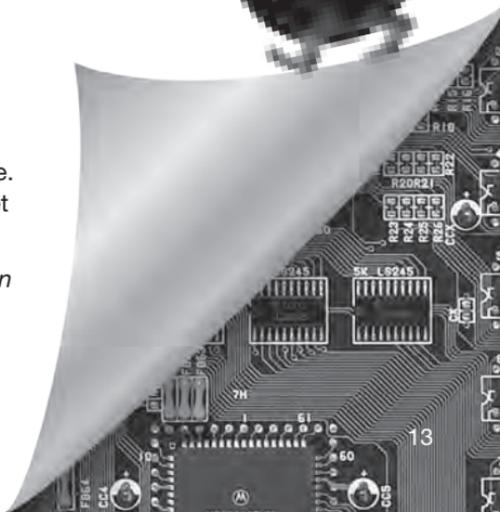


QU'EST-CE QU'UNE PORTE LOGIQUE ?

SUIS-JE JOUÉ SUR MAC OU SUR PC ?

De même, tout le matériel utilisé par les scientifiques est fait de la même matière que ce que l'on cherche à étudier ; tout comme les laboratoires, ou les scientifiques faisant l'expérience. Tout comme vous, lisant leurs efforts et résultats sur ces pages.

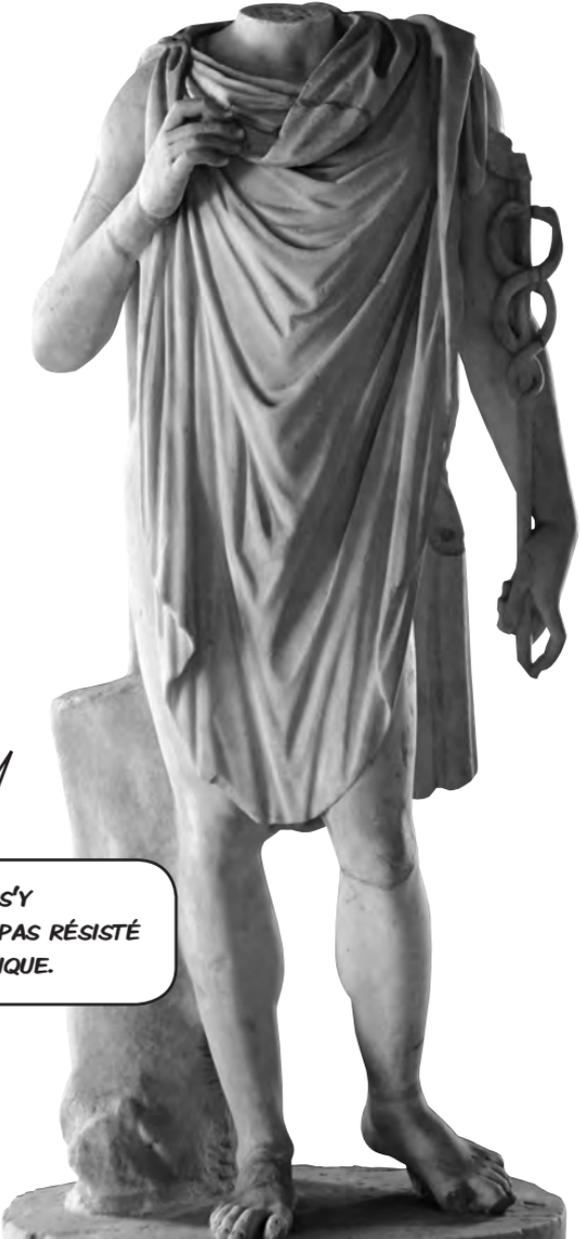
On ne regarde pas le jeu, on est *au sein* du jeu.



Le premier atomiste

Où commence-t-on notre voyage ? Je dirais que la « physique des particules » commence lorsqu'on a découvert que **l'atome**, pensé comme l'unité de matière indivisible qui constitue toute chose, est en fait divisible. Pour comprendre le changement radical sur notre manière de penser, il faut comprendre la théorie et le contexte historique.

On a déjà parlé d'une des premières théories de la matière : les éléments dans le *Timée* de Platon.



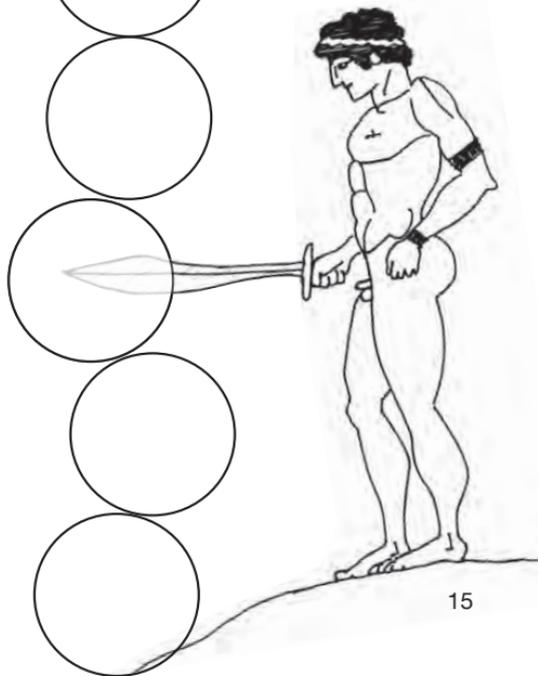
COMME ON POUVAIT S'Y ATTENDRE, CELA N'A PAS RÉSISTÉ À L'EXAMEN SCIENTIFIQUE.

Vous connaissez sans doute mieux la théorie de l'atome, attribuée au philosophe thrace **Démocrite** (460-370 avant J.-C.).

*L'UNIVERS EST COMPOSÉ D'UNE MULTITUDE DE MINUSCULES ATOMES INCOUPABLES (**ATOMOS** SIGNIFIE INCOUPABLE EN GREC). LES PROPRIÉTÉS ET INTERACTIONS DE CES DERNIERS EXPLIQUENT LE COMPORTEMENT DE TOUT CE QUE L'ON VOIT AUTOUR DE NOUS.*

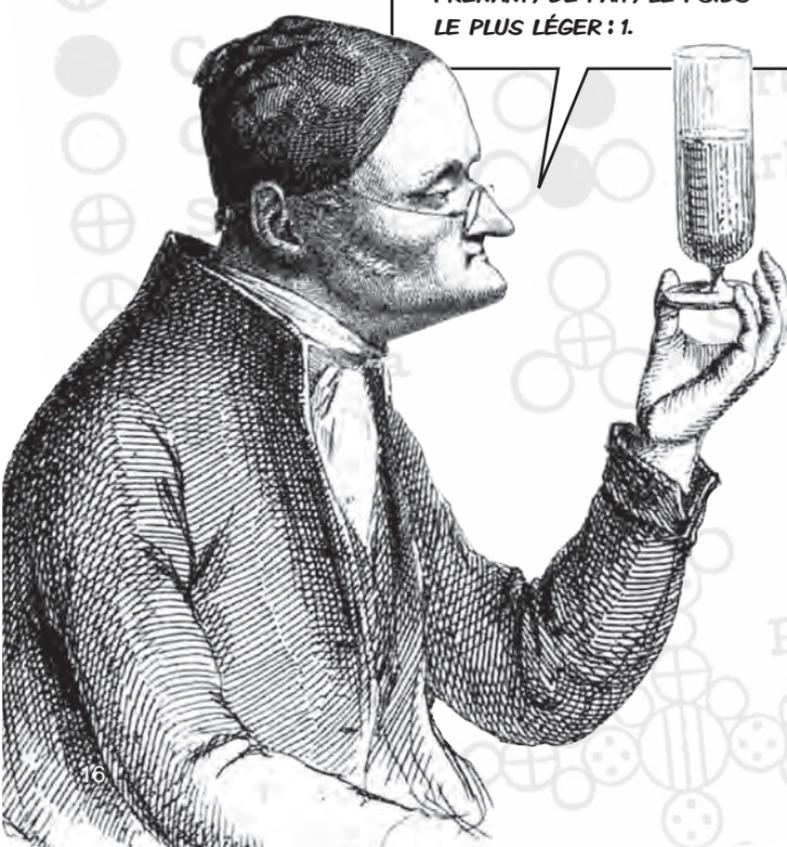
Démocrite était le premier **atomiste**, et on voit que son idée a survécu aux tests du temps et de l'expérience. L'alternative serait une matière continue, que l'on pourrait diviser en morceaux de plus en plus petits à l'infini.

C'est seulement à la fin du XVIII^e siècle que les scientifiques ont commencé les expériences qui ont fait la lumière sur la matière, comme on le verra plus loin.



La théorie atomique moderne

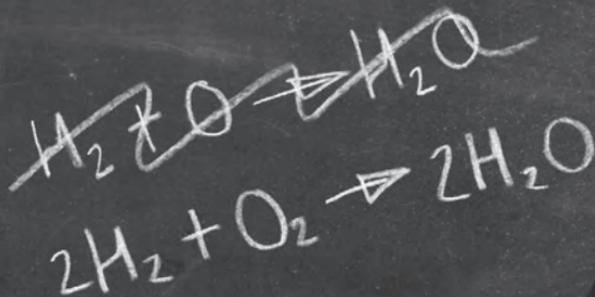
S'appuyant sur le travail des chimistes français Antoine Lavoisier et Joseph Proust, **John Dalton** (1766-1844) est sans doute le père de la théorie atomique moderne. Dans *Un nouveau système de philosophie chimique* (1808), il résume les résultats de son travail expérimental en émettant l'idée que chaque élément chimique est fait d'atomes aux propriétés uniques, et que ces atomes se combinent pour faire des composés chimiques.

A black and white engraving of John Dalton, a man with glasses and a high-collared coat, holding a glass filled with gas. A speech bubble points to the glass.

CELA M'A PERMIS D'ESTIMER LE
POIDS ATOMIQUE DES DIFFÉRENTS
ÉLÉMENTS, AVEC L'HYDROGÈNE
PRENANT, DE FAIT, LE POIDS
LE PLUS LÉGER : 1.

Cependant, il n'avait pas entièrement raison. **Joseph Louis Gay-Lussac** (1778-1850) a montré que des gaz peuvent être combinés dans des proportions entières, et que les produits gazeux de ces réactions obéissent aux mêmes propriétés.

Amedeo Avogadro (1776-1856) a utilisé cette observation pour faire un bond de géant dans notre compréhension des gaz. Le résultat de Gay-Lussac statuait que *deux* volumes de vapeur d'eau, et non pas *un*, sont créés quand l'hydrogène et l'oxygène sont combinés. Cela peut être expliqué seulement si un volume donné de gaz contient un nombre fixe de particules (la loi d'Avogadro). Et les gaz comme l'hydrogène et l'oxygène sont en fait par essence diatomiques: ils sont formés de molécules* contenant chacune deux atomes.



Avogadro

Problèmes avec la théorie

En dépit de ces avancées, la communauté scientifique de l'époque avait un problème important avec l'hypothèse atomique : ils n'aimaient pas ce qu'ils ne pouvaient pas voir. **Sir Humphry Davy** (1778-1829), celui des lampes Davy utilisées dans les mines, a fait remarquer, en présentant Dalton pour un prix de la Royal Society en 1826, que les travaux de Dalton sur l'atomisme n'avaient pas une si grande importance puisque les résultats pratiques des travaux précédents étaient toujours d'actualité.

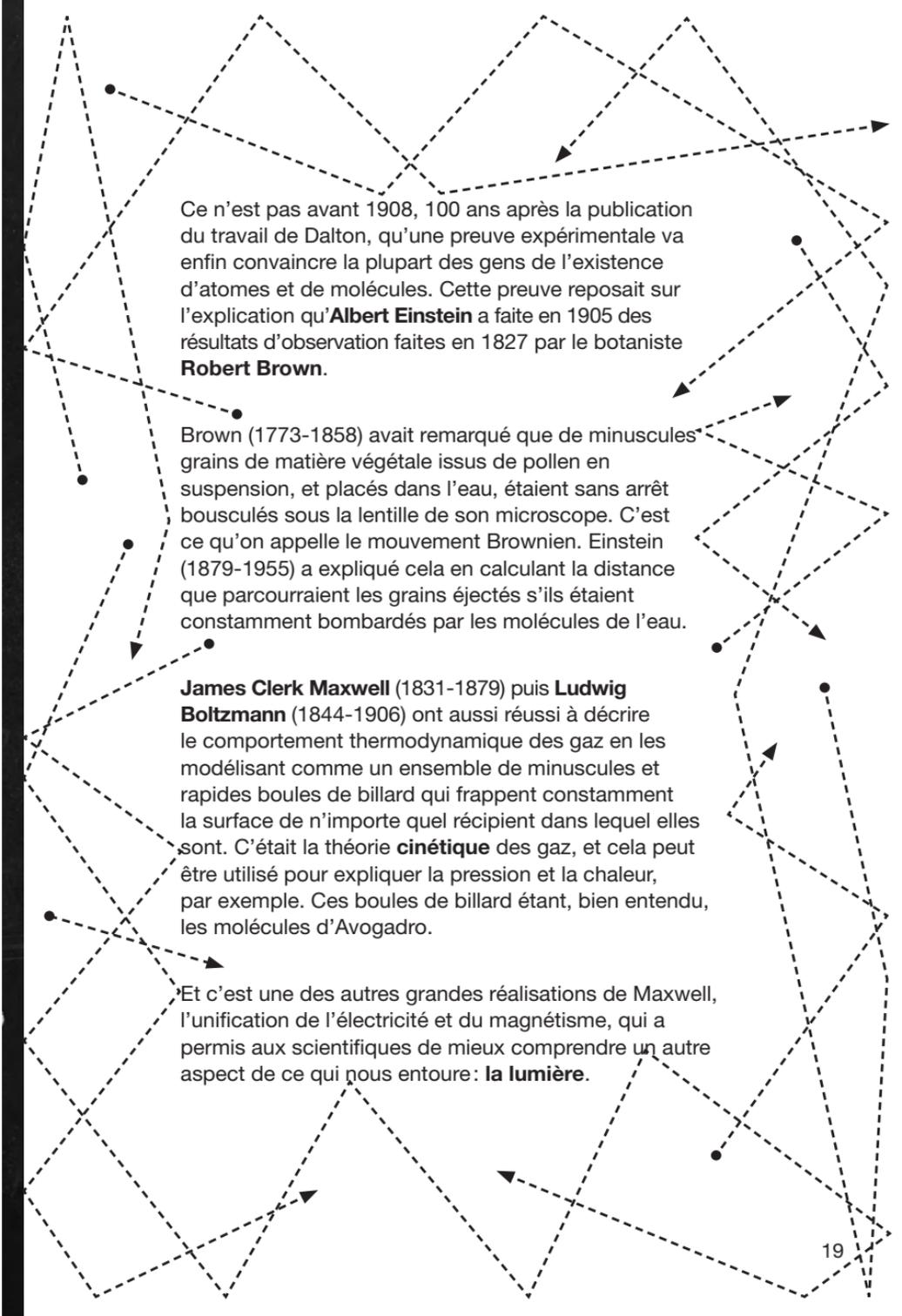
Malheureusement, l'amélioration de la précision des mesures a en fait entravé l'acceptation de la théorie atomique.



*AVEC L'AMÉLIORATION
DES MESURES, ON A VU
QUE LE RATIO ENTRE LES
DIFFÉRENTS COMPOSANTS
N'ÉTAIT AU FINAL
PAS EXACTEMENT
UN NOMBRE ENTIER.*

*MASSE ATOMIQUE DE L'OXYGÈNE ; MÉTHODE CHIMIQUE, 15 879
MASSE ATOMIQUE DE L'OXYGÈNE ; MÉTHODE PHYSIQUE, 15 879*

Cela allait à l'encontre de l'idée selon laquelle les éléments se combinaient de manière discrète. Nous réglerons ce problème conceptuel plus tard.



Ce n'est pas avant 1908, 100 ans après la publication du travail de Dalton, qu'une preuve expérimentale va enfin convaincre la plupart des gens de l'existence d'atomes et de molécules. Cette preuve reposait sur l'explication qu'**Albert Einstein** a faite en 1905 des résultats d'observation faites en 1827 par le botaniste **Robert Brown**.

Brown (1773-1858) avait remarqué que de minuscules grains de matière végétale issus de pollen en suspension, et placés dans l'eau, étaient sans arrêt bousculés sous la lentille de son microscope. C'est ce qu'on appelle le mouvement Brownien. Einstein (1879-1955) a expliqué cela en calculant la distance que parcourraient les grains éjectés s'ils étaient constamment bombardés par les molécules de l'eau.

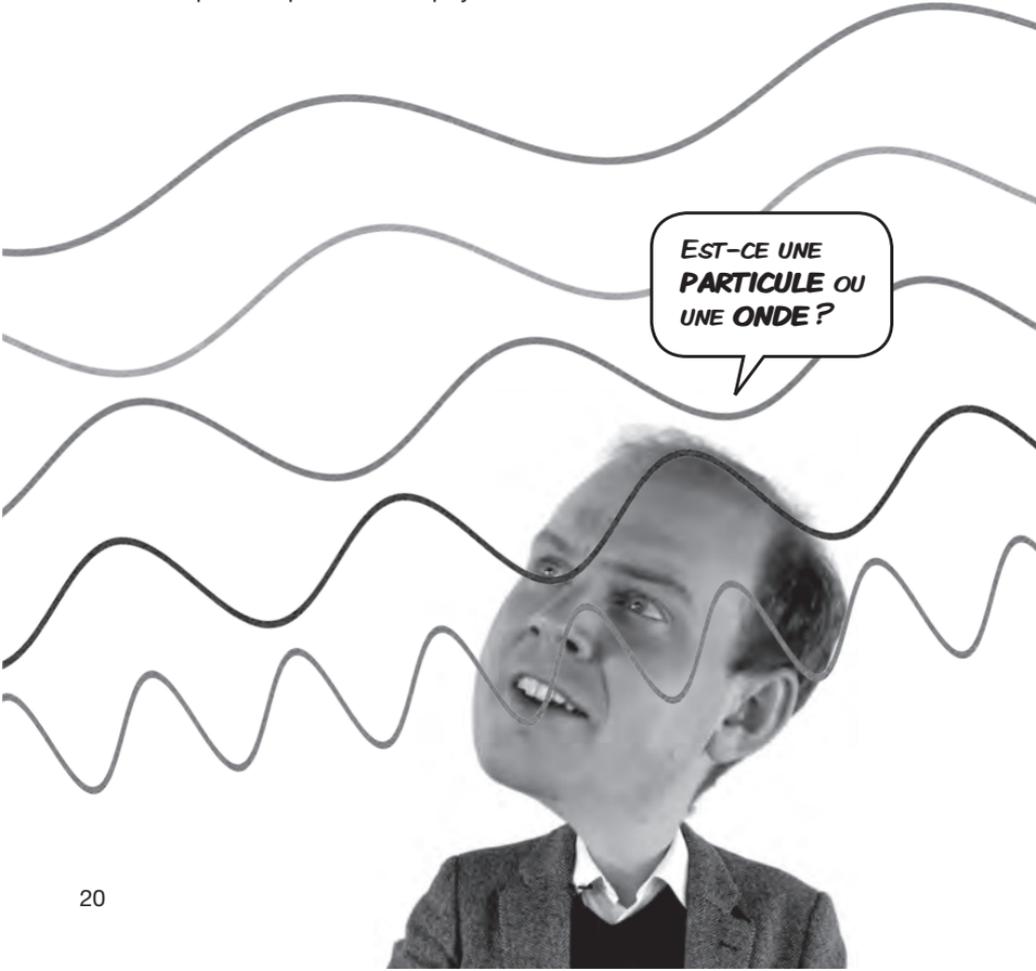
James Clerk Maxwell (1831-1879) puis **Ludwig Boltzmann** (1844-1906) ont aussi réussi à décrire le comportement thermodynamique des gaz en les modélisant comme un ensemble de minuscules et rapides boules de billard qui frappent constamment la surface de n'importe quel récipient dans lequel elles sont. C'était la théorie **cinétique** des gaz, et cela peut être utilisé pour expliquer la pression et la chaleur, par exemple. Ces boules de billard étant, bien entendu, les molécules d'Avogadro.

Et c'est une des autres grandes réalisations de Maxwell, l'unification de l'électricité et du magnétisme, qui a permis aux scientifiques de mieux comprendre un autre aspect de ce qui nous entoure : **la lumière**.

Mettons cela en lumière

L'optique, la science de la lumière et de la vision, fut très tôt développée par le savant arabe **Ibn al-Haytham** (965-1040). Son *Livre de l'Optique* (1011-1021), a fait suite au travail de Ptolémée sur le sujet, avec de nombreux résultats expérimentaux sur le comportement de la lumière. Il a été traduit en latin et a influencé de nombreux penseurs européens parmi lesquels Bacon, Kepler ou Descartes.

Pendant que l'optique d'al-Haytham (ou Alhacen, en version latine) décrivait ce que la lumière faisait, les tentatives pour comprendre ce qu'était réellement la lumière ont conduit à la première apparition de la question préférée des physiciens :



**EST-CE UNE
PARTICULE OU
UNE ONDE ?**