

ALI O. SEZER

# Les bases de la chimie

EN 70 NOTIONS **ILLUSTRÉES**



# Les bases de la **chimie**

**Ali O. Sezer** est professeur de chimie à la California University of Pennsylvania. Spécialisé en chimie générale, chimie physique et chimie des polymères, il a participé activement à l'élaboration de ressources pédagogiques, avec notamment deux livres illustrés. Fort de ses nombreuses années d'expérience dans l'enseignement, il est convaincu que l'éducation scientifique est indispensable pour participer à une société œuvrant au bien commun, sur une planète aux ressources limitées.

### Édition originale :

Titre original : *Chemistry. An Illustrated Guide for All Ages*

Illustrations © Lindsey Johns

© UniPress Books Limited, Grande-Bretagne, 2021

### Édition française :

© Delachaux et Niestlé, Paris, 2023

Dépôt légal : janvier 2023

ISBN : 978-2-603-02974-9

Impression : Neografia, Slovaquie

Traduction : Fannie Le Floch

Relecture scientifique : Lucie Pierau

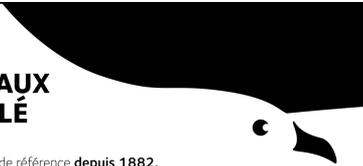
Préparation, mise en pages, relecture : Nord Compo, Villeneuve-d'Ascq

Couverture : Nord Compo, Villeneuve-d'Ascq

Illustration de couverture (partie droite) : © iStock / Getty Images Plus / ginosphotos

Cet ouvrage ne peut être reproduit, même partiellement et sous quelque forme que ce soit (photocopie, décalque, microfilm, duplicateur ou tout autre procédé analogique ou numérique), sans une autorisation écrite de l'éditeur. Tous droits d'adaptation, de reproduction et de traduction réservés pour tous pays.

## CHARTRE DELACHAUX ET NIESTLÉ

- 
- 1 L'éditeur nature de référence depuis 1882.
  - 2 Le fonds éditorial le plus complet en langue française avec plus de 450 ouvrages consacrés à la nature et à l'environnement.
  - 3 Des auteurs scientifiques et naturalistes reconnus.
  - 4 Les meilleurs illustrateurs naturalistes, pour la précision et le réalisme.
  - 5 Des ouvrages spécifiquement adaptés à l'utilisation sur le terrain.
  - 6 Des contenus actualisés régulièrement pour relayer les avancées scientifiques les plus récentes.
  - 7 Une démarche éco-responsable pour la conception et la fabrication de nos ouvrages.
  - 8 Une approche pédagogique qui sensibilise les plus jeunes à l'écologie.
  - 9 Une réflexion qui éclaire les grands débats sur l'environnement (biodiversité, changement climatique, écosystèmes).
  - 10 Une implication aux côtés de tous ceux qui œuvrent en faveur de la protection de l'environnement et de la conservation de la biodiversité.
- RETROUVEZ-NOUS SUR [WWW.DELACHAUXETNIESTLE.COM](http://WWW.DELACHAUXETNIESTLE.COM) ET SUR FACEBOOK

ALI O. SEZER

# Les bases de la **chimie**

EN 70 NOTIONS **ILLUSTRÉES**

# SOMMAIRE

Introduction 6

## 1 La chimie : une science centrale 12

Le rôle fondamental de la chimie 13

La matière 15

Classification de la matière 16

Propriétés et changements de la matière 18

La matière et l'énergie 20

Mesure de la matière 21

RÉCAP 22

## 2 L'atome 24

L'évolution des modèles atomiques 25

Les lois fondamentales de la chimie 26

La structure de l'atome 27

Mendeleïev et le tableau périodique 28

Ions et isotopes 30

La mole et la masse molaire 31

RÉCAP 32

## 3 La chimie nucléaire 34

Le noyau 35

Les changements nucléaires 38

Les équations nucléaires 40

Demi-vie et utilisations des radio-isotopes 42

RÉCAP 46

## 4 Les électrons dans les atomes 48

Rayonnement électromagnétique : la lumière 49

Arrangement des électrons : le modèle de Bohr 50

Le modèle quantique 53

Configuration des électrons 56

RÉCAP 58

## 5 Le tableau périodique des éléments 60

Nombres quantiques et tableau périodique 61

Configurations électroniques stables 62

Classification périodique des éléments 65

Les tendances périodiques 66

La structure de Lewis 67

RÉCAP 68

## 6 Les liaisons chimiques 70

Types de liaisons chimiques 71

Liaison ionique et composés ioniques 72

Liaison covalente et composés moléculaires 75

Liaison métallique 78

Propriétés des composés ioniques et moléculaires 80

RÉCAP 82

## 7 La structure moléculaire 84

Structures de Lewis des composés moléculaires 85

La théorie VSEPR : la géométrie moléculaire 86

Forme et polarité des molécules 88

Les forces intermoléculaires 90

Forces de liaison et solides cristallins 94

RÉCAP 96

## 8 Les réactions chimiques et la stœchiométrie 98

Écrire et équilibrer des équations chimiques 99

Les relations stœchiométriques 102

Types de réactions chimiques 104

RÉCAP 106

## 9 La chimie des solutions 108

Types de solutions 109

Concentration d'une solution 112

La préparation des solutions 113

La solubilité 114

Règles de solubilité 116

Propriétés colligatives des solutions 118

RÉCAP 120

## 10 Les gaz 122

La théorie cinétique moléculaire 123

Lois des gaz 124

Mélanges de gaz 128

Réactions chimiques 129

RÉCAP 130

## 11 L'équilibre chimique 132

L'équilibre dynamique 133

La constante d'équilibre 134

Quotient de réaction 136

Changements des conditions d'équilibre 137

Calculs d'équilibre 140

RÉCAP 142

## 12 Les acides et les bases 144

Définition : acides et bases 145

L'échelle de pH 148

Indicateurs acido-basiques 151

Réactions de neutralisation 152

Les solutions tampons 155

RÉCAP 156

## 13 La thermodynamique 158

L'enthalpie 159

Désordre : l'entropie 162

Spontanéité : l'énergie libre de Gibbs 164

Le principe zéro et la troisième loi 166

L'équilibre thermodynamique 167

RÉCAP 168

## 14 L'électrochimie 170

Le mouvement des électrons 171

Les cellules électrochimiques 172

Énergie libre de Gibbs 174

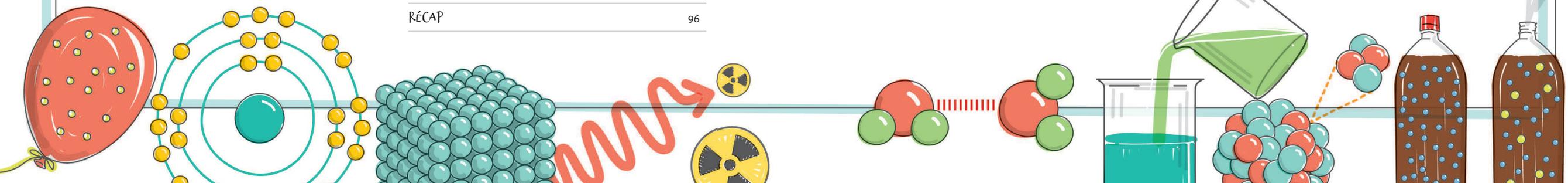
Les piles alcalines et à combustible 176

Les cellules électrolytiques 178

RÉCAP 180

Glossaire 182

Index 188



# INTRODUCTION

**La chimie étudie la matière définie comme tout ce qui se trouve dans l'univers, avec une masse et un volume. Basée sur des expériences, des hypothèses et des théories, la chimie cherche à expliquer les propriétés de la matière, mais aussi comment et pourquoi elle se transforme quand des conditions, telles que la pression, la température ou la présence d'autres matières, changent.**

La chimie joue un rôle central dans toutes les branches des sciences. Si elle permet de comprendre le fonctionnement de notre monde, elle nous accompagne aussi dans la vie de tous les jours. Nous rencontrons

sans cesse de la matière et des processus chimiques. Pourtant, nous prenons rarement (voire jamais) le temps de réfléchir à l'impact de la chimie sur notre vie quotidienne.

Dans les pages qui suivent, vous trouverez une chronologie des découvertes qui racontent les origines de la chimie, ainsi que les principales étapes qui ont eu lieu au cours des derniers siècles.

## Une chronologie des découvertes

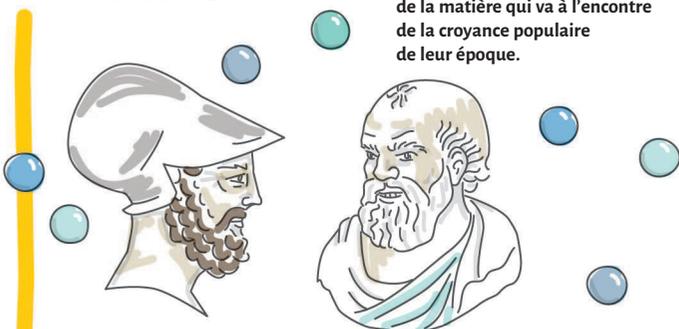
L'idée que le monde se compose de minuscules particules indivisibles (*atomos*, qui signifie « indivisible » en grec) a été proposée pour la première fois au <sup>v</sup><sup>e</sup> siècle av. J.-C. par le philosophe grec Leucippe et son élève Démocrite. Cependant,

Aristote (384-322 av. J.-C.), philosophe et polymathe, soutenait que la matière était continue et divisible à l'infini. L'influence d'Aristote était telle que la théorie de Leucippe et Démocrite ne sera que largement acceptée deux mille ans plus tard.

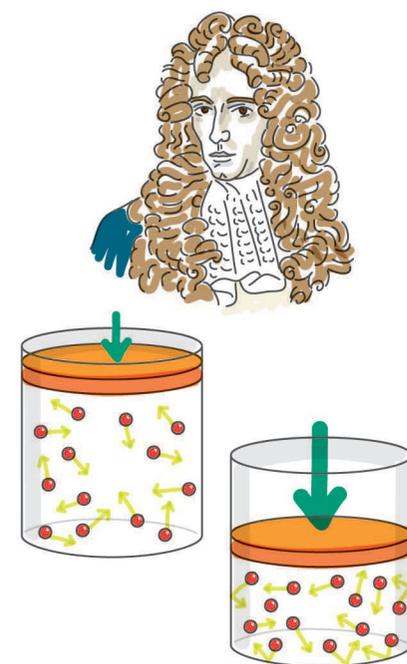
Dès l'Antiquité, une interprétation alchimique du monde domine les discussions scientifiques, philosophiques et théologiques. Elle prend ainsi en compte des éléments de science, de philosophie et de mysticisme, les alchimistes s'efforçant de transformer les métaux ordinaires en or et de découvrir l'élixir de vie. L'alchimie reste populaire jusqu'à la fin du <sup>xviii</sup><sup>e</sup> siècle. L'émergence de penseurs avant-gardistes tels que Robert Boyle (1627-1691) et plus tard Antoine Lavoisier (1743-1794), ainsi qu'une meilleure compréhension de la métallurgie, marquent la fin de l'ère alchimique.

500 AV. J.-C.

Leucippe et Démocrite proposent un modèle de la matière qui va à l'encontre de la croyance populaire de leur époque.



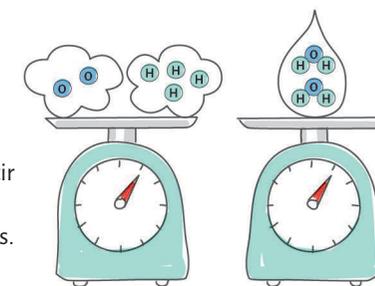
Pourtant, l'alchimie a joué un rôle essentiel dans l'émergence de la science moderne. Les scientifiques s'en inspirent pour proposer la vision atomique et particulaire de la matière. En 1661, Robert Boyle, philosophe, chimiste et physicien anglo-irlandais, publie *The Sceptical Chymist*. Il y fait part de ses travaux sur les gaz où il propose que les éléments soient constitués de « corpuscules » (atomes) qui se combinent pour donner de nouvelles substances chimiques. Les travaux de Boyle sont repris par d'autres scientifiques du <sup>xvii</sup><sup>e</sup> siècle et conduisent au développement de la chimie expérimentale et à la découverte de nombreux éléments.



Boyle pense que les éléments sont constitués de corpuscules qui, combinés, produisent une variété de substances chimiques.

1661

Antoine Lavoisier, chimiste français, perfectionne l'art de construire des théories à partir d'observations expérimentales et des connaissances accumulées. Il étudie les réactions de combustion de plusieurs éléments avec l'oxygène et découvre que la masse se conserve lors d'une réaction chimique (loi de conservation de la masse). Il est aussi le premier à rédiger une liste exhaustive des éléments, et participe à la construction du système métrique et de la nomenclature chimique. Considéré comme le père de la chimie moderne, Lavoisier a ouvert la voie à ceux qui lui ont succédé.

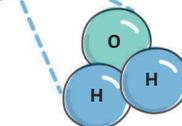


Lavoisier démontre la loi de la conservation de la masse en pesant des composés avant et après une réaction chimique.

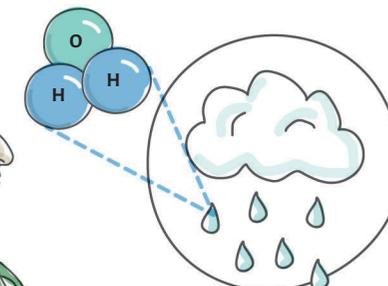
1789

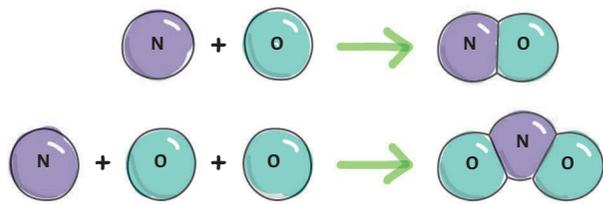
1793

Après de multiples observations expérimentales, un autre chimiste français, Joseph Proust (1754-1826), formule la loi des proportions définies, qui stipule que – quelle que soit la source ou la méthode de préparation – chaque composé chimique contient toujours les mêmes éléments dans les mêmes proportions.



La loi des proportions définies de Joseph Proust révèle la nature de la formation des composés chimiques.





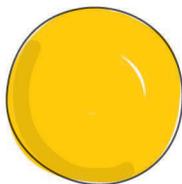
John Dalton (1766-1844), chimiste, physicien et météorologue anglais, attribue la loi des proportions définies à la nature particulière de la matière : les proportions fixes des éléments dans les composés sont dues au fait que la matière est constituée d'atomes. Il démontre également que les éléments peuvent produire des composés chimiques différents, s'ils sont combinés dans d'autres proportions (la loi des proportions multiples).

John Dalton explique que la formation de composés avec des proportions définies est due à la nature atomique de la matière.



1803

Le modèle de « sphère solide » de l'atome de Dalton.



En 1803, Dalton publie sa théorie de l'atome, dans laquelle il définit les atomes comme des sphères solides indivisibles qui constituent la matière. Sa théorie déclenche une cascade d'études scientifiques, qui conduit à un siècle de développements scientifiques vertigineux, à la découverte de nouveaux éléments et à la construction du premier tableau périodique des éléments.

Il fallut attendre la fin de XIX<sup>e</sup> siècle pour que les scientifiques découvrent l'existence de la lumière hors de la région visible par l'œil humain. Wilhelm Röntgen (1845-1923), un physicien allemand, découvre une forme invisible de lumière qu'il appelle « rayons X », qui est capable de pénétrer la chair humaine. En 1895, il publie la toute première image radiographique (de la main gauche de sa femme) et stupéfie la communauté scientifique. En 1901, il reçoit le premier prix Nobel de physique, dont il fait don à l'humanité, refusant de recevoir le moindre centime en compensation. Inconscient des dangers de ces rayons invisibles, il meurt d'un cancer, après avoir ouvert les portes du domaine de l'imagerie médicale.

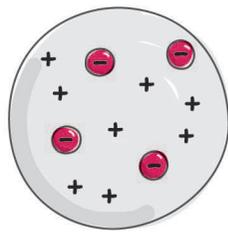
1895



La toute première image radiographique montrant la main gauche de la femme de Röntgen.

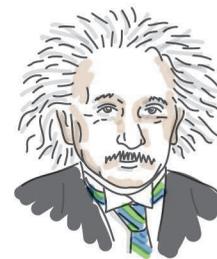
1904

Le modèle *plum pudding* de l'atome de Thomson, où les électrons sont entourés d'une « soupe » de charge positive, tels des raisins dans un pudding.



1905

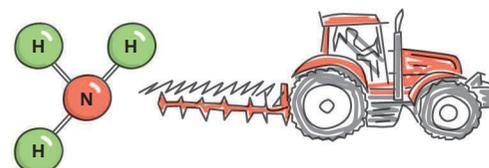
Albert Einstein élucide la véritable nature de la lumière et la manière dont elle interagit avec la matière.



En 1905, Albert Einstein (1879-1955), un physicien théoricien allemand, suggère que la lumière est composée de paquets d'énergie (les photons) qui se déplacent dans l'espace sous forme d'ondes électromagnétiques. Il s'ensuit un débat intense entre les scientifiques sur la véritable nature de la matière et son interaction avec la lumière. Il aboutit à la formulation de la théorie quantique, un outil leur permettant d'approfondir leurs recherches et de déboucher sur des découvertes qui ont changé à jamais l'expérience humaine sur Terre.

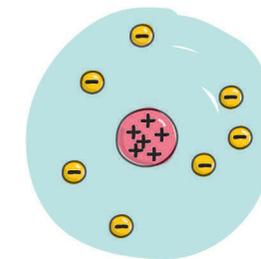
L'impact de la chimie sur la société est visible dès le début du XX<sup>e</sup> siècle. En 1905, un autre chimiste allemand, Fritz Haber (1868-1934), invente un procédé de synthèse d'ammoniac à partir de la combustion d'hydrogène atmosphérique et d'azote. Utilisé pour la production d'engrais, c'est un tournant dans l'histoire de l'agriculture, qui connaît ainsi un essor considérable, fournissant aux hommes et aux animaux la nourriture dont ils ont besoin.

La production d'ammoniac, indispensable pour les engrais, entraîne un boom de l'industrie agricole.



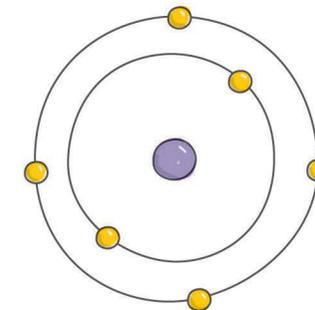
1911

Le modèle « planétaire » de l'atome de Rutherford.



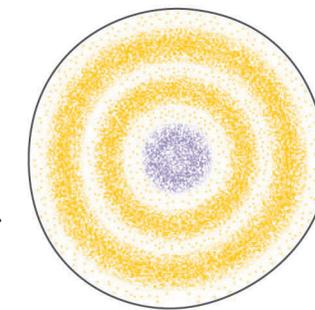
1913

Le modèle de l'« orbite circulaire » de l'atome de Bohr.



1926

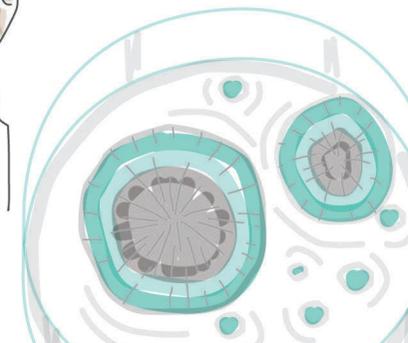
Le modèle de « nuage d'électrons » de l'atome de Schrödinger.



1928

La découverte fortuite de la pénicilline par Alexander Fleming (1881-1955) en 1928 est peut-être la quintessence de la réussite scientifique : la découverte du chercheur écossais permet la création d'antibiotiques qui, aujourd'hui encore, sont essentiels pour éradiquer de nombreuses maladies.

La découverte de la pénicilline démontre l'importance de la science dans la société.



Toutes les découvertes scientifiques n'ont pas trouvé immédiatement une application. Par exemple, le polyéthylène est synthétisé pour la première fois en 1898, mais les scientifiques n'y voient pas d'utilité. Ce n'est qu'en 1933 qu'ils découvrent par hasard un procédé industriel pour le produire. Cela marque le début de l'ère du plastique et l'utilisation généralisée du polyéthylène, un des plastiques les plus courants aujourd'hui. Bien que l'opinion sur les plastiques ait beaucoup changé en raison des préoccupations environnementales, ils ont contribué à révolutionner la vie quotidienne au  $xx^e$  siècle.



Les plastiques ont un impact sur de nombreux domaines liés au quotidien.

1933

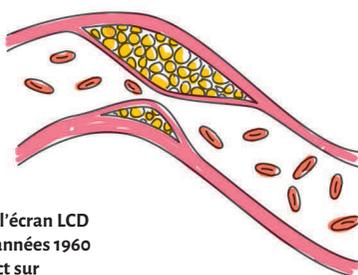
La meilleure compréhension des propriétés chimiques de la matière et des outils plus perfectionnés permet le développement de nouveaux matériaux spécialisés durant le  $xx^e$  siècle. Par exemple, des composés avec des propriétés similaires à celles des liquides et des solides cristallins conduisent à l'invention des écrans à cristaux liquides (LCD) en 1964. Cette invention révolutionne l'industrie électronique, à tel point qu'il est difficile d'imaginer la vie d'aujourd'hui sans écran.



L'invention de l'écran LCD au milieu des années 1960 a un fort impact sur l'industrie électronique.

1964

En 1971, le Dr Akira Endo, un biochimiste japonais, découvre une classe de composés chimiques : les statines. Ils se sont avérés efficaces pour réduire le taux de lipoprotéines de basse densité (LDL), aussi appelées « mauvais cholestérol », dans le sang. Cette découverte a permis de sauver des dizaines de millions de personnes, car un taux élevé de cholestérol dans le sang peut entraîner de graves risques pour la santé.

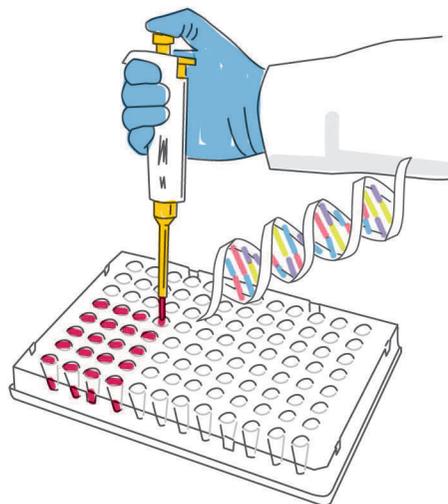


Les statines empêchent l'accumulation de cholestérol dans les artères.

1971

1983

Le test PCR est une norme dans la chimie de l'ADN.

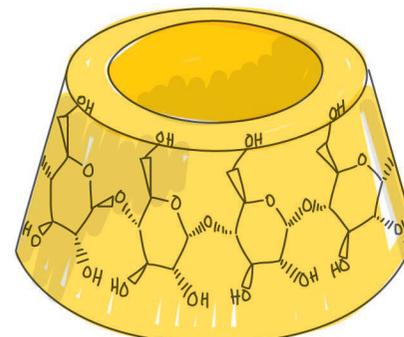


En 1983, Kary Mullis (1944-2019), biochimiste américain, découvre la réaction en chaîne par polymérase (PCR), utilisée aujourd'hui dans les tests ultrasensibles pour identifier les infections virales et bactériennes. Mullis reçoit le prix Nobel de chimie en 1993 pour cette découverte qui révolutionne la chimie de l'acide désoxyribonucléique (ADN). Le mécanisme de la PCR permet aux chimistes de multiplier ou de copier des échantillons d'ADN des centaines de millions de fois, ce qui rend leur détection rapide et facile dans diverses applications telles que les empreintes génétiques, la détection virale et le diagnostic des troubles génétiques. L'impact incroyable que le test PCR a eu à travers l'épidémie de virus de l'immunodéficience humaine (VIH) et la pandémie de coronavirus suffit à apprécier l'énorme importance de la découverte de Mullis.

1990

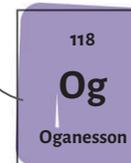
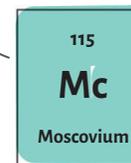
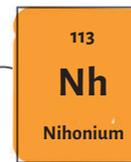
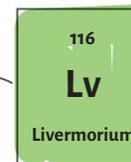
Les années 1990 sont dominées par la recherche dans le domaine de la chimie supramoléculaire. Les macromolécules sont un autoassemblage de blocs moléculaires stabilisés par des liaisons pour former des structures d'une taille de 1 à 100 nm, bien plus grandes et plus complexes que les molécules individuelles. Ces systèmes complexes sont d'une importance capitale dans de diverses applications comme le développement de médicaments, les capteurs chimiques et biologiques, les nanosciences et les nanoréacteurs. L'engouement pour la recherche scientifique dans ce domaine mène à un premier prix Nobel de chimie en 1987 attribué notamment au Français Jean-Marie Lehn, puis à un second en 2016 pour ses contributions sur le développement des machines moléculaires. Construites à partir de supramolécules, ces machines ont un haut potentiel d'applications, telles que l'administration d'agents thérapeutiques anticancéreux jusqu'aux cellules ciblées du corps humain.

Les agents thérapeutiques peuvent être hébergés dans les cavités des assemblages tridimensionnels pour une administration ciblée.



1998

À partir de 1998, six nouveaux éléments, dont les numéros atomiques vont de 113 à 118, sont découverts et ajoutés au tableau périodique, complétant sa septième ligne. Ils sont obtenus en bombardant des noyaux lourds avec des noyaux plus légers lors d'expériences soigneusement contrôlées dans des accélérateurs de particules. Comme ces éléments sont instables et n'existent que pendant une fraction de seconde, leur confirmation et leur acceptation par la communauté scientifique ont pris plusieurs années. Il est fort probable que de futures découvertes ajoutent une huitième rangée au tableau périodique.

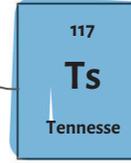


2000

2003

2006

2010

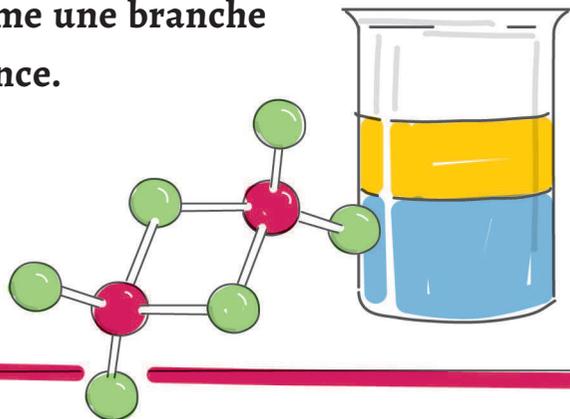


En tant que science, la chimie joue un rôle crucial et central dans des applications de la vie de tous les jours. Pour apprécier pleinement ce que les scientifiques ont accompli au cours des deux cents dernières années, il est important de comprendre la chimie qui se cache derrière ces avancées. C'est l'objectif de ce livre. À l'aide d'illustrations et de liens avec le quotidien, cet ouvrage part de l'atome pour explorer les principes fondamentaux de la chimie. Il vous aidera à comprendre et à apprécier la façon dont la chimie est appliquée dans un large éventail de domaines scientifiques et des technologies, façonnant notre société moderne et notre mode de vie.

# CHAPITRE 1

## LA CHIMIE : UNE SCIENCE CENTRALE

**L**a chimie est une science qui s'intéresse à la matière, sa composition, sa structure, ses changements ainsi que ses interactions avec d'autres matières et l'énergie. Depuis Démocrite et Aristote, en passant par l'ère expérimentale de l'alchimie, jusqu'à Lavoisier, le père de la chimie moderne, la chimie existe depuis longtemps. Les scientifiques utilisent l'observation et l'expérimentation pour élaborer des théories afin de mieux expliquer notre monde. L'accumulation de ces connaissances a conduit à une avancée incroyable de la chimie au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, qui continue aujourd'hui encore, positionnant la chimie moderne comme une branche fondamentale de la science.



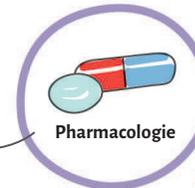
## LE RÔLE FONDAMENTAL DE LA CHIMIE

**L**e monde est constitué de matière et d'énergie que la chimie explore et tente d'expliquer. Ainsi, la chimie est importante pour comprendre les propriétés de la matière, des atomes jusqu'aux étoiles, ou encore des roches aux êtres vivants. La chimie est une science en soi, et est fortement liée à la compréhension de nombreux domaines d'études scientifiques.

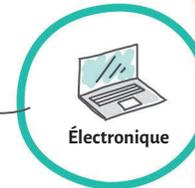
### La chimie dans notre quotidien

La chimie contribue dans un large éventail d'applications ayant un impact sur la vie quotidienne.

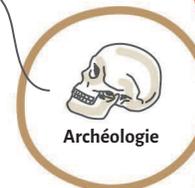
La chimie joue un rôle essentiel dans la mise au point de médicaments pour traiter des maladies.



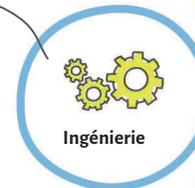
Grâce aux développements innovants en chimie des matériaux, les matériaux polymères remplacent peu à peu l'électronique à base de silicium.



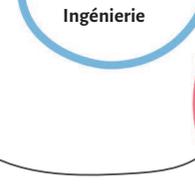
La chimie permet de dater des objets archéologiques et d'identifier la technologie utilisée pour les fabriquer.



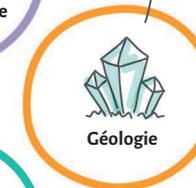
Le génie chimique est la branche de la chimie qui planifie, conçoit et construit la production à grande échelle de produits chimiques, comme la soude et l'ammoniac, utilisés au quotidien.



La biochimie mélange la biologie et la chimie pour comprendre des systèmes biologiques complexes, sans lesquels les scientifiques ne pourraient confectionner des antibiotiques pour traiter les infections bactériennes.



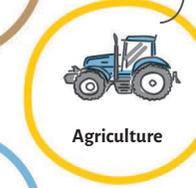
La géochimie étudie la composition, la datation des objets géologiques, ou encore les processus géologiques tels que les éruptions volcaniques et la formation de météorites et de fossiles.



La chimie a un rôle clé dans le développement de la médecine moderne, comme les progrès sur la production des cellules souches.



La chimie a révolutionné l'agriculture moderne avec le développement de nouvelles pratiques pour maximiser le rendement des cultures, telles que les engrais ou les produits pour lutter contre les parasites.



La chimie a également un rôle important dans d'autres domaines tels que la physique, la botanique, l'écologie, la météorologie, la paléontologie, la toxicologie, l'agriculture, la métallurgie, la biologie et la neurologie.

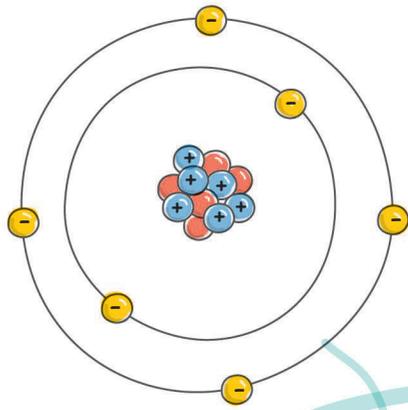
## Les branches conventionnelles de la chimie

Il existe cinq branches conventionnelles de la chimie : physique, analytique, inorganique, organique et biochimique. Ces branches peuvent être subdivisées en plus de quarante sous-branches, qui évoluent au fur et à mesure de

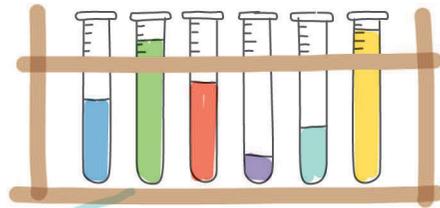
l'émergence de nouveaux domaines d'application, donnant lieu à de nouvelles innovations. Malgré ces évolutions, le rôle fondamental de la chimie reste le même : étudier la matière et ses changements lors de

processus physiques, chimiques et nucléaires. Chaque discipline explique les processus chimiques d'un point de vue qui lui est propre, fournissant ainsi un outil supplémentaire pour affiner sa compréhension.

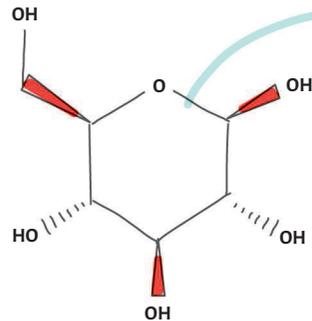
**Chimie physique :** étude des théories et des techniques de la physique et des mathématiques, appliquées aux systèmes chimiques.



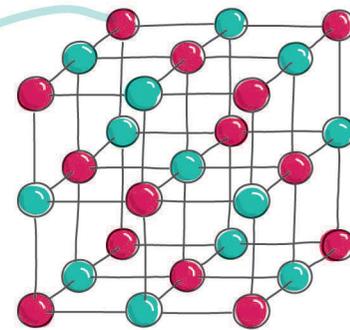
**Chimie analytique :** étude des méthodes chimiques utilisées pour séparer, identifier et quantifier la matière.



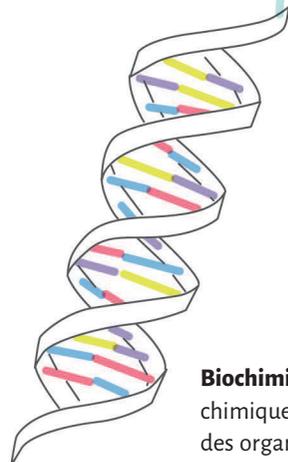
### La chimie



**Chimie organique :** étude des propriétés et du comportement des composés contenant du carbone.



**Chimie inorganique :** étude des propriétés et du comportement des composés inorganiques (généralement dépourvus de liaisons carbone-hydrogène).



**Biochimie :** étude des processus chimiques au sein des organismes vivants.

# LA MATIÈRE

Une définition générale de la matière – qu'elle soit visible ou non à l'œil nu – est : tout ce qui a une masse et occupe un volume. Tous les objets sont constitués de matière, composée elle-même de minuscules briques de construction, les atomes. Il existe trois formes principales de matière : solide, liquide et gazeuse.

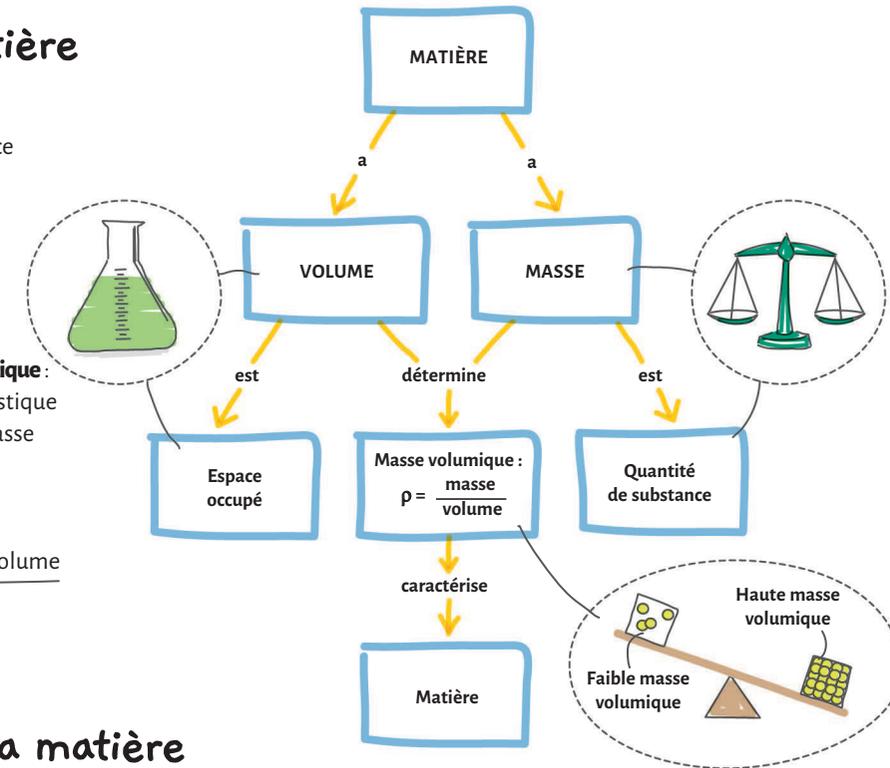
## Définir la matière

La matière a une **masse** : c'est la quantité de substance contenue dans un objet.

La matière a un **volume** : c'est la quantité d'espace occupé par un objet.

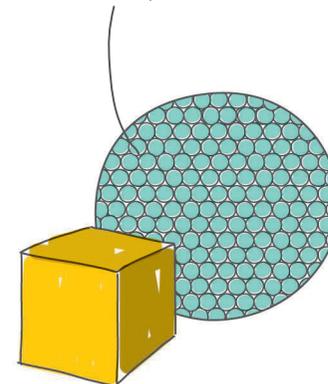
La matière a une **masse volumique** : c'est une propriété caractéristique qui est définie comme la masse d'un objet contenu dans une unité de volume.

$$\text{masse volumique} = \frac{\text{masse}}{\text{volume}}$$

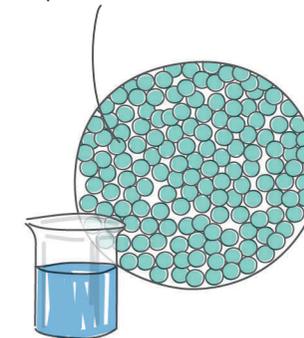


## Les états de la matière

L'état **solide** est l'état de la matière ayant la plus haute densité. Les atomes ou les molécules sont serrés les uns contre les autres dans des positions fixes.



L'état **liquide** a une densité qui se situe entre les états solide et gazeux. Les atomes ou les molécules peuvent se déplacer, mais restent à proximité les uns des autres.



La densité la plus faible correspond à l'état **gazeux** de la matière. Il y a une grande séparation entre les atomes ou les molécules et les particules de gaz se déplacent librement.

