



La chimie

LA MATIÈRE ET SES TRANSFORMATIONS



La chimie est la science qui étudie la matière, vivante ou inerte, les éléments dont elle est constituée, ainsi que les transformations qu'elle subit.

Cette discipline scientifique se distingue de la physique par le type de phénomènes qu'elle observe. De manière schématique, on peut dire que lorsque la matière subit une transformation au niveau moléculaire, il s'agit d'un phénomène chimique ; lorsqu'au contraire il n'y a pas de changement de composition, nous sommes en présence d'un phénomène physique.

MÉTHODES ET PRINCIPES DE LA CHIMIE

PRINCIPES DE CHIMIE GÉNÉRALE

Éléments étudiés par la chimie

Les éléments étudiés par la chimie sont de diverses natures : il s'agit d'une part des substances naturelles (éléments constitutifs des cellules tels que l'eau ou les protéines, étudiés par la biochimie), et d'autre part les substances de synthèse (élaborées par l'homme). La chimie est divisée en plusieurs disciplines, parmi lesquelles la chimie organique, qui étudie les composés à base de carbone. La chimie inorganique, ou « minérale » étudie quant à elle les éléments appartenant au monde minéral. Par ailleurs, on distingue la chimie analytique, qui détermine et analyse les éléments, la biochimie, qui étudie les molécules constitutives des êtres vivants, et les disciplines telles que l'électrochimie ou la pétrochimie, qui associent la recherche fondamentale à l'industrie.

La classification périodique des éléments

Les éléments chimiques étudiés par ces disciplines ont été regroupés dans une classification établie en 1869 par Dimitri Mendeleïev. Elle se présente sous la forme d'un tableau dit « périodique ». Ce terme de périodicité désigne la proximité des propriétés des éléments chimiques situés dans une même colonne de ce tableau. Par exemple, dans la première colonne de cette classification, l'élément lithium (Li)

et l'élément sodium (Na) comportent le même nombre d'électrons sur leur couche externe ; ces électrons interviennent dans les réactions chimiques avec d'autres atomes.

Ce tableau périodique des éléments de Mendeleïev répertorie et distingue les éléments chimiques dans l'ordre croissant de leur masse atomique.

Ce tableau de classification permet une approche globale des éléments chimiques et facilite la compréhension de leurs interactions.

Principes généraux et définitions

Au cœur de la matière se trouve l'atome, plus petite entité représentative de l'élément chimique. Au cœur de l'atome se



trouve le noyau atomique constitué de nucléons (particules constitutives du noyau dont le nom dérive du terme latin *nucleus*, noyau), qui se nomment protons lorsqu'ils sont chargés positivement, et neutrons lorsqu'ils sont électriquement neutres. Autour de ce noyau « gravitent » les électrons (le terme de gravitation étant incorrect puisque les électrons ne subissent guère la force gravitationnelle). Le nuage électronique dans lequel ils se déplacent est constitué d'une (hydrogène, hélium) ou de plusieurs couches. Le nombre d'électrons situés sur la couche externe qui détermine principalement les réactions avec les autres atomes. Le nombre total d'électrons (celui qui est inscrit dans la classification périodique des éléments), ainsi que le nombre de protons et de neutrons permet de définir l'atome.

Les éléments chimiques, pour la plupart, présentent en outre des isotopes, c'est-à-dire des atomes ayant le même numéro atomique mais un nombre de neutrons différent. Lorsque le noyau de cet isotope est instable, il libère de l'énergie. C'est la radioactivité. Il faut noter qu'un isotope peut exister à l'état naturel ou être synthétique. Enfin, l'élément chimique peut prendre la forme d'un ion, positif (cation) ou négatif (anion), lorsque sa couche externe perd ou gagne un électron.

L'association de ces éléments chimiques ou atomes entre eux aboutit à la formation d'édifices que l'on nomme molécules.

Comme nous l'avons vu, ces molécules se forment grâce à des liaisons entre atomes, qui sont dues aux électrons des couches externes des atomes. Il existe différents types de liaisons chimiques.

Dans la liaison simple, chaque atome fournit un électron. C'est notamment le cas dans la molécule d'eau H_2O où deux atomes d'hydrogène sont chacun reliés à un atome d'oxygène par une liaison simple.

Dans une liaison double, ce sont deux (voire trois) paires d'électrons, appelées doublets, qui sont mis en commun par les atomes ainsi liés.

MÉTHODES D'ÉTUDE ET D'EXPÉRIMENTATION

L'expérience en chimie, méthodes, analyse des résultats

L'étude des éléments chimiques et de leurs réactions fait souvent appel aux expériences. Celles-ci sont aujourd'hui réalisées selon des méthodes rigoureuses.

La technique expérimentale employée dépend de l'expérience à réaliser. Ainsi on distinguera les techniques préparatoires, les techniques de séparation, de purification et de caractérisation, ainsi que les techniques de dosage, les techniques spectroscopiques et celles spécifiques à certaines branches de la chimie.

On peut avoir recours à une technique de séparation : le filtrage permet de séparer les phases liquide et solide d'un mélange ; on utilise pour cela un filtre, qui recueille les résidus et laisse passer le filtrat. La décantation quant à elle consiste en

la séparation de deux produits liquides de densité et de polarité différente, donc non miscibles. Enfin, la chromatographie vient compléter la liste des techniques de séparation. Elle permet de purifier et de caractériser les éléments chimiques ; il existe plusieurs méthodes chromatographiques. La chromatographie sur papier consiste à déposer sur du papier chromatographique la solution à analyser, qui est absorbée par le papier. Cet échantillon est placé dans un solvant, et l'on observe que les différentes substances composant la solution de base migrent à différentes vitesses : on caractérise ainsi l'élément étudié, par comparaison avec des chromatogrammes de substances connues.

Parmi les techniques usuelles de chimie, on peut retenir la distillation. Il s'agit également d'un procédé de séparation, pour les substances liquides miscibles. On procède à l'ébullition de la substance qui donne d'une part un distillat et de l'autre un résidu. Ce procédé exploite les différences de propriétés des composants du liquide (différence de volatilité notamment).

Les réactions en chimie

Lorsque plusieurs éléments réagissent entre eux, on assiste à une réaction chimique, et à la formation d'un nouveau corps. Toutefois, cette réaction ne concerne que l'organisation des atomes, leur nombre, lui, reste constant, ainsi que leur charge électrique. Une réaction simple et courante

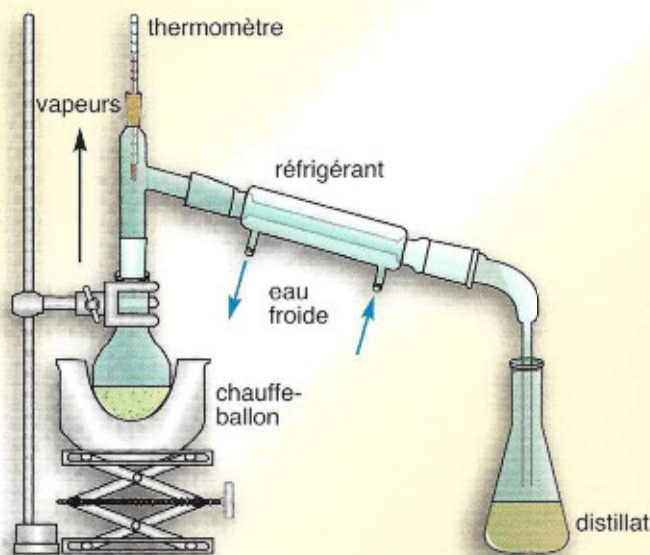
en chimie est la réaction acido-basique. Celle-ci se produit typiquement lorsque l'ion hydrogène H^+ (atome d'hydrogène qui a perdu son électron, donc chargé positivement) est mis en présence d'une base (c'est-à-dire une substance susceptible de capter un ion H^+), produisant un acide. Par exemple l'acide chlorhydrique (HCl) résulte d'une réaction acido-basique, il est formé de la base ion chlorure Cl^- et de l'ion hydrogène H^+ . En voici la formule : HCl (un atome de chlore lié à un atome d'hydrogène).

À noter que le pH (potentiel hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ , et donne le degré d'acidité ou de basicité, sur une échelle de 1 à 14 : un pH inférieur à 7 est dit acide, un pH égal à 7 est neutre et un pH supérieur à 7 est dit basique. Un autre type de réaction chimique commun est la réaction d'oxydoréduction. L'oxydoréduction est une réaction au cours de laquelle se produit un transfert d'électrons ; l'oxydation étant une réaction dans laquelle un composé perd des électrons, et la réduction une réaction où un composé gagne des électrons. Ces deux réactions sont



inverses et complémentaires. Par exemple, la corrosion (ou rouille)

Principe de la distillation



Tout sur l'atome

Anaxagore de Clazomènes

Auteur de la maxime « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme ».

1897



Sir Joseph Thomson identifie l'électron.

1913



Niels Bohr propose le modèle de l'atome qui porte son nom.

Nucléon

Nom des particules qui constituent le noyau d'un atome.

Proton

Nucléon chargé positivement.

Neutron

Nucléon électriquement neutre.

Électron

Particule chargée négativement qui gravite autour du noyau d'un atome.

L'hydrogène

H

premier élément de la classification périodique

est typiquement une réaction d'oxydoréduction.

Ces réactions acido-basique et d'oxydoréduction existent à l'état naturel et peuvent être reproduites. Par ailleurs, il existe des méthodes pour produire ces réactions chimiques en laboratoire, afin de décomposer une substance chimique ou de la synthétiser. C'est le cas de l'électrolyse, qui permet la décomposition de substances chimiques. Ce procédé utilise le courant électrique et deux électrodes appelées cathode et anode, immergées dans une solution (constituée de l'élément à décomposer et d'un solvant), et consiste en l'application entre les deux électrodes d'une différence de potentiels électriques. Il se produit une réaction d'oxydation au niveau de l'anode et une réaction de réduction au niveau de la cathode. L'exemple habituel d'application de l'électrolyse est la production de dihydrogène (H₂) par électrolyse de l'eau (H₂O). L'équation de cette réaction chimique est donc : $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$

HISTOIRE DE LA CHIMIE, GRANDES DÉCOUVERTES

L'ANTIQUITÉ, LES PREMIÈRES DÉCOUVERTES

Dès l'Antiquité grecque on voit apparaître une théorisation des phénomènes chimiques. Les premiers écrits dont nous disposons concernant ces théories sont ceux d'Empédocle (philosophe et médecin grec qui vécut au V^e siècle avant J.-C.), qui considérait que le monde était composé de quatre éléments, l'eau, le feu, la terre et l'air. Contemporain d'Empédocle, Anaxagore de Clazomènes élabore quant à lui une théorie du cosmos (organisation du monde) sensiblement différente. Selon lui, le monde est composé de substances essentielles qui ne se créent ni ne cessent d'exister mais forment des combinaisons. Auteur de la maxime « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme », il est, si l'on veut, à l'origine des théories modernes de la chimie (plus précisément, les chimistes de l'époque moderne firent de nombreuses références aux philosophes de l'Antiquité).

Enfin il nous faut mentionner les travaux de deux contemporains, Leucippe et Démocrite. Le premier est considéré, sans que nous n'ayons de texte de sa main, comme le fondateur des principes de l'atomisme. C'est dans l'œuvre du second qu'il faut chercher les preuves de la paternité de cette théorie, selon laquelle le monde n'est pas seulement composé de quatre éléments mais de deux principes à l'origine de tout : le plein (atomes, que l'on ne peut diviser) et le vide, où les atomes sont des entités invisibles, indivisibles et éternelles. Leur existence, et leur opposition à la notion de néant, suppose que « rien ne vient du néant, et rien après avoir été détruit, n'y retourne. Les atomes se déplacent dans tout l'univers en effectuant des tourbillons et c'est de la sorte que se forment les composés : feu, eau, air et terre » (Démocrite). Cette théorie matérialiste connaît une certaine pérennité chez les chimistes de l'époque moderne.

L'ÉPOQUE MODERNE, LES GRANDS CHIMISTES

Au cours du Moyen Âge, mis à part les travaux plus ou moins probants des alchimistes, de nombreuses avancées scientifiques ont lieu, notamment dans le domaine de la médecine. Cependant il faut attendre le XVI^e siècle pour voir les prémices d'une véritable recherche en chimie.

Paracelse, médecine et chimie

La personnalité du médecin suisse Paracelse (1493-1541) est controversée, notamment en raison de ses opinions religieuses. Néanmoins, il est à l'origine de théories scientifiques audacieuses qui méritent d'être mentionnées. Sa propre recherche, comme celle des chimistes de la fin du Moyen Âge, s'articule autour de la transformation de substances naturelles, notamment par le biais de la distillation, pour l'élaboration, entre autres, de remèdes médicaux. Les découvertes réalisées alors aboutissent à la remise en question des théories héritées de l'Antiquité (Aristote).

Newton, Cavendish et Lavoisier : découvertes d'éléments

Dans cette chronologie des avancées scientifiques à l'origine de la chimie moderne, il faut s'arrêter sur le personnage de Henry Cavendish, physicien et chimiste britannique. Son caractère excentrique n'affecta en rien ses travaux ; influencé par Newton, il fit une découverte essentielle dans le domaine de la physique en déterminant la densité du globe terrestre. En chimie, il mit au point une méthodologie pour la chimie expérimentale, et identifia en 1766 l'hydrogène ou « air inflammable » (la paternité du terme d'hydrogène revient à Lavoisier) ; il



en décrit les caractéristiques principales et en détermine la densité par rapport à l'air (soit 11 à 12 fois moins dense que l'air). Il reprend

également les recherches de son compatriote Joseph Priestley qui identifia en 1774 le dioxygène, et montre qu'une combustion consomme de l'hydrogène en proportion deux fois supérieure à l'oxygène ; il en conclut enfin que l'eau est issue de la combinaison de ces deux gaz. Cette découverte a ceci d'important qu'elle écarte définitivement les théories antiques sur les éléments.

LES DÉCOUVERTES ET ÉVOLUTIONS RÉCENTES

L'ère industrielle

Une découverte capitale dans le domaine de la chimie est attribuée à Sir Joseph Thomson, physicien britannique, qui identifia en 1897 l'électron et en détermine la charge massique. Ce faisant, il propose un modèle atomique vraisemblable, avec des électrons gravitant autour d'un noyau. Ce modèle de l'atome est repris par le physicien danois Niels Bohr en 1913. Il ajoute à ce modèle l'idée que

les couches les plus éloignées portent le plus grand nombre d'électrons, et que les électrons peuvent passer d'une couche à une autre en émettant un photon.

Les progrès de la biochimie 1900-1905

Depuis la synthèse de l'urée par Friedrich Wöhler en 1828, on dispose de fondements pour l'idée selon laquelle la matière vivante est issue de réactions chimiques. Cette théorie est à la base des développements de la biochimie, qui sont nombreux et décisifs au cours des XIX^e et XX^e siècles. Cette discipline s'intéresse donc à la cellule et à ses constituants chimiques, et les scientifiques – allemands



notamment, à la suite de Justus von Liebig (1804-1873) –, répertorient et étudient les glucides, lipides, protéines et enzymes nécessaires à l'existence des

cellules. En France, Louis Pasteur contribue à cette recherche en étudiant en particulier les enzymes intervenant dans les fermentations et les digestions. Dans les années 1930, le processus de la photosynthèse des végétaux est décrit de manière précise par Robert Hill, qui le présente comme une réaction d'oxydoréduction au cours de laquelle le carbone subit une réduction et l'oxygène une oxydation. Enfin au cours des années 1950, on note les premiers résultats probants de la recherche sur l'ADN (acide désoxyribonucléique), menée depuis la seconde moitié du XIX^e siècle. Erwin Chargaff montre que cette molécule est présente au niveau des chromosomes, et il détermine la proportion d'adénine, de thymine, de guanine et de cytosine (ATGC) au sein de la molécule ; il faut attendre 1953 pour que James Watson, Francis Crick et Rosalind Franklin établissent, au laboratoire Cavendish de Cambridge, la structure en double hélice de l'ADN.

Curie et les travaux sur la radioactivité

Enfin, on ne peut achever ce bref historique de la chimie sans mentionner les travaux de Pierre et Marie Curie et Henri Becquerel sur



la radioactivité (qui reçurent conjointement le prix Nobel de physique en 1903). Les travaux de Marie Curie sont particulièrement intéressants car elle est responsable de la découverte du polonium et du radium en 1898, en plus des travaux menés avec son mari sur les rayonnements produits par l'uranium. Réputée autant pour sa personnalité

ambitieuse (elle devient en 1906 la première femme professant à la Sorbonne) que pour les résultats de ses travaux, Marie Curie est à l'origine de progrès déterminants pour la recherche en physique et en chimie.

DISCIPLINES ET DOMAINES D'APPLICATION

CHIMIE PHYSIQUE ET CHIMIE ANALYTIQUE

La chimie générale

La chimie générale ou chimie physique a pour but l'analyse des systèmes chimiques, des transformations et des changements d'état. Elle décrit en particulier les modifications énergétiques qui se produisent au cours des réactions chimiques.

La chimie analytique

La chimie analytique consiste en la reconnaissance de produits nouveaux ou la détermination des caractéristiques d'un produit connu. Elle fournit notamment une méthode regroupant des analyses qualitatives et quantitatives utilisées dans le suivi qualité des industries, au niveau de la fabrication des produits autant que du suivi des déchets.

CHIMIE ORGANIQUE ET CHIMIE MINÉRALE

Chimie organique

La chimie organique est l'une des disciplines les plus importantes de la chimie ; elle a en effet pour objet l'étude des composés organiques, c'est-à-dire les éléments chimiques à base de carbone.

La théorie dominante au cours des siècles précédents, celle du vitalisme, a ainsi laissé place peu à peu à des schémas plus proches des idées actuelles. Ce changement coïncide avec les premières synthèses de substances organiques, initiées par la synthèse fortuite de l'urée en 1828 par le chimiste allemand Friedrich Wöhler (il obtint de l'urée à partir de cyanate d'ammonium, composé d'origine minérale).

Cette découverte capitale et les travaux qui suivirent sont notamment à l'origine de l'élaboration de produits essentiels de la pharmacopée moderne (on peut citer notamment l'aspirine, qui est un acide acétylsalicylique obtenu par synthèse, les sulfamides, qui sont employés comme antibiotiques, et sont issus de la synthèse de l'acide sulfonique).

Le carbone est dit tétravalent, ce qui signifie qu'il peut former quatre liaisons. C'est cette propriété qui induit l'existence d'un grand nombre de composés carbonés. Les composés carbonés les plus simples sont ce que l'on appelle les hydrocarbures ; ce terme est utilisé dans le langage courant pour désigner le pétrole et le gaz naturel, mais son sens premier fait référence à une molécule composée d'hydrogène (H) et de carbone (C) ; il en existe plusieurs familles, que l'on distingue en fonction de la nature des liaisons (simples, doubles ou triples, linéaires ou cycliques).

La possibilité de synthétiser la plupart des molécules a contribué non seulement à modifier la conception du vivant, mais également à développer des thérapies, ainsi que des procédés industriels.

La chimie minérale ou inorganique

Le terme de « chimie inorganique » renvoie à une conception ancienne, qui supposait que les substances minérales peuvent être synthétisées, contrairement aux substances organiques, que l'on pensait mues par une force vitale : c'est la théorie vitaliste que nous avons déjà mentionnée. Aujourd'hui, la chimie minérale étudie les minéraux et les métaux. Il faut noter qu'« inorganique » ne signifie pas que l'étude se restreint aux éléments non vivants, il ne faut donc pas opposer chimie organique et chimie minérale mais les considérer comme deux disciplines complémentaires.

BIOCHIMIE

L'étude des cellules vivantes

Cette discipline apparaît à la fin du XIX^e siècle avec le développement de la chimie organique, et le terme de biochimie est employé pour la première fois en 1903 par Carl Neuberg. La biochimie, qui comporte un certain nombre de sous disciplines, repose sur l'étude des molécules qui constituent les êtres vivants, mais également des réactions qui se produisent dans les cellules, à l'origine des mécanismes du vivant comme le métabolisme. Parmi les biomolécules – observées donc par la biochimie – il faut dans un premier temps s'intéresser à un élément essentiel à la vie : l'eau. Cette molécule de formule H₂O présente des caractéristiques peu communes qui en font un élément indispensable aux êtres vivants ; elle en est même le principal constituant. On dit d'elle qu'elle a une importante phase liquide, ce qui signifie qu'elle est difficile à évaporer, ce qui lui permet d'exister dans les conditions de température terrestres. Une autre de ses particularités remarquables est sa capacité à former de nombreuses liaisons et donc à produire de nombreuses réactions.

Glucides, lipides et protéines

Outre l'eau, les biomolécules les plus fréquemment observées sont celles à l'origine de l'existence des cellules, soit les glucides, les lipides et les protéines. Les glucides sont également appelés hydrates de carbone, en raison de leur composition (leur formule étant C_n(H₂O)_n). Ces molécules représentent une source d'énergie pour les cellules, elles sont au cœur du métabolisme énergétique (processus d'assimilation et de dégradation des substances nutritives qui aboutit à la production d'énergie). Les lipides, quant à eux, contribuent également à la production d'énergie. Au sein de cette classe « lipides » sont regroupées de nombreuses molécules ayant des structures diverses et exerçant des fonctions variées. Ces molécules ont des propriétés communes, notamment l'hydrophobie et une densité inférieure à l'eau. Les protéines enfin sont des macromolécules (assemblage de nombreux groupements chimiques) formant des polymères (de masse moléculaire importante). Elles remplissent de multiples fonctions au sein des cellules, notamment celles de transport (hémoglobine), de communication (certaines hormones), de catalyse (les enzymes), ou encore de reconnaissance et défense (anticorps).