



La chimie inorganique

UNE SCIENCE MILLENAIRE

La chimie est la science de la transformation de la matière. Et depuis la nuit des temps, l'homme s'attèle à transformer la matière pour fabriquer toute sorte d'outils et d'objets. Ainsi, les techniques de « terre cuite » peuvent être



considérées comme les premières applications empiriques de la chimie. La cuisson de l'argile permet la confection d'ustensiles en tout genre. L'homme s'intéresse ensuite aux métaux. Extraits de minerais, ils servent notamment à la confection d'armes. Le bronze par exemple, alliage de cuivre et d'étain, est très utilisé vers 3000 avant J.-C. Le fer, plus difficile à exploiter mais plus dur que le bronze, est largement employé à partir de 2500 avant J.-C. L'idée de tremper les métaux fait également bientôt son apparition. Refroidir rapidement une structure chaude a pour effet de la figer, la rendant plus résistante. La teinturerie est un autre domaine dans lequel la chimie intervient. Le cinabre (Hg₂S) est par exemple utilisé comme rouge à lèvres. Mais, la présence de mercure le rend toxique.

L'être humain commence ensuite à s'intéresser à la connaissance pure, sans objectif technique. C'est Démocrite (460 - 370 avant J.-C.) qui fonde alors la théorie atomique selon laquelle la matière est constituée de particules élémentaires qu'il nomme atomes. Une théorie qui ne prendra son envol qu'avec les remaniements de **John Dalton** au XIX^e siècle. Car,



jusqu'à la Renaissance, les alchimistes imposent leurs points de vue. Cherchant à transformer les métaux en or, ils réalisent un nombre impressionnant d'expériences conduisant au développement de nouveaux procédés métallurgiques et à la préparation de nouveaux composés. Les acides minéraux comme l'acide nitrique, l'acide sulfurique ou l'acide chlorhydrique, le vitriol (H₂SO₄), la fleur de Jupiter (SnO), l'esprit de sel (HCl) ou encore l'esprit de vin

(EIOH) sont alors quotidiennement employés. Les alchimistes mettent aussi à jour quelques éléments ou composés jusqu'alors inconnus comme l'arsenic, le phosphore, les sels d'argent, etc.

Georg Bauer dit Agricola (1494 - 1555), savant allemand, est le fondateur de la chimie métallurgique. Après avoir exercé dans la médecine, il se fixe à Chemnitz pour étudier les minéraux et plus particulièrement les mines d'argent de la Misnie. Son *De Re Metallica* constitue le premier ouvrage de référence sur les techniques minières et le travail du métal.

LA NAISSANCE DE LA CHIMIE ORGANIQUE

C'est Nicolas Lémery, médecin et chimiste français, qui introduit le premier, en 1690, une distinction entre la chimie qu'il qualifie de minérale, chargée de l'étude des composés inertes et la chimie organique, qui étudie les substances issues des animaux ou des végétaux. Quelques années plus tard, **Antoine Laurent de Lavoisier**, savant



français, définit la chimie organique comme celle des composés contenant du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène, du phosphore et de l'azote. L'étude des autres éléments revient alors à la chimie dite inorganique, une chimie non soumise au principe de force vitale.

Au XVIII^e siècle, si beaucoup étudient la théorie, certains réfléchissent aux applications possibles. En Europe, l'industrie chimique prend son essor. Le chimiste français Nicolas Leblanc met au point un procédé industriel de fabrication de la soude. En Angleterre, les premières fabriques d'acide sulfurique voient le jour. Lorsqu'en 1828 Friedrich Wöhler, un chimiste allemand, synthétise l'urée, un composé organique, à partir de cyanate d'ammonium, un composé inorganique, il démontre que la chimie organique peut se faire sans aide divine. C'est la fin de l'idée de force vitale et la démonstration de l'unité des chimies organique et inorganique.

Au siècle suivant, la spectroscopie permet aux chimistes de découvrir de nombreux éléments. En plaçant des sels de sodium puis des sels de

L'hydrogène et ses isotopes

hydrogène

1 proton

deutérium

1 proton
1 neutron

tritium

1 proton
2 neutrons

potassium dans une flamme, Andreas Marggraf remarque que la flamme émise change de couleur. Un peu plus tard, **Robert Wilhelm Bunsen** étudie les eaux minérales



en analysant les couleurs ou spectres des flammes émises. Lorsque Gustav Kirchhoff lui conseille d'analyser les flammes après passage de la lumière dans un prisme, ils remarquent que les raies spectrales sont caractéristiques des éléments. La spectroscopie est née.

DES ÉLÉMENTS À CLASSER

L'un des grands problèmes qui se pose alors aux chimistes est celui de la classification des éléments qu'ils étudient. La question est résolue en 1869 par un chimiste russe, Dimitri Mendelév. Il observe que les propriétés des 63 éléments connus à ce jour se répètent périodiquement si on les classe par masses atomiques croissantes. Il range les éléments ayant des propriétés chimiques voisines par colonnes, ces éléments constituant alors une famille. Pressentant la découverte de nouveaux éléments, il prévoit même des cases libres pour les accueillir. Plus tard, les scientifiques découvrent que les ressemblances observées dans les propriétés chimiques ne sont pas liées à la masse atomique mais à la répartition des électrons. Le tableau est donc légèrement remanié. Aujourd'hui, la fameuse classification périodique des éléments de Mendelév trône dans les classes de sciences de tous les lycées. Le tableau compte sept lignes correspondant chacune à une

période et seize colonnes correspondant chacune à une famille. Il regroupe les 109 éléments, naturels ou artificiels, connus à ce jour et permet de prévoir le comportement chimique de chacun d'entre eux.

UNE DISCIPLINE CLAIREMENT DÉFINIE

Contrairement à la croyance populaire, la chimie inorganique n'est pas définie comme l'étude de l'inerte alors que la chimie organique serait celle du vivant. Pour les scientifiques, la chimie inorganique est celle chargée de l'étude de toutes les substances à l'exception du carbone et de ses composés. Historiquement, elle s'est d'abord intéressée aux propriétés des pierres d'où sa première dénomination de chimie minérale. Ensuite, elle s'est progressivement tournée vers les métaux et les gaz. Les composés étudiés par la chimie inorganique se classent en plusieurs catégories : les minéraux (sels, silicates, etc.), les métaux et leurs alliages (fer, cuivre, aluminium, bronze, etc.), les composés non-métalliques (silicium, phosphore, chlore, etc.) et les complexes métalliques. Et, si les corps simples ont été baptisés au gré de leurs découvertes, souvent en référence à leurs propriétés ou à d'honorables savants, la dénomination des corps composés inorganiques répond quant à elle à quelques règles bien strictes. L'association d'un non-métal avec de l'oxygène par exemple, se nommera inmanquablement « oxyde de ». L'un des plus connus des oxydes étant le dioxyde de carbone (CO₂), principal responsable de l'actuel réchauffement climatique. Couplés à de l'hydrogène, ces mêmes non-métaux prennent le nom d'« acide -hydrique ». Ainsi l'acide

chlorhydrique (HCl) est-il formé d'un atome d'hydrogène et d'un atome de chlore.

L'ÉLÉMENT LE PLUS RÉPANDU

L'hydrogène, élément le plus répandu dans l'univers si ce n'est sur Terre, est le plus léger et le plus simple des éléments. Il tient son nom du grec signifiant « engendrer l'eau ». Son noyau est formé d'un unique proton autour duquel gravite un seul électron. Mais il existe également deux variantes de l'hydrogène, moins répandues : le deutérium et le tritium. Le noyau du premier compte en plus du proton, un neutron. Le noyau du second compte toujours un proton mais cette fois deux neutrons. Dans la nature, on trouve principalement l'hydrogène sous forme moléculaire, le dihydrogène (H₂), ou dans des composés. L'eau (H₂O) en est un exemple bien connu. Dans le tableau périodique des éléments, l'hydrogène est rangé dans la famille des métaux alcalins. Pourtant, n'existant pas à l'état solide sur Terre, les chimistes ne le considèrent pas comme tel.

L'hydrogène est largement utilisé dans l'industrie, pour la fabrication de l'acide chlorhydrique, pour le soudage, pour la réduction de minerais métalliques, etc. Le deutérium et le tritium sont quant à eux employés dans des applications nucléaires. Le premier comme modérateur destiné à ralentir les neutrons dans les réacteurs. Le second dans la construction de bombes. Depuis quelques années, l'hydrogène est aussi de plus en plus fréquemment désigné comme la source d'énergie de l'avenir, sa combustion ne générant que de la vapeur d'eau. De nombreuses expériences sont actuellement menées notamment dans le domaine des transports. Mais la

Éléments de chimie

25 °C
et pression
atmosphérique
Conditions dites
normales de
température et de
pression.

99 %
L'univers est
composé à 99 %
d'hydrogène et
d'hélium.

8
Huit éléments
(Fe, O, Si, Mg, S,
Ni, Ca, Al)
constituent 99 %
de la masse de la
Terre.

13,7
Nombre
d'accidents ayant
entraîné un arrêt
de travail par
million d'heures
travaillées dans
l'industrie
chimique en 2003
(26,9 tous
secteurs
confondus).

95,7 milliards
d'euros
Chiffre d'affaire
de l'industrie
chimique
française en 2005
(6,4 % provient
de la chimie
minérale).

Doses létales
Pour un homme
de 70 kg, 700 mg
de cyanure,
50 mg de
nicotine, 2 mg de
toxine botulique
sont des doses
mortelles.

L'hydrogène

H

1,67.10⁻²⁷
kg

production, le stockage et le transport de l'hydrogène posent encore de grandes questions technologiques.

LES MÉTAUX

Pour le chimiste, un métal est un élément susceptible de perdre un ou plusieurs de ses électrons. Il forme alors un ion positif (cation). Le fer, par exemple, peut ainsi se transformer en ion fer II (Fe^{2+}). Dans les conditions dites normales de température et de pression, les métaux usuels sont solides. Le **mercure** de nos



thermomètres fait exception. Il est en effet liquide dans ces conditions. D'autres métaux peuvent être mous (sodium, potassium) ou friables (calcium). Les métaux sont répartis en quatre grands groupes : les métaux légers (lithium, béryllium, etc.), les métaux fragiles (titane, chrome, etc.), les métaux ductiles (nickel, cuivre, etc.) et les métaux à bas point de fusion (aluminium, zinc, etc.). Dans le tableau périodique, on les retrouve dans plusieurs familles (alcalins, alcalino-terreux, métaux de transition et métaux pauvres). Les métalloïdes présentent quant eux des propriétés physico-chimiques à mi-chemin entre celles des métaux et celles des non-métaux. Ils sont par exemple semi-conducteurs plutôt que conducteurs.

Les métaux sont généralement des solides cristallins. Ils sont malléables et ductiles. En d'autres termes, il est possible de les déformer sans les rompre. Ils conduisent aussi bien la chaleur que l'électricité. Le plus souvent, les métaux se trouvent dans la nature sous forme d'oxydes dans des minerais. Ainsi l'aluminium se cache-t-il dans la bauxite. Le fer quant à lui se trouve sous différentes formes, l'oxyde ou hématite et le sulfure ou pyrite étant les plus connues. Les métaux précieux comme l'or et le platine se trouvent à l'état non-oxydé ou natif. D'autres métaux natifs peuvent également nous provenir de météorites. Les mélanges de métaux forment ce que l'on appelle des alliages (bronze, laiton, etc.).

Forts de leur important pouvoir d'accumulation, de nombreux métaux sont polluants et toxiques. Et tout particulièrement les plus lourds d'entre eux parmi lesquels le plomb et le mercure. Ce dernier se retrouve dans les amalgames qui constituent les « plombages » de nos dents. Au Danemark, la pratique de l'incinération des morts est tellement répandue qu'elle est devenue la principale source de pollution au mercure !

LES NON-MÉTAUX

Contrairement aux métaux, les éléments regroupés sous la bannière des non-métaux ont tendance à capturer un ou plusieurs électrons pour

former ensuite des ions négatifs (anions). Parmi eux l'oxygène, l'azote, le fluor, le chlore, le soufre, le phosphore, etc. Ils conduisent mal l'électricité et la chaleur. Ils ne sont ni malléables, ni ductiles.

L'azote ou plus précisément le diazote (N_2) est l'élément majoritaire de l'atmosphère terrestre. Lavoisier, ayant remarqué son effet négatif sur la vie des animaux, lui choisit ce nom en se référant au mot grec signifiant « privé de vie ». L'azote se désigne aussi par nitrogène, du grec signifiant formateur de salpêtre (nitrate de potassium) d'où également son symbole chimique N. L'azote est employé dans les musées afin de protéger les œuvres sensibles d'invasions parasitaires. Les composés azotés sont de leur côté largement utilisés comme engrais.

Parmi les non-métaux remarquables, on trouve aussi les halogènes, regroupés dans l'avant dernière colonne de la classification périodique des éléments. Il s'agit notamment du fluor, du chlore, du brome et de l'iode. Ils tirent leur dénomination du grec signifiant « créateur de sel » et sont connus du grand public pour leur utilisation dans les lampes à halogène. Ils présentent en effet la propriété de réagir avec le tungstène du filament de la lampe, le régénérant et empêchant son dépôt sur les parois de verre. Certains halogènes comme le chlore servent aussi de désinfectants (eau de javel) ou de blanchisseurs.

LES GAZ

Le premier des gaz rares, encore appelés gaz nobles, est découvert en 1868 par l'astronome français Jules Janssen. L'observation ayant été réalisée dans la couronne solaire lors d'une éclipse, il baptise ce gaz nouveau l'hélium. Le premier gaz rare à être décelé sur Terre l'est en 1894. Il s'agit de l'argon.

Les gaz rares forment une famille d'éléments toute particulière. Ils sont en effet chimiquement inertes. C'est-à-dire que, présentant une grande stabilité, ils ne réagissent qu'extrêmement peu avec leur environnement. Extrêmement peu car dans les années 60, les chimistes sont malgré tout parvenus à en incorporer dans des composés stables comme le tétrafluorure de xénon. Parmi les principales utilisations des gaz rares, on compte l'**éclairage**. Ainsi, le



néon sert à remplir certaines ampoules électriques. Le xénon, de son côté, est employé en médecine, comme anesthésiant et comme produit de contraste en imagerie par résonance magnétique. Du côté des usages plus amusants, on peut noter l'inhalation d'hélium. Moins dense que l'air, ce gaz a pour effet de faire vibrer plus rapidement les cordes vocales transformant la voix en voix de dessin-animé ! Inoffensive à faible dose, l'inhalation d'hélium en plus grande

quantité peut toutefois provoquer une asphyxie, une embolie cérébrale ou encore des problèmes pulmonaires sérieux.

LES MINÉRAUX

Les minéraux sont des substances principalement inorganiques. Ils sont caractérisés par les agencements périodiques et symétriques d'ions cristallins des atomes qui les composent. Dans les conditions normales de température et de pression, les minéraux s'associent pour former les roches de la croûte terrestre. Les scientifiques les trouvent ainsi principalement dans les mines et les carrières. Mais, ils en trouvent aussi au cœur des météorites qui tombent sur Terre. Les chercheurs produisent également des combinaisons théoriques de minéraux composites en laboratoires. La particularité d'un minéral est que sa formule chimique peut varier. Dans l'olivine par exemple, des atomes de fer peuvent être remplacés par des atomes de magnésium sans que les propriétés physiques et chimiques ne s'en trouvent réellement affectées. Ainsi, si certains minéraux, comme l'**or** ou le



cuivre, se confondent avec des éléments chimiques, la plupart sont des composés. À ce jour, les scientifiques connaissent 4 000 minéraux classés selon des critères chimiques et cristallographiques. Parmi eux, les sulfures, les oxydes, les nitrates, les silicates, etc.

UNE CHIMIE DESCRIPTIVE

L'une des branches de la chimie inorganique est spécifiquement chargée de décrire les propriétés des éléments et de leurs composés. Ainsi, la chimie de coordination étudie la formation, la structure et la réactivité de composés nommés complexes. Un complexe est un édifice chimique constitué d'un cation central métallique entouré de plusieurs molécules ou ions que les chimistes nomment ligands. En effet, en délocalisant une partie de leurs électrons sur le cation central, ces molécules ou ions forment avec lui des liaisons chimiques. Les ligands les plus répandus sont l'eau, l'ammoniac (NH_3) ou des anions comme les chlorures (Cl^-), les hydroxydes (OH^-), etc.

UNE CHIMIE THÉORIQUE

En proposant quelques précisions au modèle atomique admis jusque là, Niels Bohr, physicien danois du début du XX^e siècle, permet le développement de la chimie théorique. Selon lui, l'atome est bien constitué d'un noyau central autour duquel orbitent les électrons mais ces derniers se trouvent sur des orbites bien définies qu'ils ne peuvent

quitter qu'en absorbant ou en émettant de l'énergie. Appliquée à la chimie inorganique, cette nouvelle vision de l'organisation de la matière entraîne le développement de théories qualitatives expliquant et prévoyant les structures de bien des composés. La théorie des groupes introduit quant à elle la notion de symétrie dans les molécules.

LES RÉACTIONS DE LA CHIMIE INORGANIQUE

Autre branche de la chimie inorganique, celle qui étudie les processus réactionnels. Elle s'intéresse entre autres aux réactions d'oxydoréduction. Des réactions qui consistent en un transfert d'électrons d'un composé nommé réducteur à un autre nommé oxydant. Les principaux réducteurs sont les métaux des deux premières colonnes du tableau périodique des éléments. Les principaux oxydants se trouvent dans la partie droite de la classification.

LES MÉTHODES D'ANALYSE

Du fait qu'elle étudie des éléments très variés aux propriétés tout aussi variées, la chimie inorganique emploie de nombreuses méthodes d'analyse différentes. Parmi les propriétés examinées par des méthodes classiques de la chimie, on peut citer la conductivité électrique, la solubilité ou encore l'acidité. Ces dernières décennies, de nouvelles méthodes ont fait leur apparition. Elles permettent notamment d'enquêter sur les propriétés électroniques des molécules inorganiques. Les méthodes les plus couramment utilisées par les chimistes sont aujourd'hui la cristallographie par rayons X, la spectroscopie, l'électrochimie, etc.

LA SYNTHÈSE EN CHIMIE INORGANIQUE

La plupart des composés inorganiques sont synthétisés par l'industrie ou dans des laboratoires. Les composés solubles sont produits par les mêmes méthodes que celles de la chimie organique. Les composés métalliques, très réactifs à l'air, sont quant à eux synthétisés dans des boîtes à gants permettant de travailler dans une atmosphère inerte. Autre option, la ligne de Schlenk qui permet elle aussi de manipuler des composés sensibles à l'oxygène notamment.

LES MATÉRIAUX DE LA CHIMIE ORGANIQUE

La chimie inorganique est une importante source d'applications industrielles. Le premier composé inorganique synthétisé par l'homme est le nitrate d'ammonium, utilisé essentiellement comme engrais. Mélangé à des hydrocarbures, molécules organiques, il peut aussi servir d'explosif. Il est notamment responsable de l'explosion accidentelle de l'usine AZF près de Toulouse en septembre 2001. Outre la production de composés

destinés à diverses utilisations comme l'hydrogène, le chlore, l'azote, etc., la chimie inorganique est à la base de la synthèse de nombreux matériaux parmi lesquels les céramiques et les verres. Les objets en céramiques ont pour propriété d'être durs et résistants. À des températures extrêmement basses, certaines céramiques deviennent même supraconductrices. Leur résistance au passage d'un courant électrique est alors nulle. Par contre, les céramiques ont en général une conductivité thermique faible ce qui en fait de bonnes matières premières pour la confection de boucliers thermiques dans l'aviation. Les verres de leur côté sont des matériaux durs mais fragiles. La plupart du temps, le verre est constitué d'oxyde de silicium (SiO_2). Réagissant très peu avec les produits agroalimentaires, il est le matériau quasi idéal des contenants comme les bouteilles, les pots de yaourt, etc. Les déchets nucléaires de haute activité sont aussi confinés dans du verre. Autres domaines d'application de la chimie inorganique : la fabrication de gaz comprimés, de pigments, de colorants ou d'engrais.

Malgré ces nombreux débouchés, depuis quelques années, l'activité de l'industrie de la chimie minérale connaît un ralentissement. Les secteurs les plus touchés sont ceux des colorants, des pigments et des engrais. Mais, la production de gaz industriels est aussi en légère baisse.

UNE CHIMIE MULTICOLORE

Pendant de nombreuses années, la chimie est noire. De grandes cheminées crachant d'épaisses fumées sombres jaillissent alors fièrement des paysages industriels. Aujourd'hui, les seuls rejets tolérés sont ceux de **vapeur d'eau**. De



noire, la chimie est devenue blanche. Mais, elle peut aussi se faire rouge lorsqu'il lui arrive de tuer. Pourtant, si la réputation de la chimie est des plus mauvaises, les chiffres montrent qu'elle est de nos jours l'une des branches de l'industrie les plus sûres. Depuis quelques années, la chimie se fait également de plus en plus verte lorsqu'elle emploie des réactifs non-toxiques ou encore lorsqu'elle économise son énergie et les produits qu'elle utilise. Avec l'adoption en décembre 2006 par le Parlement européen de la réglementation Reach, la chimie dite verte semble avoir réellement pris son essor. Grâce à elle, tous les producteurs et utilisateurs seront désormais notamment parfaitement informés du niveau de toxicité éventuel des produits. Enfin, la chimie peut être rose quand elle guérit. De l'aspirine aux anticancéreux, la chimie pharmaceutique a pour vocation de soigner. Mais attention à ce que le rose de l'un ne devienne pas le rouge de l'autre !