

Entrez en matière ! Matter matters!

La chimie étudie la matière et ses transformations. De quoi est faite la matière ? C'est une question à laquelle l'homme a dû répondre pour comprendre et maîtriser son environnement.

Chemistry is the study of matter and its transformation. What is matter made up of? This is the question mankind has tried to answer in order to understand and control its environment.

Qui dit matière dit atomes !

Tout ce qui occupe un volume et qui possède une masse est constitué de matière. La matière est structurée : elle est composée de petites entités qui lui donnent sa forme, son poids, sa résistance, ... ce sont les atomes !

No matter without atoms!

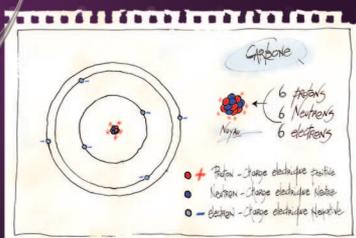
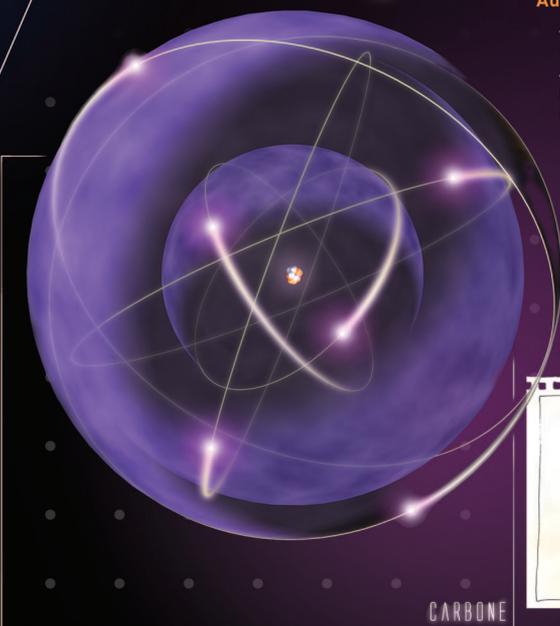
Everything that takes up volume and has a mass (a living being, a cubic meter of air) is made up of matter. Matter is structured: it is made up of small entities ('points' of mass separated by a vacuum) that give it its shape, its weight, its strength...they are called atoms.

Au coeur de l'atome ...

Au centre se trouve un noyau, petit mais dense, composé de protons et de neutrons. Autour de ce noyau, des électrons de masse très faible circulent sur des orbites. Un atome à l'état stable est toujours électriquement neutre : le nombre d'électrons est égal au nombre de protons.

At the heart of the atom...

In the center is a small dense nucleus. It is made up of protons and neutrons. Very light particles called electrons orbit around the nucleus. In a stable state, the number of electrons is equal to the number of protons because an atom is always electrically neutral.

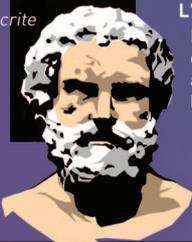


L'atome est si petit qu'il faudrait en mettre environ 10 millions bout à bout pour atteindre un millimètre ! Pour donner une échelle de l'atome, si le noyau avait la taille d'une mouche posée au centre d'un terrain de football, l'électron le plus proche se situerait au poteau de corner.

The atom is so small that you would have to place 10 million of them end-to-end to attain a millimeter! To give an idea of the scale of an atom, imagine the nucleus is a fly placed in the center of a football field, the closest electron would be located at the corner post.



Démocrite



L'atome de Démocrite

Les philosophes grecs de l'Antiquité ont imaginé les premiers que la nature qui les entourait était faite de « grains de matière invisibles ». Parmi eux, Démocrite est même allé le plus loin en donnant une définition de l'atome très pertinente pour l'époque : c'est la plus petite partie incassable et indivisible de la matière (atomos : indivisible, en grec).

The atom of Democritus

The Greek philosophers of Antiquity were the first to think that nature surrounding them was made of «grains of invisible matter». Among these men, Democritus went even further by giving a very pertinent definition of the atom for the time: it is the smallest indivisible part of matter (atomos means indivisible in Greek).

Des matériaux synthétiques intelligents (2)

Smart synthetic materials (2)

Les polymères

Découverts au début du 20^{ème} siècle, les polymères synthétiques occupent aujourd'hui une place prépondérante dans notre quotidien. Pourquoi ? Ils sont légers, résistants aux agents chimiques, peu chers et faciles à obtenir. Et la recherche est en train de les doter de nouvelles propriétés (conduction électrique, ...) qui contribueront davantage à faire d'eux les champions des nouveaux matériaux !

Polymers

Discovered in the beginning of the 20th century, synthetic polymers now hold a considerable place in our day-to-day lives. Why? They are light, resistant to chemical agents, cheap and easy to make. Research is now giving them new properties (electrical conduction...) apt to make them part of the best new materials!



Assortiment de polymères de synthèse dans des objets usuels.
Assortment of synthetic polymers in everyday objects

Les composites

On désigne par ce terme un matériau (polymère, verre, ...) renforcé par des fibres ou des particules, afin de le rendre encore plus résistant à la contrainte. Bien que les composites soient difficilement décelables, du fait de leur nature variée, on les retrouve dans le matériel de loisir (cadres de vélo, planches de surf, skis, canne à pêche), les transports, etc.

Composites.

This term describes a material (polymer, glass...) reinforced by fibers or particles, in order to make it more resistant to stresses. Composites are of varied nature and their presence is often hard to recognize, but they can be found in sports equipment (bicycle frames, surfboards, skis, fishingrods), transportation, etc.



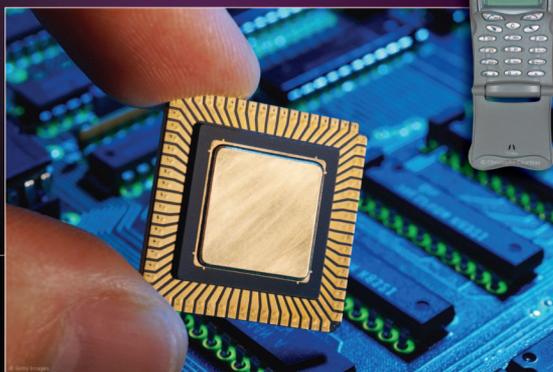
Le cadre de cette raquette est en matériau composite à base de carbone amorphe et de graphite.
The frame of this tennis racket is a composite material made of amorphous carbon and graphite.

Les semi-conducteurs

Indispensables en électronique, les semi-conducteurs sont en grande partie composés de silicium ou de germanium. Ces éléments présentent la faculté d'être alternativement isolants ou conducteurs d'électricité, selon leur entourage, et se comportent alors comme des interrupteurs. Ils s'intègrent dans nos ordinateurs, téléphones portables et plus largement dans tout ce qui possède un transistor.

Semi-conductors.

Indispensable in electronics, semi-conductors are largely composed of silicon, or germanium. These elements have the capacity to act alternatively as insulators or conductors of electricity, depending on what they are surrounded with, thus acting as switches. They are used in our computers, cell phones and more widely in everything with a transistor.



Les semi-conducteurs subissent une course à la miniaturisation pour suivre les progrès technologiques.
The semi-conductor miniaturization race is keeping up with technological progress.

L'irrésistible ascension des plastiques

Un producteur de boules de billard promettait 10 000 dollars de prix à celui qui trouverait une matière permettant de remplacer l'ivoire. Deux Américains, les frères Hyatt, proposèrent un composé nommé celluloïd, fabriqué à partir de nitrate de cellulose. Ce précurseur des plastiques, inflammable et parfois explosif, a ouvert la voie à une nouvelle « race » de matériaux qui ont depuis colonisé tous les secteurs de l'industrie en moins de cinquante ans.

The incredible rise in popularity of plastics

A producer of billiard balls offered a prize of \$10 000 to the person who could find a material apt to replace ivory. Two Americans, the Hyatt brothers, proposed a compound named celluloid, made from cellulose nitrate. Inflammable and sometimes explosive, this precursor to plastics opened the way to a new « breed » of materials that has colonized every sector of industry in less than 50 years.



Hyatt

Des matériaux synthétiques intelligents (1)

Smart synthetic materials (1)

Depuis le début du 20^{ème} siècle, les matériaux synthétiques prennent de plus en plus de place dans notre quotidien. Dans plusieurs secteurs d'activité, ils ont d'ores et déjà supplanté les matériaux traditionnels comme la pierre ou le bois. Où s'arrêteront-ils ?

Since the start of the 20th century, synthetic materials have progressively integrated themselves into our day-to-day life. In several sectors of activity, they have already replaced traditional materials like stone or wood. How far will they go?

Les métaux et alliages

Si les résines et plastiques leur grignotent régulièrement du terrain, les métaux et alliages, de par leur haute résistance mécanique, résistent plutôt bien. De l'acier au laiton, les alliages (mélanges dosés de divers métaux) forment une famille très nombreuse. Leurs domaines de prédilection restent l'aéronautique, les transports et le bâtiment. Quant aux métaux, les valeurs sûres restent le cuivre, pour ses propriétés électriques, et l'aluminium, pour sa solidité et sa faible densité.

Metals and alloys

While resins and plastics make even more headway, metals and alloys, because of their high mechanical resistance, are still holding their own. From steel to brass, alloys (dosed mixtures of various metals) are part of a large family. Their fields of predilection still include aeronautics, transport and construction. As for metals, the most popular ones include copper, for its electrical properties, and aluminum, for its solidity and its low density.



L'aéronautique est un secteur très friand de matériaux à haute valeur technologique, que ce soit des métaux, des alliages ou des céramiques. Aeronautics is one field that uses the most high tech materials, including metals, alloys and ceramics.

Les céramiques

Depuis l'antiquité, les céramiques sont synonymes d'ornements et d'objets à vocation culinaire. L'industrie moderne s'est rapidement emparée de leurs propriétés de résistance à la chaleur, supérieure à celles des autres matériaux. Elles sont aujourd'hui intégrées dans des éléments subissant d'importants échauffements : nez de navette spatiale, pot catalytique ...

Ceramics.

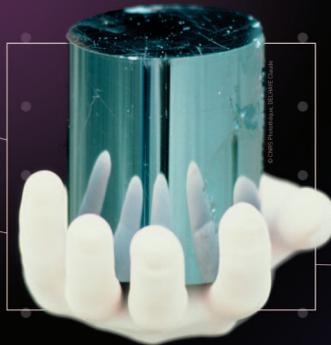
Since Antiquity, ceramics have been synonymous with ornaments and cooking utensils. Modern industry took little time to grasp their heat resistance properties, higher than other materials. They are now integrated in elements subjected to great heat : nose of the space shuttle, catalytic converter...

Les verres

Le verre a aussi un long passé d'objet décoratif. Longtemps cantonné à des rôles utilitaires (vitre, carafe,...) simples, la possibilité actuelle d'insérer sélectivement différents atomes dans sa composition, permet d'obtenir des verres aux propriétés variées et à haute valeur ajoutée : verre à infra-rouge, verre fluorescent, ... A ce jour, on les retrouve aussi bien à la pointe des technologies militaires qu'au sein des habitations !

Glass.

Glass also has a long past as a decorative object. Historically reserved for simple utilitarian uses (window panes, carafes...), it is now possible to selectively insert different atoms in its composition to obtain glass with a variety of properties and high added value: infrared glass, fluorescent glass... Nowadays, glass is used in high tech military technologies as well as in homes!



Les nouveaux verres, pour de nouveaux usages. New glass for new uses.



Héroult

La saga de l'aluminium

C'est le métal le plus employé au monde. Pourtant, il n'existe pas à l'état pur et se trouve dans la nature sous forme de minerai de bauxite. Découvert en 1825, il n'est produit efficacement qu'à partir de 1890, grâce au procédé toujours en vigueur du français Héroult : l'alumine est réduite en aluminium par électrolyse sous fort courant électrique.

The saga of aluminium.

This is the most widely used metal in the world. Yet aluminum does not exist in a pure state, in nature it is found in bauxite, an ore. Discovered in 1825, it has only been efficiently produced since 1890 thanks to a process still used today and developed by the Frenchman Héroult: alumina is reduced to aluminum by electrolysis using a strong electrical current.

La synthèse organique, source de bienfaits (2)

Organic synthesis, source of benefit (2)

La parfumerie

Ce secteur repose essentiellement sur des substances odorantes, encore parfois extraites des végétaux avec un savoir-faire ancestral. Le développement de la synthèse chimique dans ce domaine est intervenu pour pallier le coût élevé de matières premières parfois rares. Aujourd'hui, une large majorité des fragrances de parfums est synthétique.

The perfume industry

This sector is essentially based on ingredients that are sometimes still extracted from plants using age-old techniques. The development of synthetic chemistry in this field was a response to the high cost of rare raw materials. Nowadays a large majority of perfumes are synthetic.



Les essences en parfumerie sont très souvent des produits de synthèse.
Essences used in the perfume industry are very often synthetic products.



Nylon, polyester, acrylique... des textiles à la pointe de la mode.
Nylon, polyester, acrylic... textiles for the latest fashions.

Le vestimentaire

Difficile à croire et pourtant il y a de l'organique dans nos vêtements. Comment ? Grâce aux polymères ! Ces très longs enchaînements de molécules organiques se retrouvent dans des fibres textiles synthétiques, comme le nylon ou l'acrylique, et aussi dans des fibres naturelles, comme la soie, la laine, le coton.

Clothing.

It is hard to believe, and yet there are organic chemicals in our clothing. In what way? Thanks to polymers, that is! These very long chains of organic molecules are found in synthetic textile fibers, like nylon or acrylic, as well as in some natural fibers, like silk, wool and cotton.

Les pesticides

Longtemps considéré comme de la chimie destructive privilégiant l'efficacité, ce secteur s'inspire aujourd'hui davantage des molécules végétales, comme le pyrèthre, pour laisser le moins de traces possibles dans l'environnement. De plus, les insecticides, fongicides et herbicides sont à présent plus sélectifs pour n'éliminer que les espèces nuisibles et préserver les autres.

Pesticides.

Long thought of as destructive chemistry focused only on efficiency, today this sector draws its inspiration from plant molecules, like pyrethrum, to leave as few traces as possible in the environment. In addition, insecticides, fungicides and herbicides are now more selective, and only eliminate harmful species while preserving the others.



Les insecticides et herbicides respectent davantage l'environnement.
Insecticides and herbicides are more respectful of the environment.



La pyrotechnie emploie beaucoup de produits chimiques pour obtenir des effets et des couleurs variés.
Pyrotechnics employ a lot of chemical products to obtain a variety of effects and colors.

Les explosifs

Cette catégorie recense quelques noms très connus, comme la nitroglycérine ou le TNT. Ceux-ci sont utilisés industriellement pour éliminer des obstacles volumineux. Mais il existe d'autres molécules explosives moins dangereuses pour des usages plus ludiques comme les feux d'artifices !

Explosives

This category includes some very well known names, like nitroglycerin or TNT. These are used industrially to get rid of voluminous obstacles. But there are other less dangerous explosive molecules used for more playful uses, like fireworks!



Industrie et colorants

Extraits de sources naturelles depuis l'Antiquité, les colorants de teinture furent à l'origine de l'industrie chimique, à la fin du 19^{ème} siècle. L'indigo fut le premier d'entre eux. Quant au pourpre, sa synthèse industrielle évite dorénavant de récolter 12 000 glandes de murex, un mollusque, pour obtenir un peu plus d'1g de colorant !

Industry and dyes.

Extracted from natural sources since Antiquity, dyes originated the chemical industry at the end of the 19th century. Indigo was the first among them. As for purple dye, its industrial synthesis eliminated the need to gather 12 000 glands from murex, a mollusk, to obtain slightly less than 1 gram of dye!

La synthèse organique, source de bienfaits (1)

Organic synthesis, a source of benefit (1)

De nos jours, la synthèse chimique organique se retrouve impliquée dans de nombreux domaines économiques, très différents les uns des autres. Il est difficile d'en faire le tour complet mais les exemples qui suivent offrent un large panorama de son étendue.

Nowadays, synthetic organic chemistry is involved in a wide variety of economic fields. For this reason, it is very difficult to look at all of them, but the following examples offer a large overview of its extent.

La santé

Ce secteur est largement dépendant de la synthèse chimique car il est le plus prolifique en molécules nouvelles. C'est la conséquence de la lutte permanente contre la maladie, dont les manifestations se diversifient sans cesse. La recherche dans ce secteur a permis d'éradiquer ou de guérir des affections autrefois mortelles, et elle s'efforce aujourd'hui de faire de même avec les plus récentes (cancer, sida, ...).

Health.

This sector is largely dependent on synthetic chemistry, as it is the most prolific in new molecules. This is due to the continual fight against diseases, which keep diversifying themselves. Research in this sector has made it possible to eradicate or cure illnesses that were once fatal, and it is now trying to do the same with more recent ones (cancer, AIDS...).



Quelques exemples de médicaments ...
A few examples of drugs ...

L'hygiène et beauté

Ce domaine regroupe les savons, shampoings, cosmétiques et autres détergents, et est lui aussi gros consommateur de molécules. Si le secteur de la santé privilégie avant tout l'efficacité d'un composé, celui-ci est davantage axé sur le bien-être et allie des molécules « curatives » à d'autres plus accessoires, comme les arômes.

Hygiene and beauty.

This field includes soaps, shampoos, cosmetics and other detergents; it is also a big consumer of molecules. Whereas the health sector gives priority to the efficiency of the compound, this sector is more focused on well-being, and combines «curative» molecules with other more accessory molecules, like aromas.



Cosmétiques et produits de beauté.
Cosmetics and beauty products.

L'alimentaire

L'avènement de la consommation de masse et de la grande distribution est à l'origine du développement des additifs chimiques alimentaires. Ces molécules synthétiques ou naturelles, interviennent pour diverses raisons dans les préparations culinaires : conservation, aspect, goût, ...

Food industry.

The advent of mass consumption and mass distribution is responsible for the development of chemical additives for food. These molecules, either synthetic or natural, are used in food preparations for various reasons: preservation, appearance, taste...



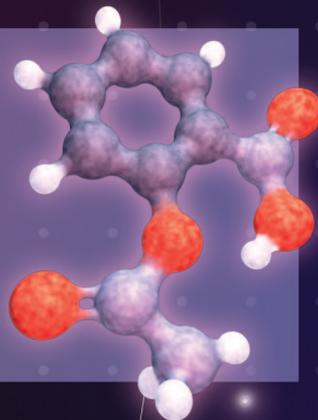
Les bonbons contiennent de nombreux additifs alimentaires.
Candy contains several food additives.

Histoire de l'aspirine

Le médicament le plus consommé au monde ne date pas d'hier ! Issu de l'écorce de saule, il était prescrit chez les égyptiens et les romains pour soulager les douleurs et fièvres. Isolé une première fois en 1829 par un pharmacien français, c'est une firme allemande qui le commercialisera en 1899 sous sa forme actuelle : l'acide acétyl-salicylique.

History of aspirin.

The most widely consumed drug in the world has been around for a very long time! Produced from the bark of the willow tree, it was prescribed by the Egyptian and Romans to alleviate pain and fever. Isolated for the first time in 1829 by a French pharmacist, it wasn't until 1899 that a German firm marketed it in its current form: acetylsalicylic acid.



Chimie naturelle ou chimie de synthèse ? *Natural chemistry or synthetic chemistry?*

Si l'homme s'est longtemps contenté des ressources extraites de matières premières naturelles, notre société moderne de consommation l'a contraint à chercher des solutions pour répondre à ses nouveaux besoins. Fruits de l'analyse et de la recherche, les molécules de synthèse sont alors nées.

For a very long time, humans were contented with resources extracted from natural raw materials, but our modern consumer society demands solutions to fulfill its new needs. Synthetic molecules were born out of advanced analysis and research.

La chimie « naturelle » reste indispensable ...

Certaines matières premières, dont l'usage est lié à leurs propriétés chimiques ou physiques, sont exclusivement ou principalement issues de ressources naturelles. C'est le cas lorsqu'il est plus pratique et moins coûteux d'extraire et de transformer que de fabriquer. Ainsi, les hydrocarbures dont nous nous servons tous les jours (essence, gaz) sont issus du pétrole fossile ou du gaz naturel. De la même façon, certains métaux sont tirés des mines, ou certaines molécules sont produites par des organismes vivants.

"Natural" chemistry is still indispensable...

Some raw materials, whose use is linked to their chemical or physical properties, are exclusively or mainly produced from natural resources. This is the case when it is more practical and less costly to extract and transform them rather than manufacture them. The hydrocarbons we use everyday (gasoline, gas) come from fossil fuel or natural gas. Similarly, most metals are extracted from mines, and some molecules are produced by living organisms.



Récolte du latex, caoutchouc naturel, sur un hévéa.
Harvesting latex, a natural rubber, from the hevea tree.



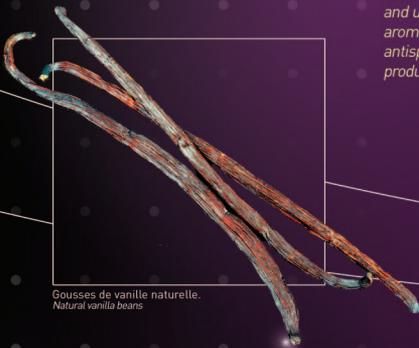
Exploitation pétrolière en haute mer.
Offshore oil drilling platform.

Mais la synthèse peut parfois s'y substituer !

La synthèse peut s'avérer nécessaire pour « améliorer » ce que la nature a créé, pour des raisons d'économie ou d'efficacité. Par exemple, l'anéthol est une molécule présente dans l'anis et le fenouil, et dont elle était encore extraite il y a peu. Or elle est utilisée à la fois comme arôme en agroalimentaire, agent de blanchiment en photographie et antispasmodique en médecine ! La mise au point de sa synthèse chimique a heureusement permis de diviser par deux son coût de production.

But synthetic chemistry can be more practical!

Synthesis may become necessary to «improve» what nature created, for economic or efficiency reasons. For example, anethol is a molecule found in anise and fennel, and until recently it was extracted from these sources. This molecule is used as an aroma in the food industry, as a whitening agent in photography, and an antispasmodic in medicine! The development of a synthetic version helped cut its production cost in half.



Gousses de vanille naturelle.
Natural vanilla beans



Vanille de synthèse.
Synthetic vanilla

La première synthèse chimique : l'urée de Wöhler

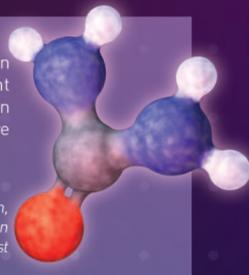
L'urée est connue depuis 1729. Longtemps considérée comme un déchet de l'organisme, elle s'est finalement avérée efficace en tant qu'engrais. Sa synthèse, réalisée par le chimiste allemand Wöhler en 1828, a marqué un tournant en chimie car elle constitue la première fabrication complète d'une molécule organique en laboratoire.

The first chemical synthesis: urea created by Wöhler

Urea has been known since 1729. Long considered as a waste product of the organism, it finally turned out to be useful as a fertilizer. Its synthesis, achieved by the German chemist Wöhler in 1828, marked a turning point in chemistry, as it was the first complete manufacture of an organic molecule in a laboratory.



Wöhler



De la chimie en rayons ! Radiation chemistry !

Découverte en 1896, la radioactivité connaît aujourd'hui des applications aussi importantes que diverses. On la retrouve dans les domaines de l'énergie, la médecine, l'agroalimentaire ou encore l'archéologie. Mais la radioactivité, qu'est-ce que c'est ?

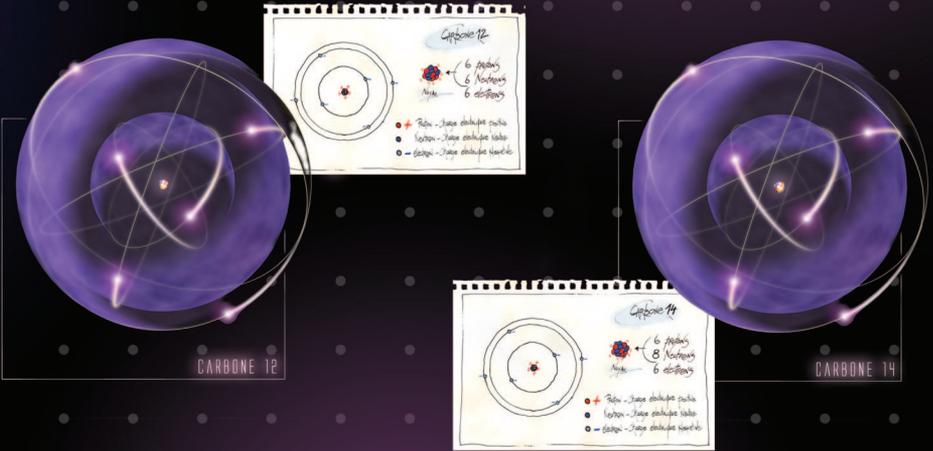
Discovered in 1896, radioactivity is now used for applications as important as they are diverse. It has found uses in the fields of energy, medicine, the food industry and even archeology! But what is radioactivity?

Isotopes et désintégrations

Deux atomes d'un même élément n'ayant pas le même nombre de neutrons sont appelés isotopes. Par exemple, le carbone existe à l'état naturel essentiellement sous forme d'isotopes à 6 neutrons (carbone 12) et à 7 neutrons (carbone 13) stables mais aussi sous forme d'un isotope instable (radio-isotope) à 8 neutrons (carbone 14). Cette instabilité conduit à terme l'atome à une désintégration nucléaire, source de radioactivité : dissociation de son noyau pour former de nouveaux éléments avec forte libération d'énergie. Chaque désintégration produit un type de rayonnement radioactif : le rayonnement alpha libère des noyaux d'hélium, le rayonnement bêta est constitué d'électrons, et le rayonnement gamma est une onde électromagnétique.

Isotopes and decay

Two atoms of the same element without the same number of neutrons are called isotopes. For example, carbon in a natural state exists as stable isotopes with 6 neutrons (carbon 12) and 7 neutrons (carbon 13), as well as an unstable isotope (radio-isotopes) with 8 neutrons (carbon 14). This instability eventually causes the atom's nucleus to decay, which causes radioactivity. Its nucleus splits to form new elements with a great release of energy. Each type of decay produces a different type of radioactive radiation: alpha radiation releases helium nuclei, beta radiation is made up of electrons, and gamma radiation is an electromagnetic wave.



La radioactivité en action !

Elle est utilisée comme source d'énergie dans les centrales nucléaires, à partir d'isotopes d'uranium ou de plutonium. Elle intervient en médecine, où les isotopes servent de radio-traceurs dans l'organisme, ou de « tueurs » de cellules cancéreuses en chimiothérapie. La radioactivité est employée dans l'industrie agroalimentaire, pour détruire les germes responsables du pourrissement des fruits et légumes, et en métallurgie pour détecter les éventuels défauts dans l'épaisseur des matériaux. Une application originale touche l'archéologie avec la datation d'objets anciens.



Cœur de centrale nucléaire.
Nuclear reactor core



Appareillage pour radioanalyse.
Radioanalysis machine

Radioactivity in action!

Nuclear power plants use it as a source of energy from uranium or plutonium isotopes. In medicine, isotopes serve as radio-tracers in the organism, or as «killers» of cancer cells in chemotherapy. Radioactivity is used in the food industry to kill bacteria responsible for rotting fruits and vegetables, and in metallurgy to detect any potential faults in the thickness of materials. In one of its more original applications, archeology uses it to date ancient objects.



Pierre Curie

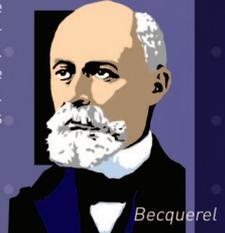
Marie Curie

De Becquerel à Pierre et Marie Curie ...

Le physicien français Becquerel observa le premier les effets de la radioactivité en constatant que l'uranium arrivait à impressionner une plaque photographique à travers un écran opaque. Pierre et Marie Curie expliquèrent ce phénomène par la nature instable des atomes et les rayonnements qu'ils émettent. Ils découvrirent par la suite d'autres éléments radioactifs (polonium, radium et thorium) qui renforcèrent cette théorie.

From Becquerel to Pierre and Marie Curie...

French physicist Becquerel was the first to observe the effects of radioactivity by noticing that uranium managed to expose a photographic plate through an opaque screen. Pierre and Marie Curie explained this phenomenon by the unstable nature of atoms and the radiation they emit. They then discovered other radioactive elements (polonium, radium and thorium) that reinforced this theory.



Becquerel

Molécule, dis-moi qui tu es ... Molecule, tell me who you are...

L'analyse est la clé du système descriptif qui a bâti la chimie. Les techniques analytiques se sont au cours des siècles améliorées, diversifiées, spécialisées et enfin informatisées pour répondre aux interrogations toujours plus nombreuses des chercheurs.

Analysis is the key to the descriptive system on which chemistry has been founded. Over the centuries, analytical techniques have been improved, diversified, specialized and finally computerized to fulfill the ever-growing number of questions from researchers.

Méthodes d'analyse

De nos jours, la chimie analytique donne la carte d'identité complète d'un produit à partir de quelques milligrammes seulement. On distingue l'analyse qualitative, qui confirme simplement la présence d'un élément, et l'analyse quantitative, qui en détermine précisément la quantité.

Methods of analysis

Nowadays, analytical chemistry can provide the complete identity of a product from just a few milligrams. Qualitative analysis confirms the presence of an element, and quantitative analysis determines the precise quantity.

Dosages acido-basiques ou oxydo-réducteurs

Ils servent à établir la concentration d'une espèce (molécule ou ion) en solution.

Acid-basic or redox dosage

They help establish the concentration of a species (molecule or ion) in solution.

Précipitations et complexations

Ces méthodes sont utilisées pour identifier qualitativement ou quantitativement une molécule en la piégeant avec un réactif approprié.

Precipitation and complexation

These methods are used to quantitatively and qualitatively identify a molecule by trapping it with an appropriate reactant.

Méthodes spectroscopiques et de diffraction

Basées sur une interaction entre molécules et rayonnements, elles donnent des informations structurales, voire quantitatives, sur un composé. Ce sont les méthodes d'analyse les plus sophistiquées et les plus employées.

Spectroscopic and diffraction methods

Based on interactions between atoms or molecules and radiation, they provide structural, even quantitative data about a compound. These are the most sophisticated and most often used methods of analysis.



Appareil de diffraction des rayons X
X-ray diffraction machine



Appareil de mesure de fluorescence.
Fluorescence measuring machine



Appareil de spectroscopie de masse.
Mass spectrophotometer

Chromatographie

Technique de séparation et d'analyse basée sur l'emploi d'une phase fixe et d'une phase mobile (liquide, gaz). Un mélange est déposé sur la phase fixe et la phase mobile entraîne ensuite les molécules plus ou moins vite en fonction de leur affinité.

Chromatography

Analysis and separation techniques based on the use of a stationary phase and a mobile phase (liquid, gas). A mixture is deposited on the stationary phase bed and the mobile phase carries the molecules away more or less rapidly based on their affinity for the stationary phase.



Sonde d'un appareil de résonance magnétique nucléaire.
Nuclear magnetic resonance probe

Méthodes électrochimiques

Ampérométrie et potentiométrie reposent sur des mesures électriques (intensité et potentiel) pour quantifier des molécules en solution.

Electro-chemical methods

Amperometry and potentiometry rely on electrical measurements (intensity and potential) to quantify molecules in solution.



L'histoire de l'analyse chimique

L'évolution de la chimie analytique a suivi de très près celle des techniques. Ainsi, les alchimistes, qui n'avaient à leur disposition que la calcination, ne purent découvrir que des composés minéraux. Par la suite, l'analyse prit son essor après que Lavoisier comprit le premier que la qualité d'une expérience tenait surtout à la précision des instruments employés.

The history of chemical analysis

Developments in analytical chemistry have closely followed those of techniques. Alchemists, who only had calcination at their disposal, were only able to discover mineral compounds. Chemical analysis really took off after Lavoisier became the first to understand that the quality of an experiment was mostly dependent on the precision of the instruments used.

La chimie minérale, chimie de la matière figée ! Mineral chemistry, chemistry of solid matter!

Si elle est omniprésente dans le domaine du vivant, la chimie régit également le règne minéral. Et si la chimie organique concerne surtout la chimie des molécules carbonées, la chimie minérale (ou inorganique) concerne, elle, l'ensemble de tous les atomes.

While chemistry is omnipresent in the world of the living, chemistry also rules the mineral world. And whereas organic chemistry mainly deals with the chemistry of carbon-based molecules, mineral (or inorganic) chemistry deals with all atoms.



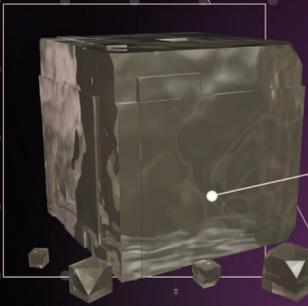
Exemple de cristaux : la fluorine.
Example of a crystal: fluorine.

Une affaire de réseaux

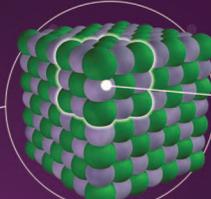
En chimie inorganique, vitesse est généralement synonyme de désordre. Lorsqu'un composé minéral se forme, le temps est un facteur qui influe fortement sur l'ordre de ses atomes. Si sa formation est lente, les atomes vont alors s'arranger selon une structure bien ordonnée et constituer un cristal. Dans ce cristal, on distingue la maille, qui est le plus petit motif isolable, et le réseau, qui est la répétition de ce motif à l'infini et dans les trois dimensions. Le cristal se trouve aussi bien en minéralogie à l'état naturel qu'en laboratoire (par exemple : synthèse de cristaux pour laser).

Lattice structure

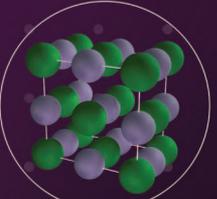
In inorganic chemistry, speed is usually synonymous with disorder. When a mineral component is formed, time is a factor that has a great deal of influence on the order of its atoms. If it is formed slowly, the atoms arrange themselves in a very organized structure and create a crystal. This crystal is made up of unit cells, which is the smallest pattern that can be isolated, and the lattice, which is the infinite repetition of this pattern in three-dimensions. Crystals are found in nature as well as made in laboratories (for example: synthesis of crystals for lasers).



Cristal de sel, de formule brute NaCl.
Salt crystal, gross NaCl formula



Réseau cristallin.
Crystal unit cell



Maille cristalline élargie, composée d'atomes de chlore (Cl) en vert et de sodium (Na) en gris.
Close-up of the crystal lattice, composed of chlorine (Cl) atoms in green and sodium (Na) in gray.

Et si le temps manque ?

Lorsque la formation d'un composé minéral s'effectue de manière trop rapide, la structure cristalline n'a pas le temps de se mettre en place et les atomes se placent de manière moins ordonnée que dans un cristal. Le composé minéral obtenu est alors dit amorphe ou vitreux.

Not enough time?

When a mineral compound is formed too fast, the crystalline structure does not have the time to get into place and the atoms pack in a less organized manner than in a crystal. The mineral compound obtained is then called amorphous or vitreous.



Exemple de roche amorphe : l'obsidienne.
Example of amorphous rock: obsidian

Les cristaux de calcite de Haüy



Haüy

L'abbé Haüy est le fondateur de la cristallographie, ou étude des cristaux. En 1784, il observa qu'un cristal de calcite se casse toujours selon des plans bien distincts, de telle sorte que les résidus obtenus aient exactement la même forme que le cristal de départ. La généralisation de ses observations à d'autres types de cristaux l'amena à affirmer que chaque minéral présente une organisation immuable qui lui est propre.

The calcite crystals of Haüy

Abbot Haüy is the founder of crystallography, or the study of crystals. In 1784, he noticed that calcite crystals always broke along very distinct planes, so that the resulting residue always had the same shape as the initial crystal. The generalization of his observations of other types of crystals led him to affirm that each mineral has its very own unalterable organization.



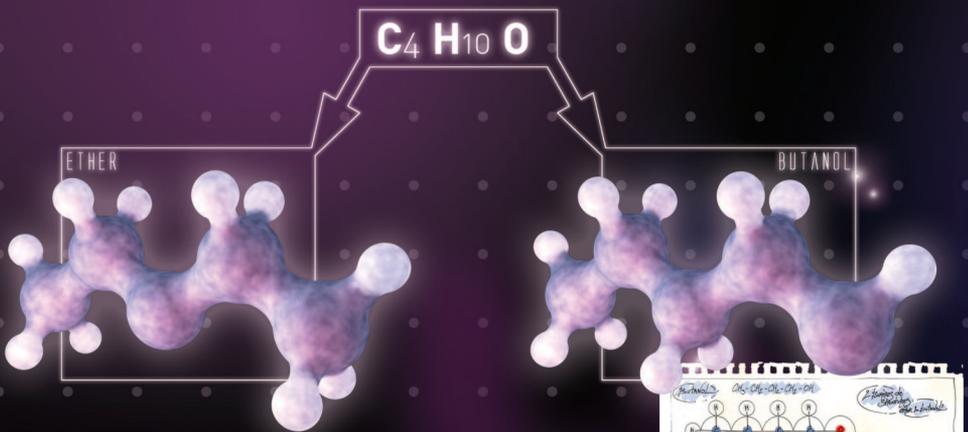
Cristal de calcite.
Calcite crystal

Molécules dans l'espace

Molecules in space

La stéréochimie, littéralement traduisible par « chimie dans l'espace », est l'étude du positionnement spatial des atomes qui forment les molécules. En effet, comme le démontre fort bien la double hélice de la molécule d'ADN, l'univers atomique est en trois dimensions.

Stereochemistry, which literally means «chemistry in space», is the study of the spatial positioning of atoms that form molecules. In fact, as demonstrated by the double helix of the DNA molecule, the atomic world is three-dimensional.

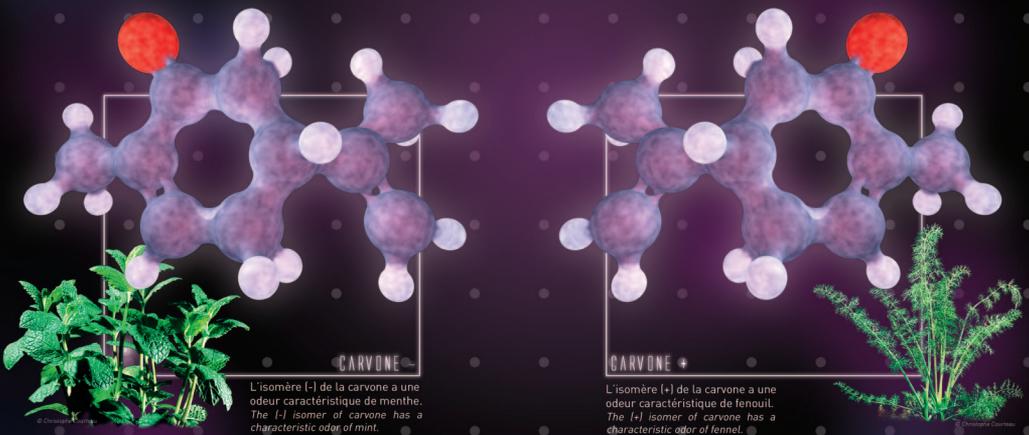


L'art de se dédoubler

Si la formule définit la composition d'une molécule, la stéréochimie permet de situer ses atomes dans l'espace tridimensionnel. La stéréochimie permet de distinguer les isomères de constitution (molécules ayant la même formule brute mais avec des connexions atomiques différentes) et des stéréo-isomères (les deux molécules présentent les mêmes connexions mais un arrangement spatial différent).

The art of duplication

While a formula defines a molecule's composition, stereochemistry enables its atoms to be positioned in three-dimensional space. Stereochemistry helps distinguish constitutional isomers (molecules with the same empirical formula with different atomic connections) and stereo-isomers (two molecules with the same connections but a different spatial arrangement).



Gauche ou droite, quelle différence ?

Si on place une molécule sans plan de symétrie devant un miroir, on observe deux fois la même molécule, mais avec une structure « droite » et une structure « gauche » non superposables : ces molécules sont appelées stéréo-isomères. Ce phénomène n'est pas anodin car, dans la nature, deux stéréo-isomères peuvent présenter des propriétés totalement opposées. Ainsi, en pharmacie, il existe des cas où l'une des formes chirales est curative et l'autre toxique, d'où l'importance de bien les identifier !

Left or right, what is the difference ?

If you place a molecule without a symmetry plane in front of a mirror, you'll see the same molecule twice, but it has a non-superimposable «right» structure and «left» structure; these molecules are called stereo-isomers. This is not an unimportant phenomenon because, in nature, two stereo-isomers can have totally opposed properties. In pharmacy, there are some cases where one of the chiral forms is curative and the other toxic, hence the importance of properly identifying them!



Pasteur et le tartrate d'ammonium

C'est Pasteur qui a été le premier à observer et interpréter les effets de la stéréo-isomérisation. Il a démontré par ses travaux sur les sels tartriques d'ammonium que cette molécule pouvait cristalliser sous deux formes différentes, images l'une de l'autre dans un miroir, et que chacune de ces formes présentait des propriétés optiques propres, liées à la dissymétrie de la molécule.

Pasteur and ammonium tartrate

Pasteur was the first to observe and understand the effects of stereo-isomerism. His work with ammonium tartrate salts showed that this molecule could crystallize into two different shapes, images of each other in a mirror, and each one of these shapes presented their own optical properties, linked to the dissymmetry of the molecule.

La biochimie, chimie de la matière vivante

Biochemistry, the chemistry of living matter

Les organismes vivants (bactérie, plante, être humain, ...) sont le siège de réactions chimiques qui assurent la pérennité de leurs fonctions vitales. Ces molécules qui forment la matière vivante, ont pour noms glucides, lipides, protéides, acides nucléiques ... et ont chacune leur rôle à jouer dans le cycle de la vie.

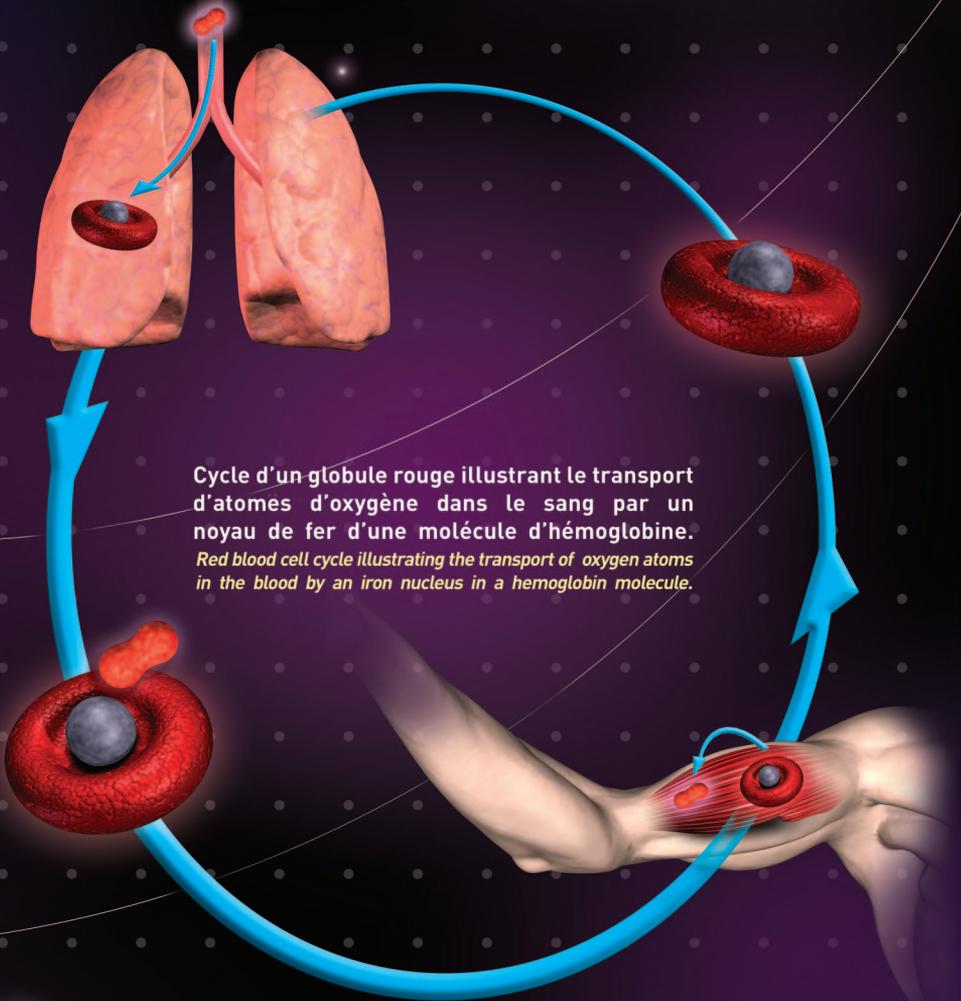
Living organisms (bacteria, plants, human beings...) are the host of chemical reactions that ensure the continuity of their vital functions. The molecules that make up living matter have names like carbohydrates, lipids, proteins, nucleic acids ... and each has a role to play in the cycle of life.

Les coulisses d'un exploit

La respiration est un exploit permanent auquel on ne prête guère d'attention. Pourtant, faire passer l'oxygène de l'air ambiant jusqu'à nos cellules n'est pas une mince affaire. La protéine responsable est l'hémoglobine, présente dans les globules rouges. Elle contient en son sein un atome de fer qui, dans les poumons, se lie avec l'oxygène ayant traversé les alvéoles pulmonaires. En empruntant le réseau sanguin, ce complexe circule dans l'ensemble de l'organisme, et la réaction inverse libère de l'oxygène dans les tissus selon les besoins. En contre-partie de cet apport à la cellule, l'hémoglobine prend en charge le CO_2 formé et le ramène vers les poumons d'où il sera expulsé. Elle est alors prête à effectuer un nouveau cycle !

Close-up on an exploit

Breathing is a continual exploit that we rarely pay any attention to. However, passing oxygen from ambient air to our cells is no small feat. The protein responsible for this is hemoglobin, which is found in red blood cells. It contains an atom of iron that, in lungs, binds with the oxygen that has passed through the alveolus in the lungs. By using the circulatory system, this complex travels throughout the organism, and the inverse reaction frees the oxygen in tissues according to their needs. After bringing oxygen to the cell, hemoglobin binds with the CO_2 formed, and brings it back to the lungs from where it is expelled. It is then ready to undertake a new cycle!



Cycle d'un globule rouge illustrant le transport d'atomes d'oxygène dans le sang par un noyau de fer d'une molécule d'hémoglobine.
Red blood cell cycle illustrating the transport of oxygen atoms in the blood by an iron nucleus in a hemoglobin molecule.



Crick

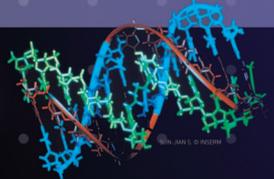
L'ADN, molécule de la vie

Quand Watson et Crick s'attaquèrent au problème de la structure de l'ADN (acide désoxyribonucléique), on venait alors de découvrir que cette molécule était responsable de la transmission de l'information génétique chez les êtres vivants. Rassemblant les informations recueillies par leurs prédécesseurs (composition chimique, diffraction aux rayons X, ...), ils proposèrent en 1953, après plusieurs essais, la structure à double hélice que nous connaissons tous. Ce modèle, universellement reconnu depuis, avait en plus l'avantage d'anticiper le mécanisme de réplication de l'ADN lors de la division cellulaire.

DNA, the molecule of life

When Watson and Crick tackled the problem of the structure of DNA (deoxyribonucleic acid), the discovery had just been made that this molecule was responsible for the transmission of genetic information in living beings. Putting together data gathered by their predecessors (chemical composition, X-ray diffraction, etc.), in 1953, after several tests, they came up with the double helix structure we all know. This now universally recognized model had the advantage of anticipating the mechanism for replication of DNA during cellular division.

Watson



Les fonctions, centres nerveux moléculaires

Functional groups, molecular nerve centers

La chimie organique étudie principalement les molécules constituées de carbone et d'hydrogène. Ces atomes, et quelques autres (oxygène, azote, soufre, ...), s'organisent au sein des molécules pour former des groupes, appelés fonctions, aux propriétés particulières. Ces fonctions sont à l'origine des grandes familles de réactions en chimie organique.

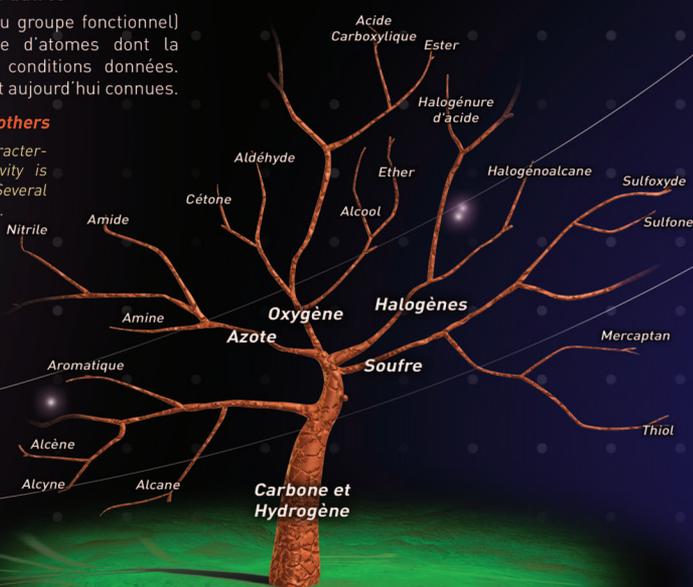
Organic chemistry mainly studies molecules made up of oxygen and hydrogen. These atoms, and a few others (oxygen, nitrogen, sulfur...), organize themselves within molecules to form groups, called functional groups, with special properties. These functional groups are the basis for the large families of organic chemistry reactions.

Alcool, aldéhyde, amine ... et tous les autres

Dans une molécule, une fonction (ou groupe fonctionnel) est un assemblage caractéristique d'atomes dont la réactivité est prévisible dans des conditions données. Plusieurs centaines de fonctions sont aujourd'hui connues.

Alcohol, aldehyde, amine ... and all the others

In a molecule, a functional group is a characteristic assembly of atoms whose reactivity is predictable under given conditions. Several hundred functional groups are now known.

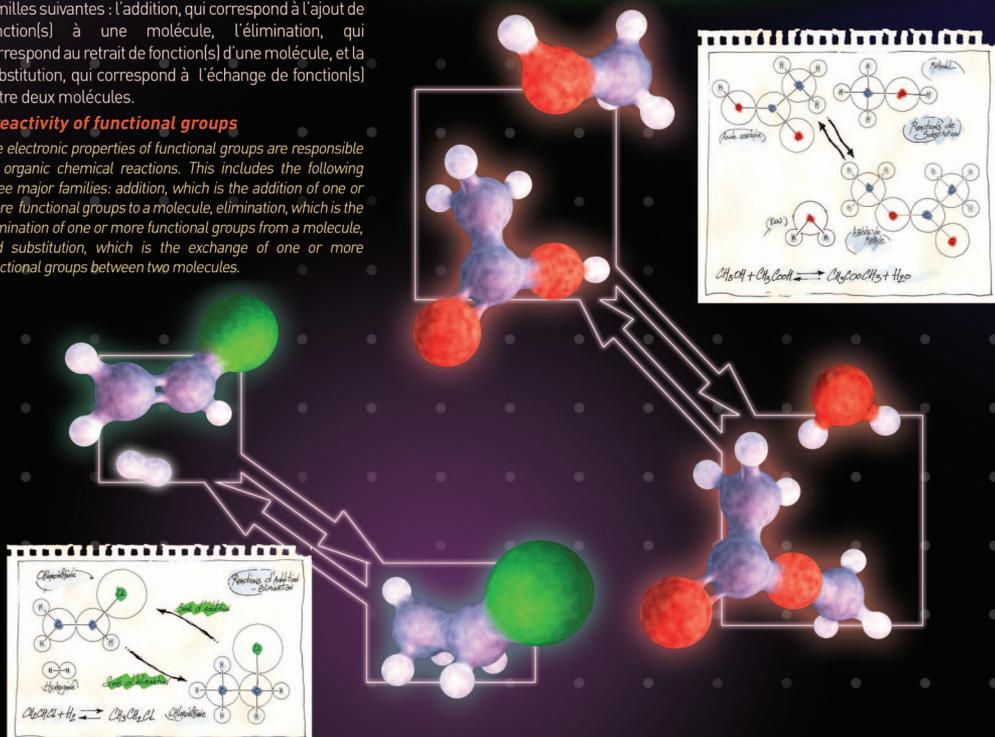


La réactivité des fonctions

Les propriétés électroniques des fonctions sont responsables des réactions chimiques organiques. Parmi ces dernières, on distingue les trois grandes familles suivantes : l'addition, qui correspond à l'ajout de fonction(s) à une molécule, l'élimination, qui correspond au retrait de fonction(s) d'une molécule, et la substitution, qui correspond à l'échange de fonction(s) entre deux molécules.

The reactivity of functional groups

The electronic properties of functional groups are responsible for organic chemical reactions. This includes the following three major families: addition, which is the addition of one or more functional groups to a molecule, elimination, which is the elimination of one or more functional groups from a molecule, and substitution, which is the exchange of one or more functional groups between two molecules.



La saponification, ou comment faire du savon !

Chevreul était un chimiste français du début du 19^{ème} siècle dont les travaux ont porté principalement sur l'étude des graisses et des huiles. Il est connu pour avoir démontré le mécanisme de fabrication du savon : la saponification. Cette méthode naquit chez les gaulois, sous la forme d'un mélange de graisses et de cendres qui présentait des propriétés récurantes. Chevreul montra qu'il se produisait une réaction entre les esters des graisses et les ions hydroxydes contenus dans les cendres, conduisant à la formation d'ions carboxylates à longues chaînes responsables de l'action nettoyante du savon.

Chevreul



Saponification, or how to make soap!

Chevreul was a French chemist in the beginning of the 19th century whose work was mainly focused on the study of fats and oils. He is known for having demonstrated the mechanism for making soap: saponification. This method was created by the Gauls, and was initially a mixture of fats and ash that had scrubbing properties. Chevreul showed that there was a reaction between the fat esters and the hydroxide ions contained in the ash, which led to the formation of long-chain carboxylate ions responsible for soap's cleansing action.



... Et réactions d'échange d'électrons

... And reactions exchanging electrons

Une autre famille de réactions très courantes se traduit par le transfert d'électron(s) entre deux espèces. Ces réactions sont appelées oxydo-réductrices et elles ont de nombreuses implications dans la vie courante. Another family of very frequent reactions involves the transfer of one or more electrons between two species. These are oxidation-reduction reactions, and they have many implications in everyday life.

Les acteurs et les règles

Lors d'une réaction d'oxydo-réduction, un ou plusieurs électrons passent d'un réducteur à un oxydant. Un réducteur est donc un corps capable de donner des électrons et, à l'inverse, un oxydant est un corps qui peut prendre des électrons.

Players and rules

During an oxidation-reduction reaction, one or more electrons go from a reducing agent to an oxidizing agent. A reducing agent is a substance capable of losing electrons and, inversely, an oxidizing agent is a substance that can gain electrons.



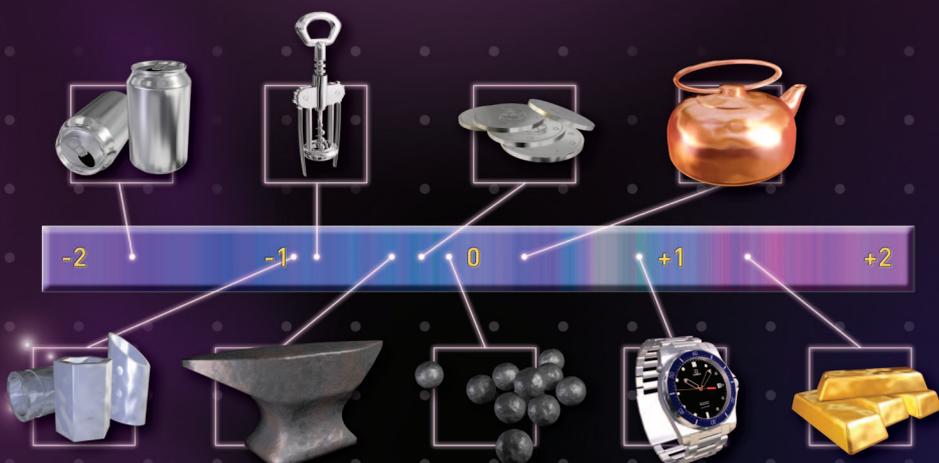
Dépôt électrolytique d'argent en industrie.
Electrolytic application of silver in industry.

Une échelle bien utile ...

Selon la nature des composés en présence, un transfert d'électron nécessite un effort variable. Il est possible d'établir un classement pour comparer les couples oxydant/réducteur entre eux. Ce classement est appelé échelle de potentiel et il permet de dire, à partir de la position occupée par un couple, si son pouvoir oxydant (ou réducteur) est fort ou faible.

A very useful scale...

Depending on the type of compounds present, a transfer of electrons requires a varying degree of effort. This can be classified to compare oxidation/reduction couples. This classification is called the potential scale and it is used to state, based on the position occupied by a couple, if the oxidant (or reducing agent) is strong or weak.



Volta

Volta fabrique la première pile

Le nom de l'italien Volta a été rendu célèbre grâce à sa fameuse pile qui démontrait que l'on pouvait produire de l'électricité à partir de simples métaux. Reprenant les travaux d'autres savants, il imagina un dispositif « pièce de cuivre-morceau de tissu recouvert d'eau salée-pièce de zinc » qui produisait de l'électricité entre les deux métaux. Répété en série, ce montage a permis pour la première fois de produire un courant électrique contrôlé, par opposition aux décharges électrostatiques connues alors.

Volta makes the first battery

The name of the Italian scientist Volta was made famous thanks to his famous battery that showed that it was possible to produce electricity from simple metals. Taking up the work undertaken by other scientists, he imagined a device «piece of copper-piece of fabric covered with salt water-piece of zinc» that produced electricity between the two metals. Repeated in series, this assembly produced the first controlled electrical current as opposed to previously known electrostatic discharges.

Réactions d'échange de protons ... Proton-exchanging reactions

Il existe en chimie plusieurs familles de réaction. Ces familles se différencient par la nature des particules échangées lors de la réaction. Lors d'échange de protons (noyaux d'hydrogène), on parle de réaction acido-basique.
There are several families of reactions in chemistry. These families are differentiated by the type of particles exchanged during a reaction. When protons are exchanged (hydrogen nuclei), these are called acid-base reactions.

Les acteurs et les règles
Les réactions acido-basiques mettent en présence un acide et une base. Un acide est une molécule capable de donner un proton, et une base est une molécule capable d'en accepter un. Une réaction acido-basique correspond donc au transfert du proton d'un acide vers une base.

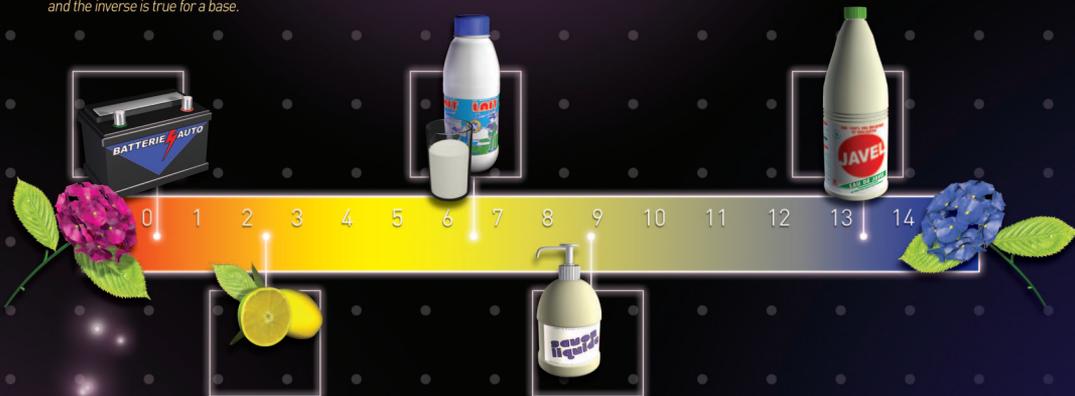
Players and rules
Acid-base reactions involve an acid and a base. An acid is a molecule capable of donating a proton, and a base is a molecule capable of accepting one. An acid/base reaction corresponds to the transfer of a proton from an acid to a base.

Fort ou faible ? C'est le pH qui tranche !

Tous les acides (et toutes les bases) ne réagissent pas de la même façon. Les différents acides vont s'échelonner des forts, qui cèdent facilement un proton, aux faibles, qui le donnent difficilement. Il en va de même pour les bases, les fortes acceptant plus facilement les protons que les faibles. Afin de pouvoir comparer entre eux acides ou bases, il existe une échelle, appelée pH, qui mesure, à volumes égaux, la concentration de protons en solution. Plus elle est élevée, plus l'acide est fort, et plus elle est basse, plus l'acide est faible, le raisonnement étant inversé pour une base.

Strong or weak? The pH makes the difference!

All acids (and all bases) do not react in the same way. Acids range from the strongest, which easily release a proton, to the weakest, which hold on tighter to their protons. The same is true for bases. Strong bases accept protons more readily than weak bases. In order to compare acids or bases, a scale, called pH, is used to measure, for the same volume, the concentration of protons in solution. The higher the concentration of protons, the stronger the acid, and the lower the concentration, the weaker the acid, and the inverse is true for a base.



La difficile naissance d'une théorie

Connus par les alchimistes de la Renaissance, les concepts d'acide et de base mirent beaucoup de temps à être formalisés. Les premières définitions furent formulées par Arrhenius, chimiste suédois, au début du 20^{ème} siècle. Malheureusement, sa théorie n'expliquait pas tout. Aussi, il fallut attendre 1923 pour qu'un chimiste danois, Bronsted, rassemble les définitions d'acide et de base autour de l'idée d'échange de protons.

The difficult birth of a theory

Already known by Renaissance alchemists, the concepts of acids and bases took a lot of time to be formalized. The first definitions were formulated by Arrhenius, a Swedish chemist, in the early 20th century. Unfortunately, his theory did not explain everything. It took until 1923 for a Danish chemist, Bronsted, to focus the definitions of acids and bases around the idea of an exchange of protons.



La réaction chimique à tous les temps ! Chemical reactions at all speeds!

Certaines réactions chimiques sont lentes, d'autres rapides, car leurs réarrangements atomiques s'effectuent à des vitesses différentes. Plusieurs moyens existent pour accélérer la vitesse d'une réaction : du plus simple, comme le chauffage, au plus complexe, comme la catalyse.

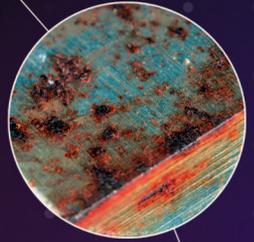
Some chemical reactions are slow, and others fast because their atomic rearrangements occur at different speeds. There are several ways of speeding up a reaction: from the simplest, like heating, to the more complex, like catalysis.

Pourquoi des réactions à toutes les vitesses ?

La vitesse d'une réaction chimique est sensible à plusieurs paramètres. Notamment, la concentration des réactifs : plus les molécules sont dispersées, plus leur contact est difficile et plus la réaction est lente. La température est aussi déterminante car la chaleur provoque une agitation accrue des molécules qui favorise les contacts. L'augmentation de la pression favorise également le contact entre les molécules d'un gaz. La surface peut également influencer la vitesse d'une réaction : celle-ci sera plus rapide avec une poudre qu'avec un solide compact car la surface de contact disponible pour la réaction y est plus grande.

Why do reactions occur at different speeds?

The speed of a chemical reaction depends on several parameters. For one, the concentration of reactants: if molecules are very dispersed, their contact is difficult and the reaction is slower. Temperature is also important because heat provokes intense agitation of molecules, which promotes contacts. An increase in pressure also increases contact between gas molecules. The surface can also have an influence on the speed of a reaction: it will go faster with a powder than with a compact solid because the contact surface available for the reaction is greater.



La rouille est une réaction relativement lente.
The formation of rust is a relatively slow reaction.



L'action de la levure chimique dans une préparation culinaire est accélérée par la chaleur d'un four.
The action of yeast in cooking preparations is accelerated by the heat of an oven.



La combustion du carburant qui propulse cette fusée est une réaction rapide.
Combustion of the fuel that propulses this rocket is very fast.



Dans un pot d'échappement, le catalyseur métallique est déposé à l'intérieur d'alvéoles et transforme les polluants en molécules moins toxiques.
In a muffler, the metal catalyst is placed inside slots to transform pollutants into less toxic molecules.

Un catalyseur : pourquoi et comment ?

La catalyse est un autre moyen pour accélérer une réaction. Cette méthode consiste à ajouter une petite quantité d'un produit, le catalyseur, qui intervient afin de faciliter la réaction. Il est ensuite récupéré chimiquement intact à la fin de la réaction. La nature d'un catalyseur est très variable : ce peut être une protéine, un acide, un métal... La catalyse est un véritable enjeu économique : les réactions sont moins coûteuses en énergie, plus sélectives, et génèrent moins de déchets polluants grâce à la nature recyclable du catalyseur.

A catalyst: why and how ?

Catalysis is another way of speeding up a reaction. This method consists in adding a small quantity of product, the catalyst, to promote the reaction. It is then chemically recovered intact at the end of the reaction. There are a wide variety of catalysts: they may include proteins, acids, metals, etc. Catalysis is very important economically: reactions are less costly in energy, more selective, and thanks to the recyclable nature of the catalyst, they generate less pollutants.

Buchner

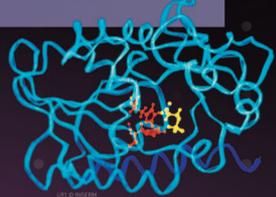


Enzymes : les catalyseurs du vivant

Découvertes à la fin du 19^{ème} siècle par Buchner, chimiste allemand, les enzymes ont rapidement démontré une activité catalytique essentielle aux organismes vivants. Pour une réaction biochimique qui prendrait normalement 12 jours, l'ajout d'enzymes permet de la réaliser en 1 seconde, soit un million de fois plus vite !

Enzymes: biological catalysts

Discovered at the end of the 19th century by Buchner, a German chemist, enzymes quickly demonstrated a catalytic activity essential for living organisms. For a biochemical reaction that would normally take 12 days, the addition of enzymes makes it happen in 1 second, which is a million times faster !

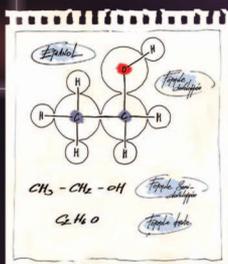
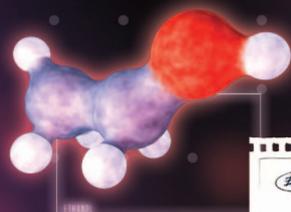


Petits jeux d'écriture

Simple writing

A partir des principes énoncés par Lavoisier à la fin du 18^{ème} siècle, les chimistes ont progressivement adopté les règles d'une écriture plus normalisée pour désigner les éléments chimiques et leurs réactions. Grâce à ces codes, la chimie possède aujourd'hui un langage universel qui permet de nommer sans ambiguïté tout nouveau composé.

Based on the principles laid out by Lavoisier at the end of the 18th century, chemists progressively adopted the rules of a more standardized way of writing down chemical elements and their reactions. Thanks to these codes, chemistry now has a universal language that is used to name any new compound without ambiguity.



Formules au choix

La formule chimique d'une molécule donne sa composition exacte en nombre et en genre d'éléments. Elle peut être écrite sous trois formes : brute, semi-développée et développée.

A choice of formulas

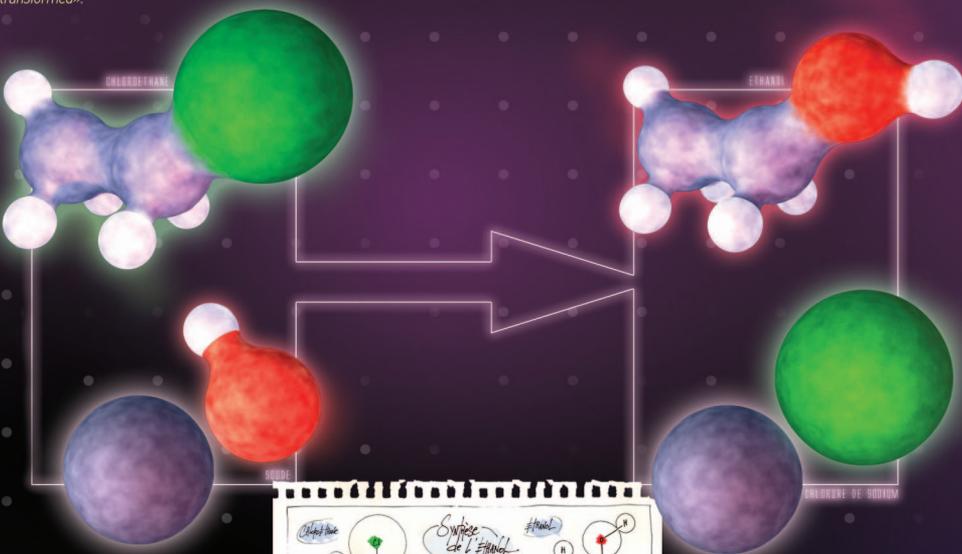
The chemical formula of a molecule gives its exact composition in terms of the number and type of elements. It can be written in one of three forms: molecular formula, abbreviated structural formula and structural formula.

Suivez la flèche !

Comment représenter sur le papier les changements moléculaires issus d'une réaction chimique ? On utilise pour cela une « équation » chimique, qui traduit ces modifications à l'aide de formules. Une flèche sépare deux groupes, les réactifs étant à gauche et les produits à droite. Le nombre de molécules de chaque composé est indiqué ; le nombre d'atomes de chaque élément doit être le même de chaque côté de la flèche, car selon la maxime de Lavoisier : « rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme » dans une réaction.

Follow the arrow !

How do you write down the molecular changes resulting from a chemical reaction? By using a chemical equation, which translates these modifications using formulas. An arrow separates the two groups, the reactants are on the left and the products on the right. The number of molecules of each compound is indicated; the number of atoms of each element must be the same on each side of the arrow, because according to Lavoisier's maxim: in a reaction «Nothing is lost, nothing is created, everything is transformed».



Tout dans un symbole !

En chimie, la notation des différents éléments a longtemps été sujette à controverse. Les alchimistes leur avaient d'abord attribué des signes cabalistiques en rapport avec les planètes. Puis, après Lavoisier et sa redéfinition de la notion d'élément, plusieurs savants tentèrent d'imposer leur méthode sans grand succès. C'est un suédois, Berzelius, qui, au milieu du 19^{ème} siècle, eu l'idée de prendre l'initiale (ou les deux premières lettres dans certains cas) du nom de chaque élément pour nommer un atome de cet élément.

It's all in the symbol!

In chemistry, the notation of the different elements was subject to controversy for a long time. Alchemists had given them cabalistic signs related to planets. After Lavoisier redefined the notion of an element, several scientists tried to impose their methods without much success. It was a Swede, Berzelius, who, in the middle of the 19th century, came up with the idea of using the initial (or the first two letters in some cases) of the name of each element to name an atom of this element.



Rien ne se perd, rien ne se crée ... Nothing is lost, nothing is created

Un mélange de produits n'implique pas nécessairement une réaction chimique ! Comment reconnaître une réaction ? En cherchant les transformations atomiques de la matière ! En clair, est-ce qu'on a cassé ou fabriqué des liaisons entre les atomes ?

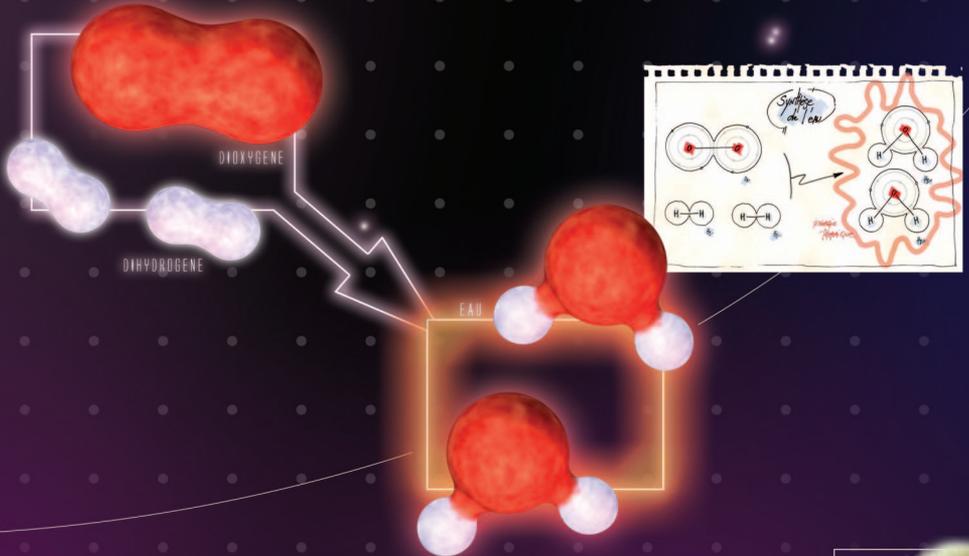
A mixture of products does not necessarily involve a chemical reaction! How do you recognize a reaction? By looking for atomic transformations in the matter! Basically, were bonds between atoms broken or made?

La réaction chimique, consommatrice ou productrice d'énergie ?

Le mélange ne traduit qu'un simple contact entre deux composés. La réaction chimique, elle, donne naissance à de nouvelles molécules aux propriétés différentes de celles des composés d'origine. La réaction chimique est caractérisée par des échanges énergétiques car chaque transformation met en œuvre une certaine quantité d'énergie. Une transformation difficile à réaliser nécessite de l'énergie apportée de l'extérieur (chauffage, ...). En revanche, si elle est naturellement facile, ce sont les produits qui se débarrassent d'un excès d'énergie.

Do chemical reactions consume or produce energy?

A mixture is simple contact between two compounds. A chemical reaction gives birth to new molecules with different properties than those of the original compounds. A chemical reaction is characterized by the exchange of energy because each transformation requires a certain amount of energy. A difficult transformation requires external energy (heating, etc.). On the other hand, if it is easy by nature, then the products are the ones to give off excess energy.



De l'énergie, oui, mais comment ?

L'énergie mise en jeu dans une réaction peut être thermique. Ainsi, lors d'une réaction difficile, l'apport d'énergie nécessaire se fait en chauffant, alors qu'une réaction très facile dégage de la chaleur. Il arrive aussi que ce soit la lumière qui soit source d'énergie. Dans la réaction de photosynthèse par exemple, l'apport d'énergie lumineuse joue un rôle essentiel dans la production d'O₂. De même, des réactions entre molécules peuvent spontanément produire de la lumière, comme c'est le cas chez le ver luisant.

Energy, sure, but how?

The energy involved in a reaction can be thermal energy. During a difficult reaction, the added energy comes from heating, while a very easy reaction releases heat. Sometimes light can be a source of energy. In photosynthesis for example, energy from light plays a crucial role in the production of O₂. In other cases, reactions between molecules can spontaneously produce light, like the glow-worm.



*Le bourgeon absorbe de la lumière dont il a besoin pour son développement, alors que la luciole en produit pour attirer un partenaire sexuel.
The bud absorbs the light it needs for its development, while the glow-worm produces it to attract a sexual partner.*



*Le chauffe-biberon de voyage dégage de la chaleur lorsqu'on le déclenche, alors que la poche de gel absorbe la chaleur humaine pour atténuer la douleur.
Travel bottle-warmers release heat when activated, while the gel patch absorbs human heat to ease pain.*



Lavoisier



Lavoisier casse de l'eau !

On doit à Lavoisier d'avoir donné à la chimie son statut de science expérimentale. Il a ainsi démontré que l'eau, que les alchimistes considéraient comme substance essentielle et indivisible, était décomposable. La synthèse de l'eau en public, par réaction d'hydrogène et d'oxygène, fut la preuve indiscutable de sa théorie sur les atomes.

Lavoisier splits water!

Lavoisier is credited with having given chemistry its status as an experimental science. He showed that water, which alchemists had considered as an essential and indivisible substance, could be broken down. The synthesis of water in public, by causing a reaction between hydrogen and oxygen, was the irrefutable proof of his theory on atoms.

Des états unis et désunis Combined and separated states

Dans la nature, gaz, liquides et solides renferment rarement une seule entité chimique. Ce sont souvent des mélanges, dont il faut savoir séparer les composants pour les identifier. Il existe pour chaque type de mélange des techniques de séparation appropriées.

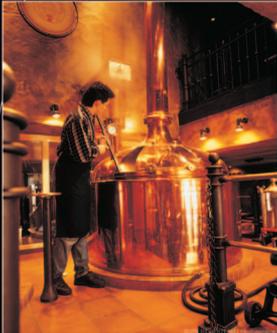
In nature, gases, liquids or solids rarely include just one type of chemical entity. They are often mixtures, and the components have to be separated in order to identify them. Special separation techniques have been developed for each type of mixture.

Quand les molécules s'emmêlent ...

Généralement, un mélange se forme lorsqu'on met en présence au moins deux types de molécules, quel que soit leur état physique.

When molecules intermix...

In general, a mixture forms when at least two different molecules are put together, regardless of their physical state.



Cette cuve de distillerie artisanale est chauffée pour séparer l'alcool des autres produits de fermentation. This artisan's pot still is heated to separate the alcohol from the other fermentation products.



L'huile et le vinaigre sont deux liquides qui ne se mélangent pas (non miscibles). Oil and vinegar are two liquids that do not mix (immiscible).

Mélange de deux liquides

Une interface entre deux liquides indique qu'ils sont non miscibles, (exemple : l'eau et l'huile). Il est alors facile de récupérer séparément l'un et l'autre par décantation. S'ils se mélangent parfaitement, comme l'eau et l'alcool, ils sont miscibles. Une séparation peut alors être effectuée par distillation : on chauffe le mélange et on collecte par condensation le composé le plus volatil.

Mixture of two liquids

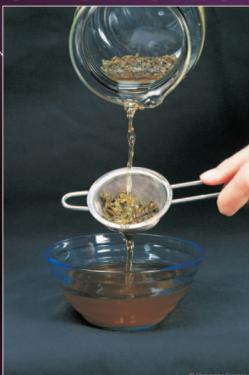
An interface between two liquids indicates that they are immiscible (example: oil and water). It is then easy to separately recover one from the other through decanting. If they mix perfectly, like water and alcohol, they are miscible. Separation through distillation can then be used: the mixture is heated and the most volatile compound is collected by condensation.

Mélange d'un liquide et d'un solide

Soit le solide se dissout dans le liquide pour former une solution, soit il reste solide en suspension. Dans ce dernier cas, la séparation se fait par filtration ou centrifugation. S'il y a solubilité, la cristallisation permet de récupérer le solide dissous. Ceci consiste à évaporer en partie le liquide de la solution afin que le solide cristallise lentement, (exemple : la récolte du sel de mer dans les marais salants).

Mixture of a liquid and a solid

Either the solid dissolves in the liquid to form a solution, or it remains as a solid in suspension. In the latter case, separation involves filtration or centrifugation. If there is solubility, crystallization can be used to recover the dissolved solid. This consists in partly evaporating the solution liquid so that the solid can slowly crystallize (example: gathering sea salt from salt marshes).



La filtration du thé retient les particules solides après infusion. Filtering tea retains the solid particles after infusion.



Paludier récoltant le sel de mer brut obtenu par évaporation. Gathering sea salt obtained from evaporation.



L'histoire de la distillation

La distillation est le parfait exemple de l'usage ancestral de la chimie par l'homme. Ses plus anciennes traces se retrouvent simultanément chez les grecs, romains, égyptiens, perses et hindous. Elle servait alors à récupérer l'alcool, ou « esprit », de fermentations végétales. A partir du Moyen Age, on s'en servira aussi pour extraire les huiles essentielles de plantes ou pour purifier l'eau. Diverses améliorations ont été apportées depuis à ce procédé qui reste très utilisé dans l'industrie des parfums, des alcools et en pétrochimie.

The history of distillation

Distillation is the perfect example of Man's ancestral use of chemistry. The oldest traces are simultaneously found in Greece, the Roman Empire, Egypt, Persia and India. It was used to recover alcohol, or «spirits», from plant fermentation. Starting in the Middle Ages, it was also used to extract essential oils from plants or to purify water. Various improvements have since been made to this process that is still widely used in the perfume, alcohol and petrochemicals industries.

La matière dans tous ses états ! What a state matter's in!

La matière, constituée d'atomes et de molécules, se présente sous trois formes physiques différentes : solide, liquide ou gaz. Elle passe de l'une à l'autre en fonction principalement de la température, et accessoirement de la pression.

Matter, made up of atoms and molecules, occurs in three different physical states: solid, liquid or gas. It changes from one to the other mainly depending on temperature, or sometimes on pressure.

Solide, liquide ou gaz ? Tout est dans le mouvement !

Comment les molécules d'eau s'organisent-elles lorsqu'elles sont sous forme de glace, d'eau liquide et de vapeur ? Tout est affaire d'énergie.

Solid, liquid or gas? It's all in the motion!

How do water molecules organize themselves when they take the form of ice, liquid water and steam? It all depends on energy.

L'état solide

Prédominant à basse température, c'est l'état le plus structuré. Les molécules se retrouvent serrées les unes contre les autres dans un cadre rigide et ont très peu de mouvements possibles.

The solid state

Predominant at low temperatures, this is the most structured state. Molecules are packed very close to each other in a rigid framework, and their movement is very restricted.

L'état liquide

Le liquide apparaît à température plus élevée. La chaleur apportant de l'énergie, les molécules la dépensent en s'agitant d'avantage. Elles acquièrent alors une plus grande liberté les unes par rapport aux autres.

The liquid state

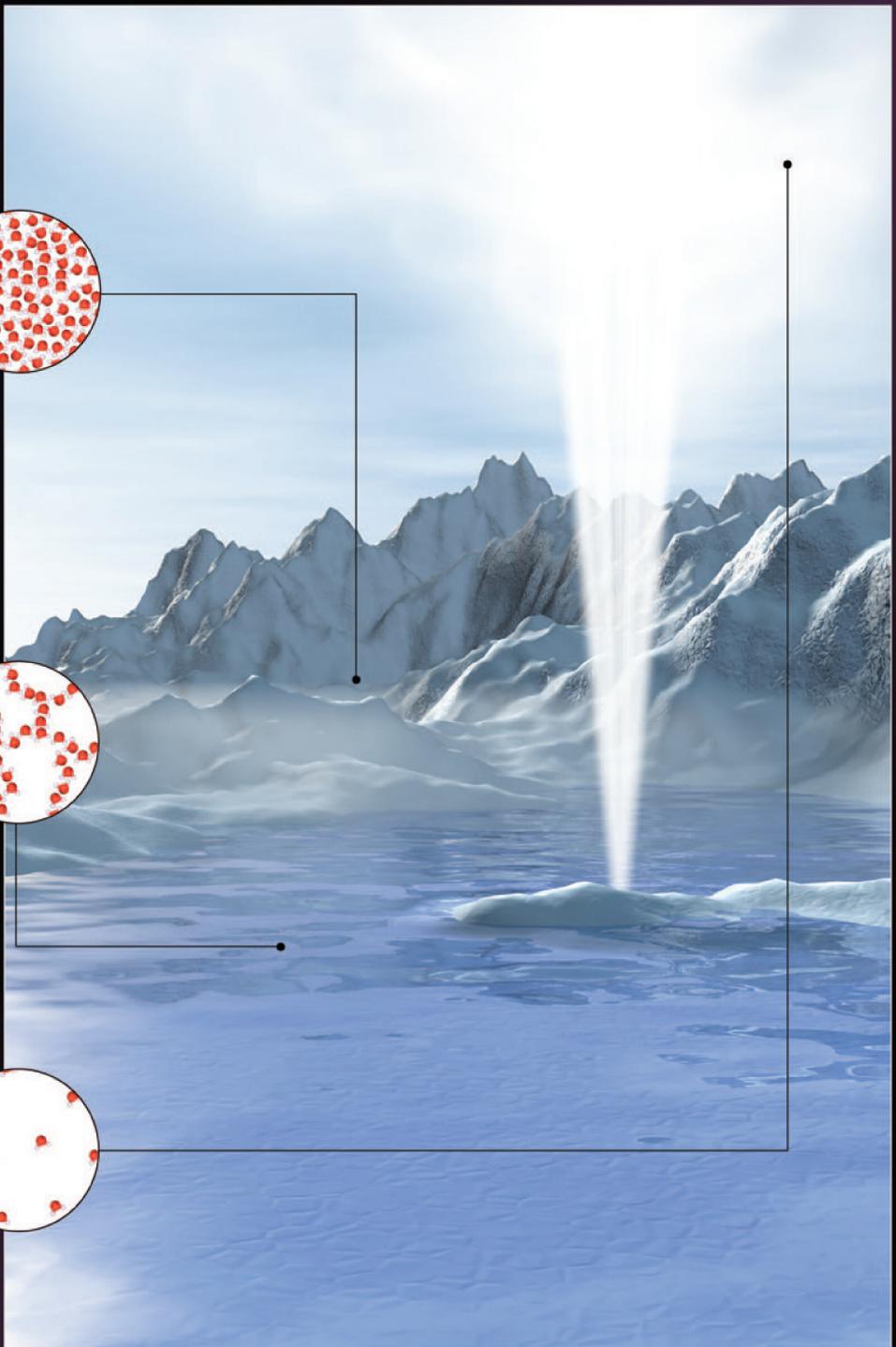
Liquids appear at higher temperatures. Since heat brings energy, the molecules use this energy by moving around more. They are thus free to move more independently of each other.

L'état gazeux

En chauffant encore plus, les molécules reçoivent tellement d'énergie qu'elles se déplacent très vite et occupent tout l'espace à leur disposition : c'est l'état gazeux.

The gaseous state

With a bit more heat, molecules receive so much energy that they move around very fast and take up all the space allowed: this is the gaseous state.



Dans quel état ?

Chaque composant de la matière a donc un état déterminé à une température et une pression données. Ainsi, à pression atmosphérique normale, l'eau est solide en dessous de 0°C, et gazeuse au-dessus de 100°C. En revanche, à température ambiante et à pression atmosphérique normale, l'oxygène est déjà gazeux. Il faut une température de - 183°C pour qu'il soit liquide et de - 218°C pour avoir de l'oxygène solide !

In what state?

Each component of matter has a determined state at a given temperature and pressure. Therefore, under normal atmospheric pressure, water is solid under 0°C, and gaseous above 100°C. On the other hand, at room temperature and under normal atmospheric pressure, oxygen is already a gas. The temperature has to drop to -183°C to turn oxygen into a liquid and to -218°C to obtain solid oxygen!

Le mystère du quatrième état

Jusqu'au début du 19^{ème} siècle, les savants et alchimistes ont cru qu'il existait un quatrième état de la matière qui complétait la trilogie air-eau-terre (gaz-liquide-solide). C'était le feu. L'auteur grec de cette théorie, Empédocle (- 450 av. J.-C.), prétendait regrouper ainsi les quatre substances primordiales. Il fallut attendre la théorie atomique de Dalton en 1808 pour montrer que le feu n'est en fait qu'un mélange de gaz et de particules solides microscopiques.

The mystery of the fourth state

Up until the early 19th century, scholars and alchemists believed there was a fourth state of matter that completed the air-water-earth trilogy (gas-liquid-solid). This was fire. The Greek author of this theory, Empedocles (450 BC), claimed that this united the four primordial substances. It wasn't until Dalton's atomic theory in 1808 that fire was shown to be only a mixture of gas and microscopic solid particles.



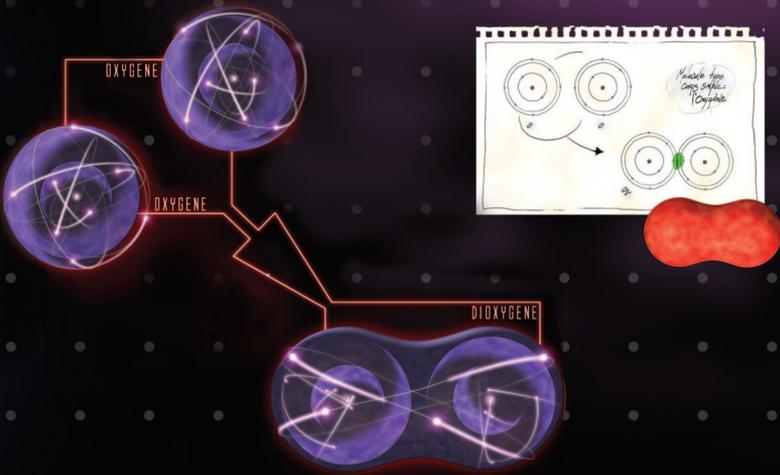
Empédocle

La molécule : une communauté d'atomes

The molecule : a community of atoms

Les liaisons constituent le squelette d'édifices atomiques appelés molécules. Les forces et les faiblesses (ou réactivité) d'une molécule découlent directement de la nature de ses liaisons. Ces caractéristiques se retrouvent transmises intégralement à la matière correspondante.

Bonds make up the skeleton of atomic structures called molecules. A molecule's reactivity can be high or low and depends directly on the nature of its bonds. These characteristics are entirely transmitted to the corresponding matter.



L'atome, célibataire ou polygame ?

Pour exister à un état stable, un atome doit avoir la même structure électronique que les gaz rares (He, Ne,...). A l'état isolé, très peu d'éléments répondent à cette condition. Que font alors les autres ? Ils forment des liaisons avec d'autres atomes en constituant ainsi une molécule. On classe les molécules en corps simples (constitués d'un seul type d'atome) et corps composés (possédant plusieurs atomes différents).

The atom, single or polygamous?

To exist in a stable state, an atom must have the same electronic structure as the noble gases (He, Ne,...). In an isolated state, very few elements fulfill this condition. What do the others do? They form bonds with other atoms thus creating a molecule. Molecules are classified as elements (made up of a single type of atom) and compounds (made up of several different atoms).



Dalton

Avogadro

Molécule ? Mais quelle molécule ?

C'est au début du 19^{ème} siècle qu'une différence entre les concepts d'atome et de molécule fut établie. Auparavant, le mot « élément » désignait indifféremment l'un ou l'autre. Les premiers à tracer la frontière, à partir d'observations subtiles sur les équivalences de proportions au cours de réactions gazeuses, furent l'anglais Dalton (1808) et l'italien Avogadro (1811). Mais ce n'est qu'à la fin du 19^{ème} siècle que leur point de vue fut adopté par tous.

Molécule? What molecule?

In the early 19th century, scientists started making a difference between the concepts of the atom and the molecule. Up until then, the word «element» was indifferently used for either one. The first to draw the line, based on subtle observations of the relative proportions of gases which react with each other, were Dalton, an Englishman (1808) and Avogadro, an Italian (1811). But it took until the end of the 19th century for their point of view to be adopted by everyone.

La liaison : une relation d'intérêt commun

The bond : a common interest link

Les atomes ne sont pas indépendants au sein de la matière et ils s'associent les uns aux autres en créant des liens « électroniques », appelés liaisons. Chaque atome est plus ou moins disposé au partage, selon sa nature et en fonction de son nombre d'électrons sur son orbite externe.

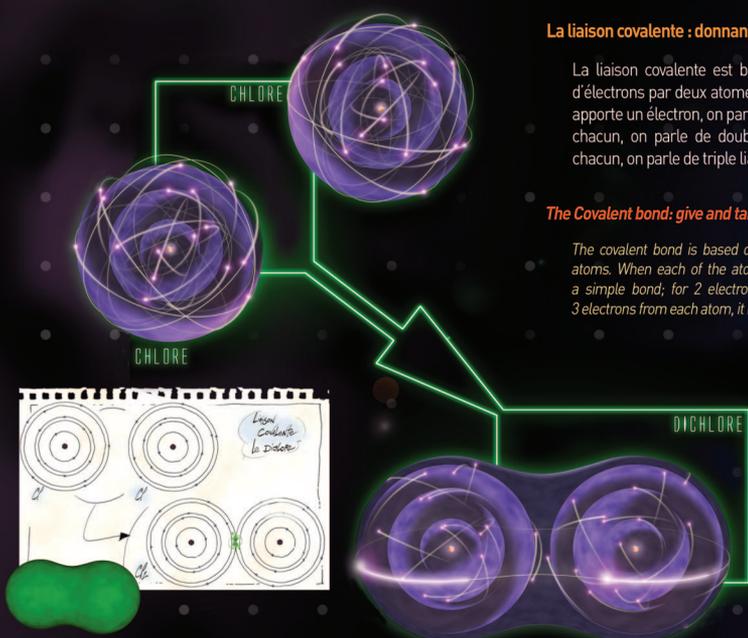
Atoms are not independent within matter and they get together by creating «electronic» links, called bonds. Each atom is more or less open to sharing, depending on its type and the number of electrons in its outer orbit.

La liaison covalente : donnant, donnant

La liaison covalente est basée sur la mise en commun d'électrons par deux atomes. Lorsque chacun des atomes apporte un électron, on parle de liaison simple ; 2 électrons chacun, on parle de double liaison, et pour 3 électrons chacun, on parle de triple liaison.

The Covalent bond: give and take

The covalent bond is based on the sharing of electrons by two atoms. When each of the atoms donates 1 electron it is called a simple bond; for 2 electrons, it is a double bond, and with 3 electrons from each atom, it is a triple bond.

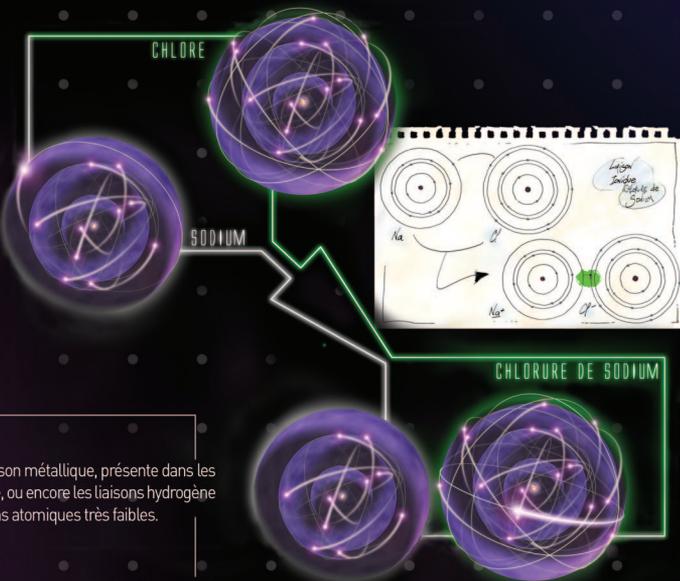


La liaison ionique : gagnant, perdant

Elle traduit la perte d'un ou plusieurs électrons externes par un atome au bénéfice d'un autre. Les deux atomes sont alors devenus des ions. Celui qui perd l'électron est appelé cation et celui qui le reçoit est nommé anion. C'est la présence d'un anion et d'un cation en vis-à-vis qui forme la liaison ionique.

The ionic bond: win or lose

This bond results from the loss of one or several outer electrons by an atom and the gain by another. These two atoms then become ions. The one that loses the electron is called a cation, while the one that gains the electron is called an anion. When an anion and a cation are in each other's presence they form an ionic bond.



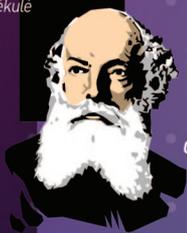
Les autres liaisons

D'autres types de liaisons ont été identifiés : la liaison métallique, présente dans les métaux et responsable de la conduction électrique, ou encore les liaisons hydrogène et de Van der Waals, qui traduisent des interactions atomiques très faibles.

Other bonds

Other types of bonds have been identified: metallic bonds, responsible for electrical conduction in metals, or hydrogen and Van der Waals bonds, which are caused by very weak atomic interactions.

Kékulé



Le carbone se mord la queue !

Au milieu du 19^{ème} siècle, les savants se sont heurtés à des problèmes d'écriture permettant de retranscrire leurs résultats. Kékulé, chimiste allemand, fut confronté à un composé comprenant 6 atomes de carbone et 6 d'hydrogène, qu'il était incapable de représenter. Le carbone formant 4 liaisons et l'hydrogène une seule, ce problème lui paraissait insoluble. Jusqu'à ce qu'il réalise que la suite d'atomes de carbone pouvait se fermer en un cercle, comme un serpent enroulé sur lui-même, et c'est ainsi qu'il dessina une célèbre formule chimique : celle du benzène.

Carbon chasing its tail!

In the middle of the 19th century, scientists were having trouble recording their results. Kekulé, a German chemist, was working on a compound with 6 carbon atoms and 6 hydrogen atoms that he just couldn't represent. Since the carbon formed 4 bonds and the hydrogen only one, he thought the problem was unsolvable. That is up until he realized that this chain of carbon atoms could close into a circle, like a coiled snake, and this is how he ended up drawing a very famous chemical formula: the one for benzene.

Photo de famille

Family photo

Depuis l'origine de l'Univers, les atomes fusionnent au cœur des étoiles pour former de nouveaux atomes, plus lourds. De cette façon, deux atomes d'hydrogène donnent naissance à un atome d'hélium. A ce jour, une centaine d'atomes différents sont répertoriés, avec des liens de parenté plus ou moins simples.

Since the origin of the Universe, atoms have fused inside stars to form new, heavier atoms. This is how two hydrogen atoms give rise to a helium atom. At present, some 100 different atoms, related to each other in fairly straightforward ways, have been discovered.

Il y a atome et atome ...

Jusqu'à ce jour, les chimistes ont dénombré 90 éléments naturels différents. Au cours du 20ème siècle, 26 autres ont été créés artificiellement par l'homme. Ces différents éléments se distinguent par leurs nombres différents d'électrons et de protons. Ils sont classés depuis la fin du 19ème siècle dans un tableau créé par un chimiste russe, Dimitri Mendeleïev. Pour une même espèce atomique, le nombre de neutrons peut varier : il s'agit alors d'isotopes.

There are atoms and atoms...

So far, chemists have identified 90 different natural elements. In the 20th century, 26 others were artificially created by man. What distinguishes one element from another is its different number of electrons and protons. They have been classified since the end of the 19th century in a table created by a Russian chemist, Dimitri Mendeleev. The number of neutrons may vary within the same atomic



Genèse de la classification périodique de Mendeleïev

En 1869, Mendeleïev établit un tableau à la forme singulière. Il classa d'abord les 63 éléments connus par masse croissante, ce que d'autres chimistes avaient déjà fait avant lui. Mais le génie de Mendeleïev fut de constater que, dans cette liste, des atomes présentaient périodiquement une réactivité chimique analogue. Il a alors classé les atomes d'abord en ligne par poids, puis en colonne par réactivité. Par ce procédé, il a pu corriger des masses atomiques fausses, et il a également anticipé la découverte de nouveaux atomes dont il prévoyait déjà les propriétés.

The birth of Mendeleev's periodic table

In 1869, Mendeleev drew up a most unusual-looking table. First he classified the 63 known elements by increasing mass, which other chemists had already done before him. But his genius was to have noticed that in this list, atoms periodically presented an analogous chemical reactivity. He then classified the atoms in rows by weight, then in columns by reactivity. This way, he was able to correct wrong atomic masses. He also anticipated, by leaving blanks in his table, the discovery of new atoms whose properties he had already predicted.

Mendeleïev



Chimie ou pas chimie ? Chemistry or not chemistry?

En bref, la chimie d'aujourd'hui, c'est ...
In short, chemistry in today's world is ...

... Une science largement répandue

Étude des atomes, création de molécules, mise au point de matériaux, ... les attributs de la chimie en font un partenaire indispensable à d'autres domaines : physique, biologie, médecine, géologie, agronomie, bâtiments, etc.

... A widely used science.

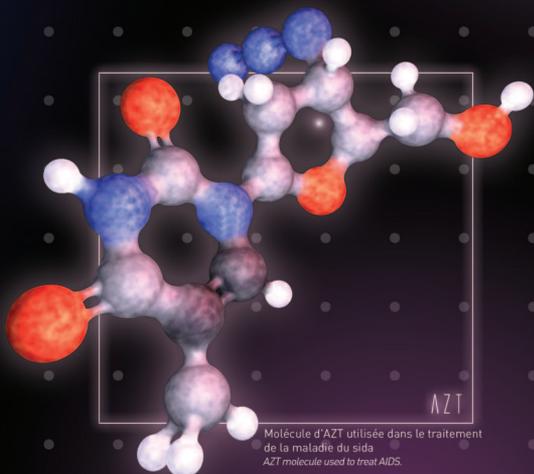
The study of atoms, the creation of molecules, the development of materials ... chemistry's attributes make it an essential partner for other fields: physics, biology, medicine, geology, agronomy, construction, etc.

... Une science de progrès

De par sa vocation, la chimie se retrouve impliquée au sein des principaux défis de notre époque. Elle joue un rôle essentiel dans la lutte contre la maladie, avec la recherche de nouveaux traitements. Elle est présente dans le secteur de l'énergie, pour développer des procédés plus propres avec de meilleurs rendements. Elle intervient sur le terrain de l'environnement par des analyses constantes de nos milieux naturels, afin d'expliquer et combattre leurs dérèglements.

... A progressive science.

Because of its aptitudes, chemistry is now involved in the main challenges of our time. It plays a key role in the fight against disease through the search for new treatments. It is present in the energy sector to develop cleaner processes with better yields. It acts for the environment by performing constant analyses of our natural surroundings in order to understand them and react when things go wrong.



Le panneau photovoltaïque de ce parcimètre est un exemple d'alternative que la chimie propose aux sources traditionnelles d'énergie.
The photovoltaic panel of this parking meter is an example of an alternative to traditional energy sources made possible through chemistry

... Une science parfois décriée

Chaque médaille a son envers et la chimie défraie de temps en temps la chronique des médias par de tristes exploits (pollutions accidentelles, explosions mortelles, ...). Ces catastrophes surviennent lorsque d'autres enjeux, souvent économiques, viennent occulter les risques encourus. La chimie est pourtant une science sûre lorsqu'elle est mise dans des mains expertes.

... An often criticized science.

There is a flip side to everything, and chemistry is occasionally decried by the media following unfortunate incidents (accidental pollution, deadly explosions, etc.). These catastrophes happen when other stakes, often economic, get in the way of the risks involved. Chemistry is nevertheless a safe science when placed in expert hands.



Pollution d'hydrocarbures sur une plage bretonne.
Oil spill on a Brittany beach.



Véritable révélation technique, la chimie combinatoire permet de tester de façon automatique et en utilisant de petites quantités un très grand nombre de composés. En incrustation : recherche de molécules fluorescentes après réaction.
Considered as a true technical revelation, combinatorial chemistry helps automatically test a very large number of compounds using very small quantities. INSET: search for post-reaction fluorescent molecules.

... Une science toujours en évolution

Vieille de plus de 200 ans, la chimie est aujourd'hui une science arrivée à maturité. Elle continue pourtant à s'étendre et prospérer, comme en témoignent de nouvelles disciplines (chimie combinatoire ...). De plus, la synthèse chimique n'a jamais été aussi productive : elle crée environ 14 000 nouvelles molécules par semaine, s'ajoutant aux 25 millions préexistantes. Enfin, la chimie a parfaitement su intégrer l'outil informatique dans son évolution pour faire encore progresser les techniques et, par extension, les connaissances.

... A continually developing science.

Almost 200 years old, chemistry is now a mature science. Yet it still continues to expand and prosper as shown by new disciplines (combinatorial chemistry...). In addition, chemical synthesis has never been as productive as today: it creates about 14 000 new molecules per week, adding to the 25 million preexisting ones. Finally, chemistry has perfectly integrated information technology tools in its development to advance techniques even further, and by extension, knowledge too.