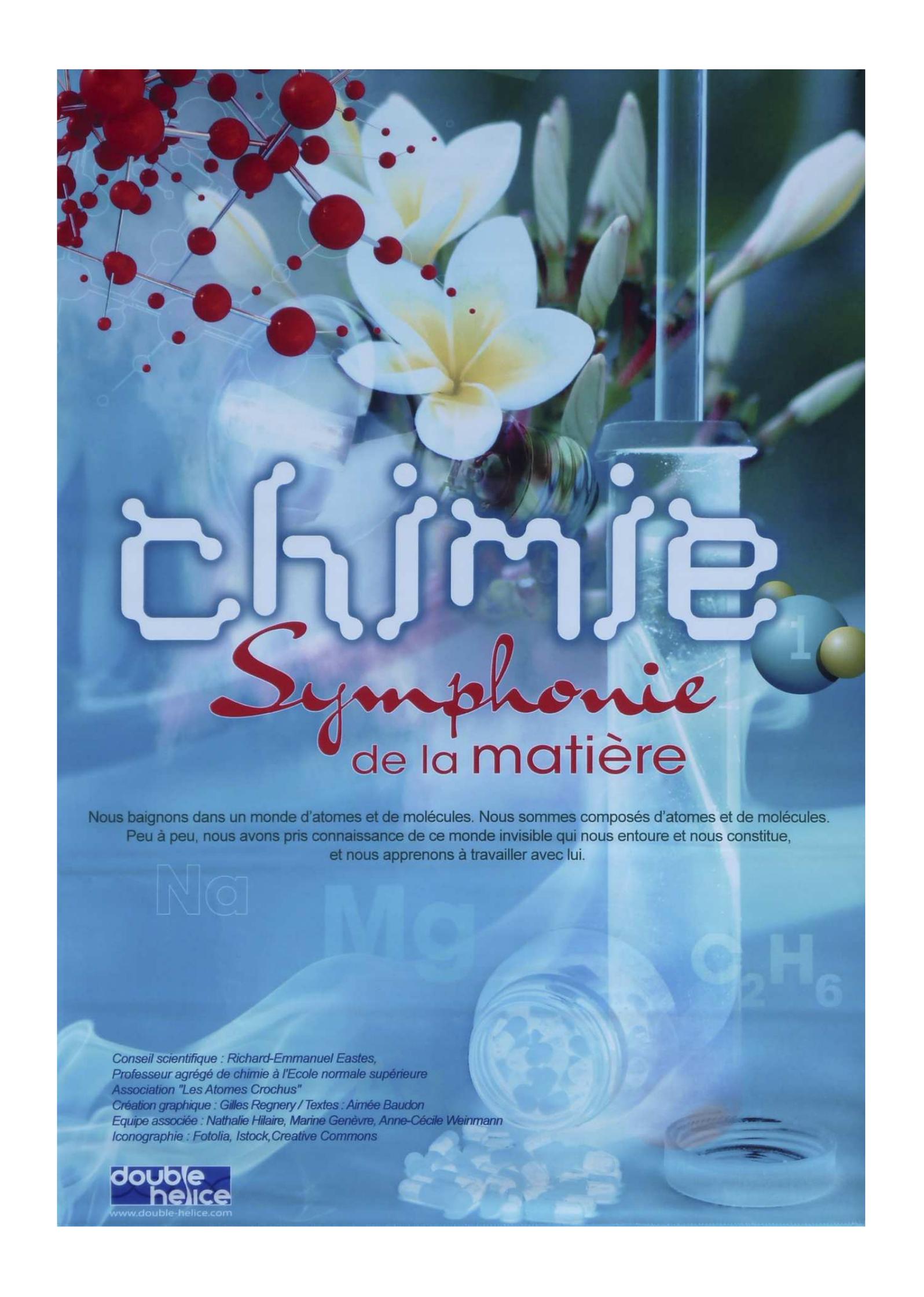


- Chimie -
Symphonie
de la matière



chimie

Symphonie de la matière

Nous baignons dans un monde d'atomes et de molécules. Nous sommes composés d'atomes et de molécules.
Peu à peu, nous avons pris connaissance de ce monde invisible qui nous entoure et nous constitue,
et nous apprenons à travailler avec lui.

Conseil scientifique : Richard-Emmanuel Eastes,
Professeur agrégé de chimie à l'Ecole normale supérieure
Association "Les Atomes Crochus"
Création graphique : Gilles Regnery / Textes : Aimée Baudon
Equipe associée : Nathalie Hilaire, Marine Genève, Anne-Cécile Weinmann
Iconographie : Fotolia, Istock, Creative Commons

**double
helice**

www.double-helice.com

Parler de chimie nécessite quelques connaissances sur la structure de la matière.

Histoire d'atomes

Les philosophes grecs avaient déjà pressenti que la matière était composée d'unités indivisibles qu'ils appelèrent **atomes** (*a-tomes : qui ne peut être coupé*).



On sait aujourd'hui que les atomes sont constitués d'un noyau central, très petit, très dense, contenant des protons et des neutrons, entouré d'un nuage d'électrons.

Toute la masse de l'atome est concentrée dans son noyau. Les électrons, eux, sont de masse négligeable, 2000 fois plus faible que celle d'un proton.

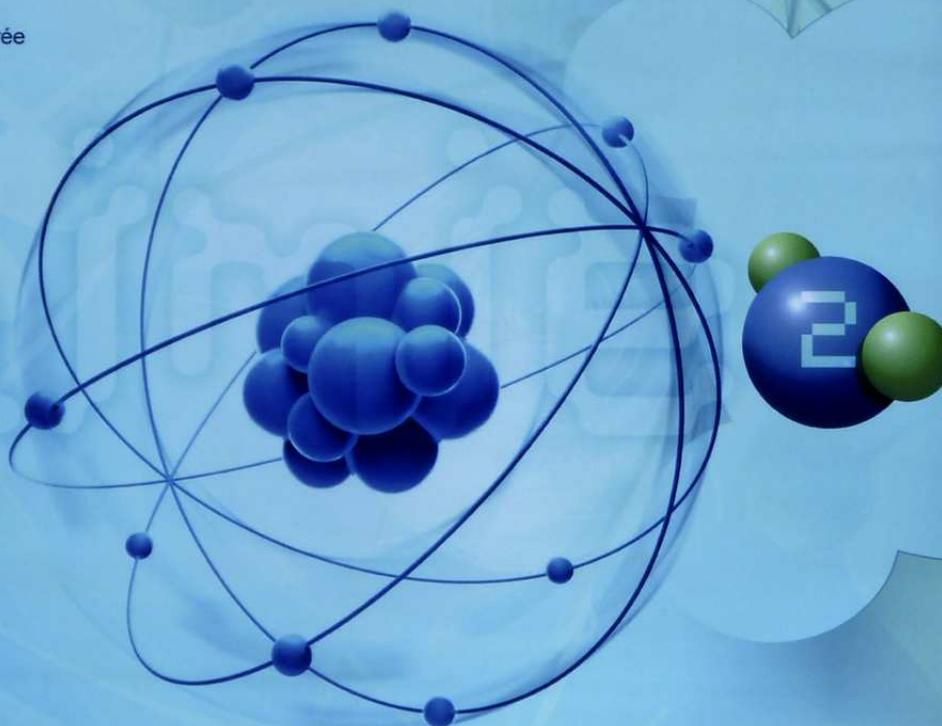
Le noyau est très petit comparé aux distances d'évolution des électrons.

Si l'atome de fer avait 1 mètre de diamètre, son noyau ne mesurerait qu'1/10 de millimètre autour duquel seraient répartis 26 petits grains minuscules (les électrons).

La matière est donc faite essentiellement de vide !

Malgré ce "vide", les corps nous semblent compacts en raison des forces d'attraction qui s'exercent entre le noyau et les électrons et des forces de répulsion qui s'exercent entre les électrons. Ces forces électrostatiques font que notre main ne s'enfonce pas dans la table sur laquelle nous nous appuyons...

Les atomes peuvent être représentés comme des **billes extrêmement petites**. Dans une tête d'épingle, il y en a des milliards de milliards ! On ne peut pas voir les atomes mais deviner les espaces qu'ils occupent grâce au microscope à effet tunnel (ci-contre).



Le nombre d'électrons d'un atome est égal au nombre de protons contenus dans son noyau. Ce nombre détermine les propriétés chimiques de l'atome.

Au cours des réactions chimiques, les atomes peuvent échanger ou mettre en commun leurs électrons. Leur noyau, lui, n'est pas impliqué. Il n'intervient que dans les réactions nucléaires qui constituent un tout autre domaine : celui de la physique nucléaire.





Il n'y a qu'un peu plus de 100 types d'atomes différents sur Terre et dans tout l'univers.
Le plus simple et le plus léger est l'hydrogène, il est fait d'un noyau contenant un seul proton auquel est lié un seul électron.

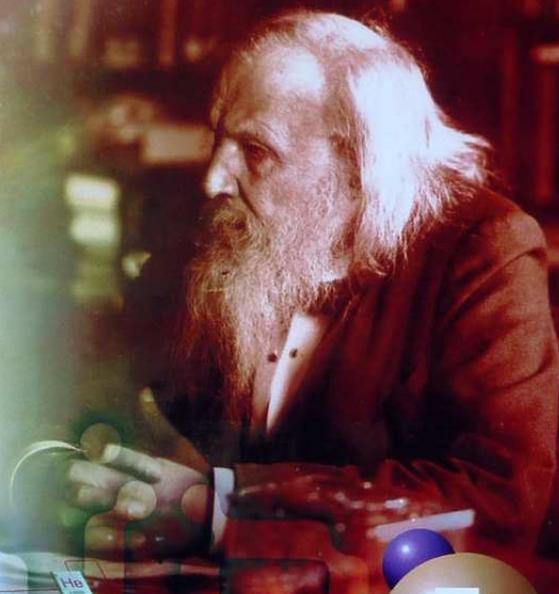
100 atomes pour tout l'univers !

En augmentant un par un le nombre de protons et d'électrons, on obtient des atomes de plus en plus lourds aux propriétés variées : ce sont les 100 types d'atomes qui constituent tout l'univers !

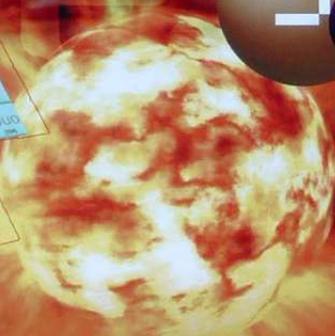
On a attribué arbitrairement à l'hydrogène la masse de 1. Il sert de base à l'échelle des masses atomiques.

En 1869, le chimiste russe **Dimitri Mendeleïev** a classé tous les atomes dans un tableau selon leurs propriétés chimiques. Il est apparu par la suite que ce classement correspondait à ranger les atomes par nombre croissant de leurs électrons : chaque atome du tableau possède un électron et un proton de plus que celui qui le précède.

Cette classification a ouvert la voie à la chimie raisonnée.



H	He																	He													
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	Ar													
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	Kr													
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr														
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe														
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn														
Fr	Ra	Ac-Lf	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uuq	Uuo														
		57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu															
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr															



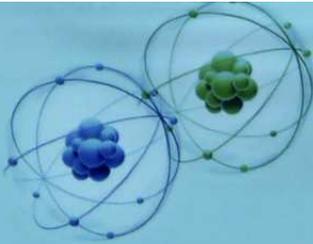
Les atomes les plus légers se sont formés au moment du **big bang**, il y a 15 milliards d'années. Les atomes les plus lourds se forment par agrégation de petits atomes (fusion) **dans le cœur de très grosses étoiles** où les pressions énormes permettent le réarrangement des noyaux.

Sur Terre, où ces conditions extrêmes n'existent pas, les atomes ne se créent pas ni ne disparaissent.

Ils sont constamment en circulation : les atomes qui nous constituent existaient déjà lors de la formation de la Terre et n'ont pas cessé d'être recyclés : avant de nous « appartenir », ils ont pu se trouver dans un dinosaure, un lichen ou une fumée...



Lavoisier, célèbre chimiste français, avait pressenti cette permanence de la matière sur Terre. Il est l'auteur de la célèbre phrase : **« Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme ».**

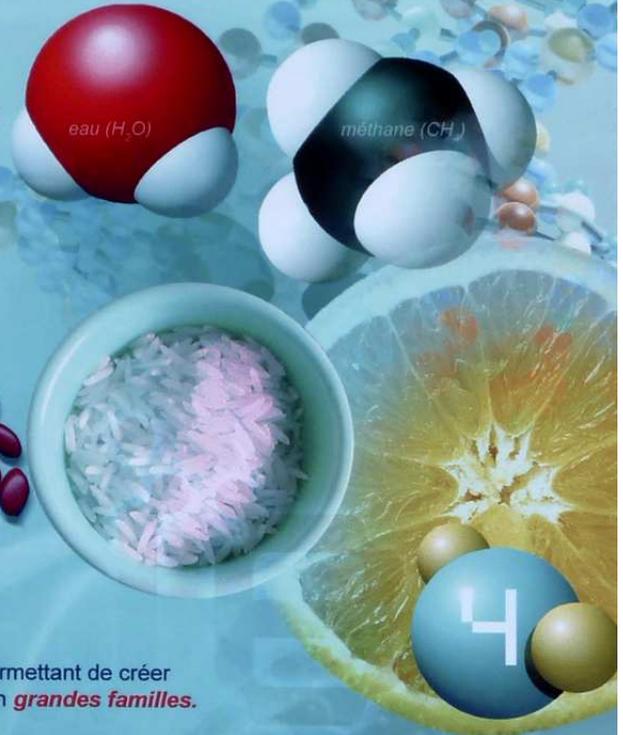


Les atomes s'associent les uns aux autres pour former des **molécules**.

Pour se lier, les atomes mettent en commun deux ou plusieurs électrons qui jouent le rôle d'une « colle électrostatique ».

Un jeu de **construction**

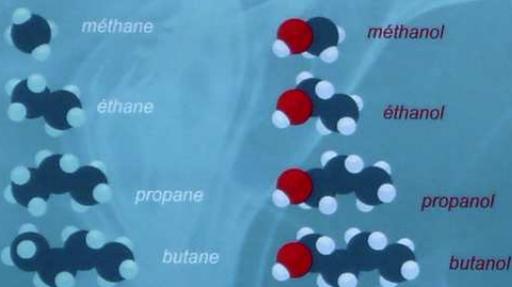
Les atomes n'ont pas tous les mêmes capacités de liaison. L'atome de carbone peut créer 4 liaisons avec 4 autres atomes, l'atome d'oxygène peut se lier à 2 atomes, et l'hydrogène à un seul. Par exemple, l'eau (H₂O) est constituée d'un oxygène lié à 2 hydrogènes et le méthane (CH₄) est fait d'un atome de carbone lié à 4 hydrogènes.



Avec les mêmes atomes, on peut construire de multiples molécules. Par exemple, le sucre, l'alcool, la cellulose, l'amidon ou l'acide citrique sont faits de l'assemblage de seulement 3 sortes d'atomes : le carbone, l'hydrogène et l'oxygène.

La centaine d'atomes de l'univers est donc un vrai jeu de construction permettant de créer des millions de molécules que l'on peut classer, selon leurs propriétés, en **grandes familles**.

Dans la famille des **hydrocarbures**, le méthane a un seul atome de carbone (CH₄), l'éthane en a deux (C₂H₆), le propane trois (C₃H₈), et le butane quatre (C₄H₁₀). Avec seulement un atome d'oxygène en plus, ces molécules d'hydrocarbures passent dans la famille des **alcools**, aux propriétés différentes : le méthane devient méthanol (alcool dangereux pour les cellules nerveuses), l'éthane devient éthanol (c'est l'alcool de nos boissons alcoolisées), le propane devient propanol (utilisé comme solvant)...

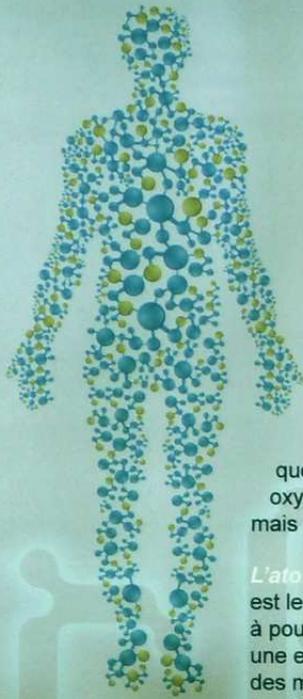


Les liaisons entre les atomes peuvent être rompues et les atomes redistribués pour créer de nouvelles molécules. **Ce sont les réactions chimiques.** C'est ainsi que le méthane brûle en se combinant à l'oxygène pour donner du gaz carbonique et de l'eau :
$$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$$

La nature a édifié tout notre univers et tous les êtres vivants
avec seulement un peu plus de 100 types d'atomes différents !
Exactement comme 26 lettres de l'alphabet permettent d'écrire toute la littérature
et comme quelques notes de musique permettent de créer toutes les symphonies.

La chimie

décrit la nature



Le monde minéral est construit d'atomes variés (soufre, calcium, manganèse, fer, cuivre, oxygène...), associés en petites molécules simples. Ces molécules forment des substances souvent solides à température ordinaire, comme les roches dans lesquelles l'eau et le vent sculptent les reliefs et les paysages.

Le monde vivant utilise une variété d'atomes plus réduite que le monde minéral (essentiellement carbone C, oxygène O, hydrogène H, azote N et phosphore P) mais pouvant s'associer en gigantesques molécules.

L'atome de carbone y joue un rôle central. En effet, cet atome est le seul, grâce à ses quatre possibilités de liaisons, à pouvoir former de longues chaînes et construire ainsi une extraordinaire panoplie de molécules pouvant comporter des millions d'atomes. Ces molécules jouent un ballet de réactions chimiques infiniment plus riches et plus complexes que celles du monde minéral.

La contraction musculaire, la capture de l'énergie solaire (photosynthèse), la construction des tissus (cellulose, os, peau, toile d'araignée), la transmission de l'information génétique sont toutes, sans aucune exception, des interactions de molécules incroyablement coordonnées !



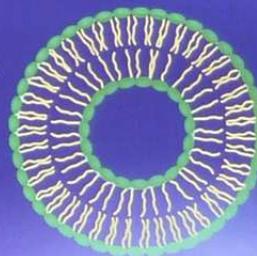
Un seul atome peut tout changer.
Le pigment des bleuets ne diffère de celui des coquelicots que par un seul atome d'hydrogène. Ce minuscule atome fait passer la molécule de bleu à rouge et change la couleur de la fleur...

Depuis des millénaires, l'homme a appris à tirer profit des propriétés de la matière : travail des métaux, extraction de pigments, de sucre, de parfums, fermentation alcoolique, fabrication du savon... Aujourd'hui, **la chimie n'est plus seulement un ensemble de recettes et de savoirs-faire**. Elle est devenue une **véritable science** logique et prédictive qui a totalement bouleversé notre vie quotidienne dans tous les domaines.

La chimie et l'homme

Santé : La chimie permet de produire des médicaments très efficaces. Elle permet aussi de mettre au point de nouvelles voies pour les administrer grâce par exemple aux nanovecteurs. Les nanovecteurs sont faits de molécules assemblées en forme de vésicules, dans lesquelles on peut glisser un médicament. Sur ces vésicules microscopiques, on peut fixer des groupes d'atomes qui permettent de reconnaître les cellules à traiter et donc de les "cibler". Les nanovecteurs protègent le médicament durant son parcours dans l'organisme et évitent de répandre le traitement sur les cellules saines.

Exemple de nanovecteur : les liposomes composés de 2 couches d'acides gras forment des vésicules dans lesquelles on peut introduire un médicament. (A droite : liposome en coupe / Creative Commons).



Textiles : On sait aujourd'hui produire des fibres synthétiques faites de longues chaînes d'atomes, comme le Nylon® (finesse et solidité) ou le Lycra® qui peut s'étirer jusqu'à 600 % (élasticité pour les vêtements de sport). D'autres fibres synthétiques permettent de fabriquer des vêtements légers et chauds (polaires), isolants (combinaisons de plongée, de planche à voile...) ou imperméables à l'eau mais laissant passer la transpiration comme le Gore-tex®.

Alimentation : engrais, phytosanitaires, colorants, conservateurs

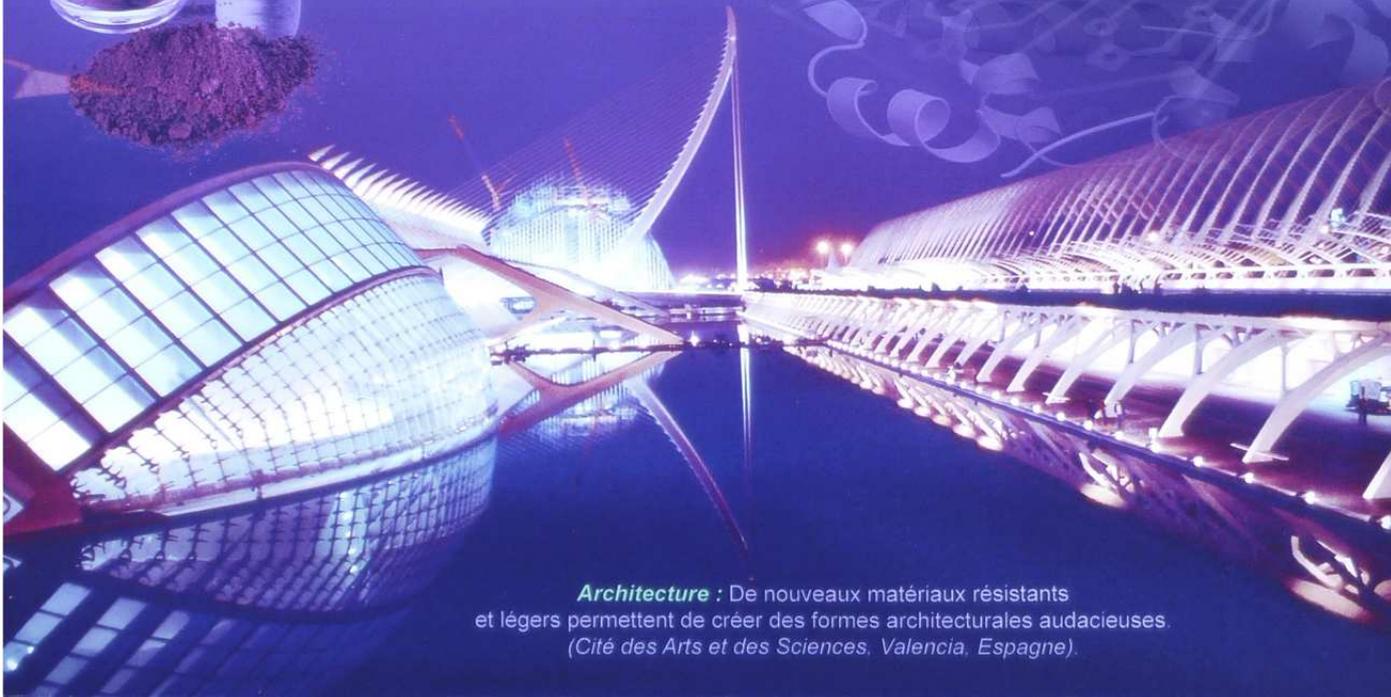
Energie et transport : batteries, piles, lampes, essence, airbag

Hygiène, beauté : lessives, savons, shampooing, cosmétiques, parfums

Communication : imprimerie, télévision, cristaux liquides, microprocesseur



Architecture : De nouveaux matériaux résistants et légers permettent de créer des formes architecturales audacieuses. (Cité des Arts et des Sciences, Valencia, Espagne).



Les sciences chimiques ont permis le développement d'une industrie dont les filières de production sont très structurées.

L'industrie chimique

La **chimie lourde** produit des molécules simples (comme l'éthylène, le benzène, la soude, l'ammoniac...). Ces molécules produites par tonnes servent de base à la **chimie fine** qui fabrique les arômes, les colorants, les plastiques, les molécules actives...

La **parachimie** prépare ensuite les mélanges finaux destinés aux consommateurs : shampoings, lessives, colles, insecticides, peintures, engrais, médicaments.....

Presque tous les secteurs de production sont dépendants de la fourniture des matières premières préparées par la chimie, depuis la santé jusqu'à l'informatique ou l'aéronautique.

La chimie permet aussi de réaliser des **analyses et des contrôles** dans tous les secteurs d'activité : contrôle des produits, des effluents, des pollutions, analyses biologiques et médicales...

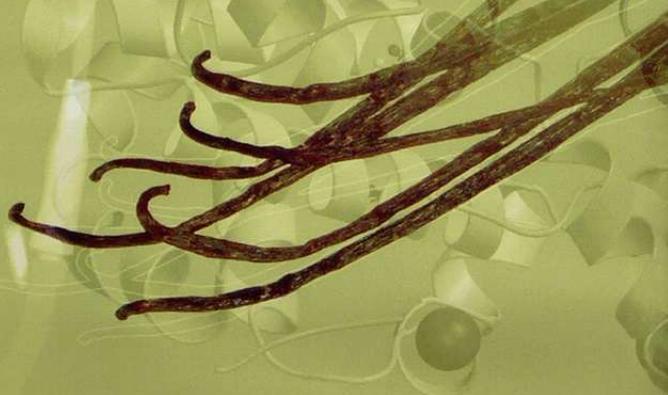
Il faut 10 ans de recherche équivalant à 1.500 années de travail d'un chercheur pour mettre au point un médicament.

Il est aujourd'hui possible de fabriquer en laboratoire à peu près n'importe quelle molécule, même très compliquée.

Ainsi, on peut parfois produire de façon industrielle une molécule présente dans la nature plus économiquement qu'en l'extrayant d'une plante, d'un animal ou d'une levure.

C'est le cas de la **vanilline** (produite par la vanille et lui donnant son arôme) dont la synthèse industrielle est 3000 fois moins coûteuse qu'une extraction de la plante.

Une molécule naturelle et son double synthétique ont les mêmes propriétés chimiques.



L'industrie chimique n'a pas bonne presse. On lui reproche de produire des substances et des matériaux qui n'ont pas tous été désirés par la société et qui menacent la santé humaine et les équilibres naturels.

Revers de médaille

Accidents : Des accidents industriels spectaculaires ont marqué notre conscience collective. En 1984, à Bhopal (Inde), l'explosion d'une usine de pesticides a fait plusieurs milliers de morts. En 2001, à Toulouse (France), l'explosion d'un stock de nitrate d'ammonium a fait 30 morts et des milliers de blessés.

Rejets : Dans les pays développés, les rejets quotidiens de l'industrie chimique sont aujourd'hui bien maîtrisés. Il n'en est pas de même dans les pays en développement où cette industrie est parfois très polluante. S'y ajoutent les déchets non recyclés de milliards de consommateurs sur la planète : une pile bouton jetée dans la nature peut polluer 400 m³ d'eau !

Molécules commercialisées : Actuellement, l'industrie chimique produit environ 100.000 molécules de synthèse. La majorité n'a pas été suffisamment contrôlée en ce qui concerne ses effets sur les écosystèmes et sur la santé. On suspecte certaines d'entre elles de contribuer à l'augmentation des cancers, des perturbations immunitaires (asthme, allergies) et à la diminution de fertilité observées dans la société moderne.

Le DDT, pesticide aujourd'hui interdit, a été produit en grande quantité. Il ne se dégrade que très lentement et continue à s'accumuler dans la chaîne alimentaire jusque dans la chair des animaux polaires.

Sous la pression de nombreuses associations, **le règlement européen REACH** a vu le jour en 2007 (**R**egistration, **E**valuation, **A**utorisation et restriction of **C**hemicals). Jusqu'alors, les autorités devaient apporter la preuve qu'une substance était dangereuse pour la retirer du marché. Le règlement REACH inverse la situation. Il impose désormais aux industriels de démontrer l'innocuité des substances commercialisées en Europe.

Pour l'instant, seules les nouvelles molécules produites à **plus d'une tonne par an** sont soumises à ce contrôle. Des efforts sont encore à faire pour imposer également l'évaluation des substances suspectes déjà en circulation.



Vers une chimie durable

Conscients de l'étendue et des effets de la pollution chimique diffuse et de l'inquiétude de la société, les chimistes engagent une véritable mutation.

Ils se tournent désormais vers la recherche de processus et de substances sans danger pour l'environnement et la santé.

Dans cette démarche vers une chimie « verte », la nature est une grande source d'inspiration.

Mais pour être véritablement « durable », la chimie de demain ne doit pas seulement être « verte », elle doit aussi tenir compte des besoins et des valeurs de la société, ainsi que des contraintes économiques.

Les citoyens veulent être entendus, ils n'acceptent plus une communication destinée à justifier des choix technologiques imposés.

Pour cela, l'information scientifique doit être la plus claire et objective possible. Elle ne doit plus être promotionnelle mais réellement conçue pour alimenter le dialogue avec la société.