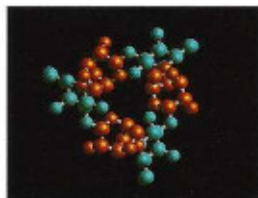




Les molécules

QU'EST-CE QU'UNE MOLECULE ?



Une molécule (*moles* signifiant « masse », en latin) est un assemblage d'atomes de composition fixe, dont la taille et la géométrie sont bien définies. Un corps composé de molécules est un corps moléculaire et, si toutes les molécules qui le composent sont identiques, alors ce corps est un corps pur (par opposition à un corps composé).

Les molécules simples ne sont formées que de quelques dizaines d'atomes au maximum. Celles qui en comportent un très grand nombre sont nommées macromolécules. Une macromolécule formée par l'assemblage d'éléments de même nature chimique (ou monomères) est appelée un polymère ; celui-ci peut être :

- soit d'origine naturelle tel chacun des brins de la double hélice d'ADN constitués par des enchaînements de nucléotides, ou bien encore le glycogène formé de l'assemblage de molécules de glucose,
 - soit d'origine synthétique tels que le polyester, le polystyrène, le téflon (ou polytétrafluoroéthylène), le polyéthylène, etc.
- Les molécules à base de carbone et d'hydrogène sont nommées composés organiques. Ils sont très présents dans la nature, que ce soit :
- chez les êtres vivants, comme composantes des protéines, des sucres ou des acides nucléiques
 - dans les hydrocarbures tels le méthane, l'éthane, le propane, le butane...
 - dans les alcools tels le méthanol, l'éthanol, le propanol, le butanol...
 - dans les acides dits « carboxyliques » tels que l'acide méthanoïque (ou formique), l'acide éthanoïque (ou acétique), l'acide propanoïque, l'acide butanoïque (ou butyrique), les acides gras (ou lipides)...

un jeu d'atomes en évolution dans un vide infini. Selon eux, les propriétés d'un corps étaient déterminées par celles des atomes qui le composaient (fines, crochus, lourds, légers, denses...).

Ces théories furent ensuite reprises et complétées par Epicure (-341 à -270). Cette vision « atomiste » du monde s'opposait à la vision « élémentale » développée par Pythagore (-570 à -480), puis par Empédocle (-490 à -435), par Platon (-427 à -348) et par Aristote (-384 à -322), qui considéraient que la matière résultait de la combinaison de seulement quatre éléments (ou « stoiceia »), à savoir le feu, l'air, la terre et l'eau.

Cette hypothèse des quatre éléments prédomina jusqu'au XVIII^e siècle, jusqu'à ce que René Descartes (1596-1650), Pierre Gassend (1592-1655) et Isaac Newton (1642-1727)



tentent d'expliquer, grâce aux atomes, la cohésion de la matière. Descartes supposait ainsi que certains atomes étaient munis de minuscules crochets et d'autres des creux correspondant, ce qui leur permettait de se lier les uns aux autres (ce qui donna l'expression « avoir des atomes crochus avec quelqu'un »).

En 1661, Robert Boyle (1627-1691) introduisit la notion d'éléments chimiques et déclara que la matière était composée d'agrégats de particules, qu'il nommait « corpuscules ».

Le concept de molécule se fera jour ensuite, sous l'inspiration de scientifiques tels que Daniel Bernoulli (1770-1782) ou John Dalton (1766-1844), mais elles seront longtemps confondues avec les atomes les composant. Cette ambiguïté sera levée



en 1811 par Amedeo Avogadro (1776-1856), qui énonça la loi suivante : « Des volumes égaux de gaz différents, aux mêmes conditions de température et de pression, contiennent le même nombre de molécules. » Les travaux d'Avogadro furent ultérieurement confirmés par Jean Perrin (1870-1942).

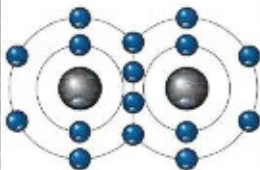
En 1922, les macromolécules furent découvertes par Hermann Staudinger (1881-1965).

DES LIAISONS ENTRE LES ATOMES

D'un point de vue chimique, cinq types de liaisons, plus ou moins fortes, permettent aux atomes de s'assembler en molécules.

LIAISONS COVALENTES

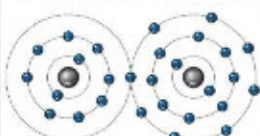
Les liaisons covalentes, qui sont les plus fortes et les plus stables de toutes. Elles se mettent en place lorsque deux atomes se partagent une ou plusieurs paires des électrons situés sur leur couche électronique externe (et nommés de ce fait « électrons de valence »). Ce phénomène permet à chacun de ces deux atomes de rétablir un nombre « correct » d'électrons (défini par le nombre de protons contenus dans le noyau atomique). Plus le partage d'électrons entre deux atomes est égal et plus la liaison covalente est forte. Le nombre de liaisons que peut établir un atome donné est déterminé par son nombre d'électrons libres (ou « célibataires »). Pour cette raison, l'atome d'hydrogène ne peut se lier qu'à un seul autre atome tandis que l'atome d'oxygène peut s'associer à deux atomes différents ou que l'atome de carbone peut établir jusqu'à quatre liaisons à la fois ; par exemple, dans la molécule d'eau H₂O, l'atome d'oxygène est lié à



deux atomes d'hydrogène et, dans la molécule de méthane CH₄, l'atome de carbone est lié à quatre atomes d'hydrogène.

LIAISONS IONIQUES

Les liaisons ioniques, qui reposent sur l'échange d'électrons entre deux atomes ionisés, soit entre des atomes ayant un déficit ou un excès d'électrons. C'est le type de liaison qui s'établit lorsque l'atome de chlore Cl attire un électron de valence de l'atome de sodium Na ; le



premier devient alors l'ion Cl⁻, et le second l'ion Na⁺. La liaison ionique

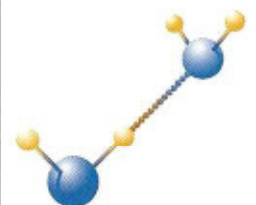
résulte de l'attraction électrostatique entre ces ions de charges opposées. Les liaisons ioniques sont presque aussi fortes que les liaisons covalentes, mais leurs propriétés sont très différentes. Par exemple, la molécule de NaCl (soit de sel) est



un solide blanc et dur à l'air libre mais, en solution dans l'eau, voit ses liaisons se dissoudre... Toutes les liaisons ioniques ne sont pas sensibles à l'eau, mais certaines sont affectées par d'autres conditions environnementales (telles que la température). Par ailleurs, contrairement aux liaisons covalentes, les liaisons ioniques de sont pas orientées dans l'espace.

LIAISONS HYDROGENE

Les liaisons hydrogène, ou polaires, qui sont dues à l'attraction



électrostatique générée lorsque, dans une liaison covalente, la paire d'électrons est attirée davantage par un atome que par l'autre (ce qui entraîne que l'un des atomes devient légèrement négatif tandis que l'autre devient légèrement positif). Ces charges partielles attirent alors d'autres atomes également polarisés, mais de façon beaucoup plus faible que dans le cas des liaisons ioniques. On parle de liaisons hydrogène lorsque la charge partielle positive est portée par cet atome. Dans le cas de l'eau, composée d'atomes d'oxygène et d'hydrogène unis de façon covalente, les liaisons hydrogène sont très nombreuses entre les différents molécules, et elles permettent à l'eau de demeurer liquide à la température ambiante (au contraire de l'ammoniac dont les molécules établissent tellement peu de liaisons entre elles que, dans les conditions de température et de pression usuelles sur Terre, elles sont dispersées sous forme de gaz).

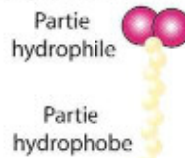
LIAISONS DE VAN DER WAALS

Les liaisons de Van der Waals sont les plus faibles de toutes. Elles

s'établissent entre des atomes neutres mais très proches, à l'occasion d'interactions électrostatiques transitoires provoquées par les mouvements des électrons autour des noyaux atomiques positifs. Dans les macromolécules, leur nombre très élevé leur confère une grande importance.

LIAISONS HYDROPHOBES

Les liaisons hydrophobes, ou apolaires, qui ne sont pas de vraies liaisons mais la conséquence du rejet de molécules apolaires par les molécules polaires. Repoussées, ces molécules apolaires se regroupent entre elles sous forme d'amas. Les molécules totalement apolaires étant rares, on rencontre plus généralement des molécules dites « amphiphiles » présentant une



partie hydrophile et une partie hydrophobe. Lorsqu'elles sont mises en solution dans l'eau, ces molécules amphiphiles génèrent des structures particulières, avec leur partie polaires au contact de l'eau et leur partie apolaire isolée de l'eau ; c'est le cas de la membrane des cellules vivantes, composée par un double feuillet de phospholipides amphiphiles : les bords de ce feuillet sont constitués par les groupements phosphates hydrophiles tandis que son cœur renferme les acides gras hydrophobes.

REPRESENTATIONS DES MOLECULES

D'un point de vue pratique, comment représente-t-on les molécules ? La représentation d'une molécule au moyen de symboles s'appelle sa formule moléculaire.

FORMULES A UNE DIMENSION

La formule brute

Elle ne renseigne que sur le nombre et le type d'atomes compris dans la molécule, ainsi que sur sa charge éventuelle. Ainsi, la formule brute de l'eau est H₂O (un atome d'oxygène et deux d'hydrogène), celle du méthane est CH₄ (un atome de carbone et quatre d'hydrogène) et celle de l'ion nitrate est NO₃⁻ (un atome d'azote, trois d'oxygène et une charge négative).

La formule semi-développée

Elle indique le nombre et la nature des groupements carbone de la

Données moléculaires

V^e siècle avant notre ère
Apparition du concept d'atome.

XVIII^e siècle
Apparition du concept de molécule.

1922



Découverte des macromolécules par Hermann Staudinger.

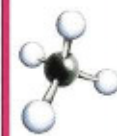
6,022.10²³
Valeur du nombre d'Avogadro qui indique le nombre de molécules contenu dans une mole.

30 000
Une macromolécule de glycogène peut contenir jusqu'à 30 000 molécules de glucose.

5

Nombre de types de liaisons qui existent entre les atomes : liaisons covalentes, ioniques, hydrogènes, de Van der Waals et hydrophobes.

La liaison covalente



La liaison la plus forte

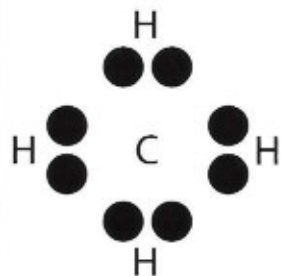
HISTOIRE DE MOLECULES

D'un point de vue historique, le concept d'atome (*atomos* signifiant « qu'on ne peut diviser », en grec) trouve son origine dans la Grèce antique, grâce aux réflexions des philosophes Leucippe et Démocrite (tous les deux nés vers -460 et morts vers -370), qui réduisirent la nature à

molécule, seules les liaisons carbone-carbone étant notées, sous forme d'un trait. Par exemple, la formule semi-développée de l'acide acétique est CH_3COOH .

La formule de Lewis

Elle repose sur le nombre d'électrons célibataires (et, donc, capables d'établir une liaison) de chaque atome. Le carbone ayant 4 électrons célibataires sur sa couche de valence tandis que l'hydrogène n'en a qu'un seul, alors le méthane CH_4 devient :

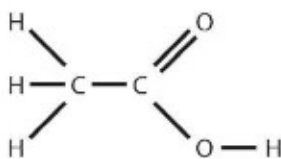


Chaque point représente un électron célibataire.

FORMULES INSCRITES DANS DEUX DIMENSIONS

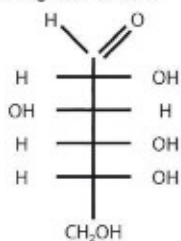
La formule développée

Elle fournit la structure complète de la molécule, avec toutes ses liaisons. Ainsi, la formule développée de l'acide acétique est :



La projection de Fischer

Elle sert surtout à représenter des sucres. Seuls les groupements hydrogène et hydroxyles sont détaillés, de part et d'autre d'une ligne verticale représentant la chaîne carbonée. La formule du glucose est donc :

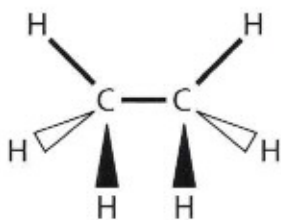


Chaque trait désigne une liaison covalente.

FORMULES TRADUISANT LA NATURE TRIDIMENSIONNELLE DES MOLÉCULES

La formule de Cram

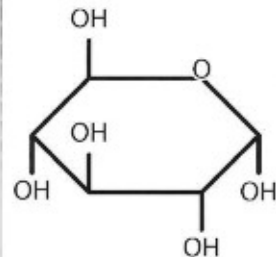
Elle permet de représenter dans l'espace la structure de la molécule. La formule de l'éthane devient de ce fait :



Les traits simples représentent les liaisons dans le plan, tandis que les triangles pleins désignent les liaisons dirigées vers l'avant du plan et les triangles hachurés les liaisons dirigées vers l'arrière du plan (ils sont donc pointés vers celui-ci).

La projection de Haworth

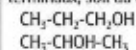
Elle est utilisée pour représenter les molécules cycliques, telles que les sucres. Seuls les groupements hydroxyles sont détaillés. Ainsi, la formule du glucose s'écrit :



ISOMÉRIE ET ÉNANTIOMÉRIE

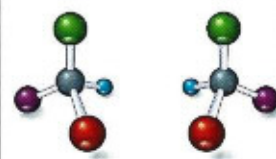
Selon la disposition des groupements fonctionnels d'une molécule autour de la chaîne carbonée, deux molécules peuvent avoir la même formule chimique sans pour autant être identiques. On les nomme alors isomères. On en distingue deux groupes principaux.

• Les isomères de structure (ou de constitution), dont les atomes sont reliés entre eux selon des séquences différentes. Par exemple, dans le cas du propanol, qui comporte trois atomes de carbone et un groupement $-\text{OH}$, celui-ci peut être lié, soit à l'un des carbones terminaux, soit au carbone central :



• Les stéréo-isomères, dont les atomes sont reliés entre eux selon la même séquence mais avec une orientation spatiale différente.

Lorsque deux stéréo-isomères sont images l'un de l'autre mais ne sont pas superposables, ils sont dits **énantiomères**.



L'isomérisation est un paramètre crucial à prendre en compte, deux isomères d'une même molécule pouvant présenter des propriétés radicalement différentes. Lorsqu'un mélange est composé de plusieurs isomères d'une molécule donnée, on parle de mélange racémique.

LES MOLÉCULES DANS TOUS LEURS ÉTATS

ÉTATS GAZEUX, LIQUIDE ET SOLIDE

La force avec laquelle les molécules interagissent détermine l'état de la matière.

• À l'état gazeux, les molécules sont très faiblement liées. Elles se dispersent alors dans tout l'espace disponible en

créant un corps dépourvu de forme particulière.

• À l'état **liquide**, les molécules sont



faiblement liées, mais pas aussi faiblement que dans le cas des gaz. Elles constituent donc un corps déformable, mais possédant une certaine consistance.

• À l'état solide, les molécules sont fortement unies par des liaisons covalentes ou ioniques et sont donc incapables de s'éloigner les unes des autres. Cela confère au solide une forme et un volume propre.

LE MOUVEMENT BROWNIEN

Sauf au zéro absolu (-273°C), les molécules sont constamment en agitation. Ce phénomène a été observé pour la première fois au XIX^{e} siècle par le botaniste écossais **Robert Brown**,



lors de l'examen au microscope d'une goutte d'eau prisonnière depuis des millions d'années dans un morceau de lave ; cette goutte, totalement isolée du monde extérieur, contenait des particules animées d'un mouvement aussi permanent qu'aléatoire. Ce mouvement était en fait dû à une autre agitation, soit celle des molécules composant l'eau.

L'importance du mouvement brownien dépend beaucoup de l'espacement entre les molécules. Ainsi, son ampleur est bien plus importante dans le cas des gaz, dont les molécules sont indépendantes et très espacées, que dans le cas des liquides (et, à plus forte raison, des solides). Ce mouvement dépend également des conditions physiques de température et de pression.

INTERACTIONS ENTRE MOLÉCULES

Lorsque des molécules interagissent, elles créent une réaction chimique. Certaines molécules, dites « réactifs », sont modifiées pour donner des « produits ». Ces réactions peuvent générer de l'énergie (elles sont alors exothermiques), ou bien au contraire en nécessiter (elles sont alors endothermiques). Certaines réactions transforment totalement les molécules (voire les détruisent), alors que d'autres, telles que les réactions d'oxydoréduction, se contentent de transférer des électrons.

LES BIOMOLÉCULES

Les biomolécules sont les molécules indispensables au fonctionnement des cellules vivantes. Il en existe quatre classes.

PEPTIDES ET PROTÉINES

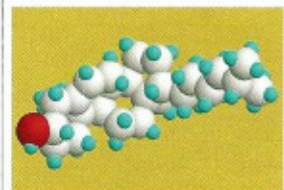
Les peptides et les protéines sont constitués par des chaînes plus ou moins longues d'acides aminés, reliés par des liaisons covalentes. Les peptides et protéines jouent dans la cellule des rôles divers et variés, puisqu'ils peuvent en effet être :

- des enzymes accélérateurs de réactions chimiques,
- des transporteurs chargés du passage d'autres molécules de part et d'autre de la membrane cellulaire,
- des acteurs de la défense immunitaire,
- des hormones assurant la transmission de l'information d'un point de l'organisme à un autre,
- des protéines appartenant à des cascades de signalisation intracellulaire,
- des récepteurs transmembranaires,
- des constituants tissulaires (telle la kératine des cheveux, des poils et des ongles),
- des transporteurs d'autres molécules (comme les produits sanguins),
- des éléments du cytosquelette.

LIPIDES

Les lipides sont formés d'une charpente carbonée et de groupements hydrophobes. Ils comprennent les acides gras, les glycérides, les stéroïdes, etc. Leurs fonctions sont nombreuses, puisqu'ils peuvent servir :

- de constituants principaux des membranes cellulaires, tels les phospholipides, les glyco-phospholipides ou le **cholestérol**



(celui-ci étant chargé d'augmenter la rigidité de certains tissus biologiques, comme la paroi des vaisseaux sanguins).

- de réserves énergétiques car, stockés dans les cellules adipeuses sous forme de triglycérides (soit une molécule de glycérol liée à trois molécules d'acides gras), leur dégradation par le métabolisme fournit à l'organisme sa principale source d'énergie.
- de précurseurs à l'élaboration de certaines hormones, telles que l'oestradiol, la testostérone, la progestérone...
- de messagers intercellulaires, dans le cas des stéroïdes.
- de messager intracellulaire, dans le cas de l'inositol-3-phosphate, qui joue un rôle crucial dans bon nombre de cascades de signalisation.

GLUCIDES

Les glucides (ou « oses ») comprennent un squelette carboné, une ou plusieurs fonctions alcool et une fonction aldéhyde ou cétone. En fonction de leur nombre d'atomes de carbone, ils sont classés en trioses (glycéraldéhyde, hydroxyacétone...), en tétroses (érythrose, thréose...), en pentoses (ribose, désoxyribose...), en hexoses (glucose, fructose...), en heptoses ou en octoses ; certains sucres, tels le saccharose ou le lactose, comptent 12 atomes de carbone et d'autres, comme la cellulose ou l'amidon, plus encore.

Dans l'organisme, les sucres peuvent être :

- des réserves énergétiques, comme dans le cas du glucose polymérisé en glycogène chez les animaux, et du maltose polymérisé en amidon chez les végétaux.
- des constituants tissulaires, tels que la cellulose rigidifiant la paroi cellulaire des végétaux ou l'acide hyaluronique présent dans les tissus conjonctifs des animaux.
- des composants de macromolécules, notamment dans le cas du ribose et du désoxyribose de l'ARN et de l'ADN.
- des éléments de reconnaissance cellulaire, à l'instar des sucres à l'origine des groupes sanguins.

ACIDES NUCLÉIQUES

Les acides nucléiques, qui se répartissent en deux groupes.

L'ADN

L'ADN (ou acide désoxyribonucléique), enfermé dans le noyau des cellules et qui représente le support moléculaire de l'information génétique. La molécule d'ADN est une **double hélice**, dont



chaque brin, ou chromatide, est une succession de nucléotides ; chaque nucléotide comprend un sucre (le désoxyribose), une base azotée et un groupement phosphate. Les molécules d'ADN peuvent atteindre jusqu'à 1 m de long, aussi sont-elles enroulées afin de tenir dans le noyau, dont le diamètre n'excède pas 20 µm ! Cependant, certaines portions sont décondensées, puis re-condensées par des enzymes lors de la réplication ou de la transcription.

L'ARN

ARN (ou acide ribonucléique), qui peut être :

- de l'ARN messager (noté ARNm), soit une « copie » presque conforme (à une base près) d'un gène. Il est obtenu par un processus nommé transcription. C'est cet ARNm qui va ensuite être traduit en protéine.
- de l'ARN de transfert (noté ARNt), dont le rôle est d'acheminer les acides aminés jusqu'aux ribosomes, où a lieu la traduction en protéine.
- de l'ARN ribosomal (noté ARNr), qui, associé à des protéines, constitue les ribosomes. Ces derniers sont responsables de l'assemblage des acides aminés en protéines.
- de l'ARN interférent, chargé de dégrader des ARNm spécifiques.

LES SUBSTANCES NON MOLÉCULAIRES

Les substances non-moléculaires sont les suivantes :

- les substances ioniques, dans lesquelles les atomes ne sont liés entre eux que par des forces ioniques.
- les métaux, dont la cohésion des atomes est assurée par des liaisons métalliques.