



# Cours Galien.

## *UE6 Structure et fonction de la cellule eucaryote*

Structure de la cellule

Polycopié 1/2





Astuce  
Moyen mnémotechnique  
Pour information



Matière à raisonnement / à réflexion  
Raisonnement à connaître



Matière à par cœur  
Notion à savoir par cœur



Notion qui tombe régulièrement en épreuve



Notion nouvelle par rapport au cours de l'an dernier



## Table des matières

<b>LES MOLECULES DU VIVANT .....</b>	<b>6</b>
I. INTRODUCTION.....	7
A. CHIMIE DU VIVANT .....	7
B. QUELQUES DÉFINITIONS.....	7
1. Matière .....	7
2. Atome .....	7
II. LES ATOMES : CONSTITUANTS DES CELLULES .....	8
A. NOTION D'ATOME .....	8
1. Noyau.....	8
2. Électrons .....	9
3. Neutrons.....	9
B. LES ISOTOPES.....	9
C. ÉLÉMENTS NATURELS .....	10
D. NOTION DE MOLÉCULE .....	11
III. LES INTERACTIONS ENTRE LES ATOMES.....	11
A. PROPRIÉTÉS DES ÉLECTRONS.....	11
B. COUCHES ÉLECTRONIQUES.....	11
1. Remplissage des couches électroniques.....	11
2. Stabilité et réactivité chimique .....	12
C. LES ÉCHANGES D'ÉLECTRONS .....	13
D. CLASSIFICATION PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS .....	14
E. LA LIAISON HYDROGÈNE .....	14
1. Propriétés de l'eau .....	14
2. Conséquences de la liaison hydrogène .....	15
F. LES ACIDES ET LES BASES.....	16
1. Acides.....	16
2. Bases .....	17
IV. MOLÉCULES PRÉSENTES DANS LES CELLULES.....	17
A. GROUPEMENTS PRÉSENTS DANS LES MOLÉCULES ORGANIQUES.....	17
B. PRINCIPALES FAMILLES DE PETITES MOLÉCULES ORGANIQUES .....	18
1. Glucides .....	18
2. Acides gras.....	19
3. Acides aminés .....	20
4. Nucléotides.....	21
C. CONCLUSION .....	23

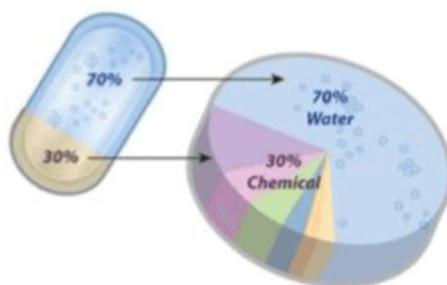
# LES MOLECULES DU VIVANT

## I. INTRODUCTION

### A. CHIMIE DU VIVANT

Les organismes vivants obéissent aux lois de la physique et de la chimie mais la chimie des organismes présente quelques particularités :

- Elle repose en grande partie sur les **composés carbonés** (*étudiés en chimie organique*).
- Elle dépend des **réactions chimiques** qui se font en **solutions aqueuses** car les cellules sont composées à 70% d'eau.
- Elle est d'une **grande complexité** puisque même la chimie de la plus simple des cellules est beaucoup plus complexe que n'importe quel autre système chimique connu.



### B. QUELQUES DÉFINITIONS

#### 1. Matière

**Association d'éléments qui ne peuvent être ni dégradés, ni transformés en d'autres éléments par des moyens chimiques.**

#### 2. Atome

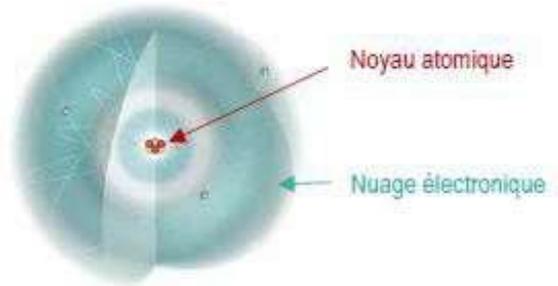
**Plus petite particule élémentaire qui conserve ses propriétés chimiques particulières.**

La manière dont les atomes sont reliés en groupes pour former des molécules va définir les caractéristiques des substances constituant les cellules vivantes. Il est donc nécessaire de savoir comment les liaisons chimiques maintiennent ensemble les atomes dans les molécules pour comprendre la construction des organismes vivants, à partir de matières inanimées.

## II. LES ATOMES : CONSTITUANTS DES CELLULES

### A. NOTION D'ATOME

Un atome est constitué d'un **noyau** entouré à une certaine distance d'un nuage d'électrons. La position exacte des électrons dans le nuage électronique ne peut pas être donnée.



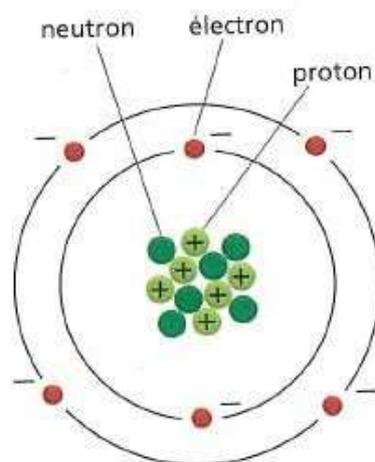
Dans un atome, il y a autant de protons que d'électrons, il est donc **électriquement neutre** puisque la charge d'un électron est exactement égale et opposée à celle d'un proton. Le **numéro atomique** d'un élément (=nombre de protons = nombre d'électrons) est **fixe**. Il va définir le **comportement chimique des atomes**.

#### 1. Noyau

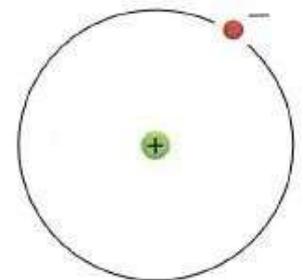


Le noyau est **chargé positivement** et contient l'**essentiel de la masse de l'atome** bien qu'il soit **beaucoup plus petit que le nuage électronique**. Par exemple, le diamètre du noyau de l'atome de carbone (C) est de  $2 \cdot 10^{-3}$  nm. Le noyau est constitué de **2 types de particules** dites **sous-atomiques** :

- Les **protons** : chargés positivement ;
- Les **neutrons** : électriquement neutres ;



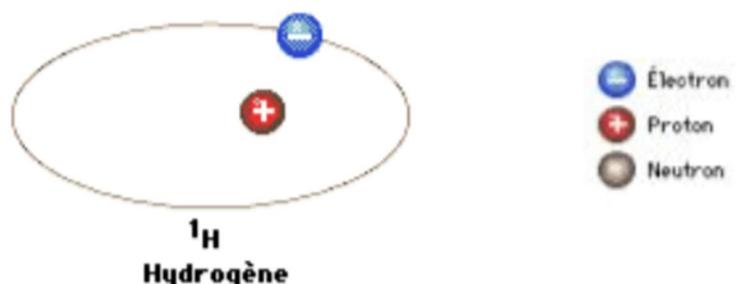
atome de carbone  
numéro atomique = 6  
poids atomique = 12



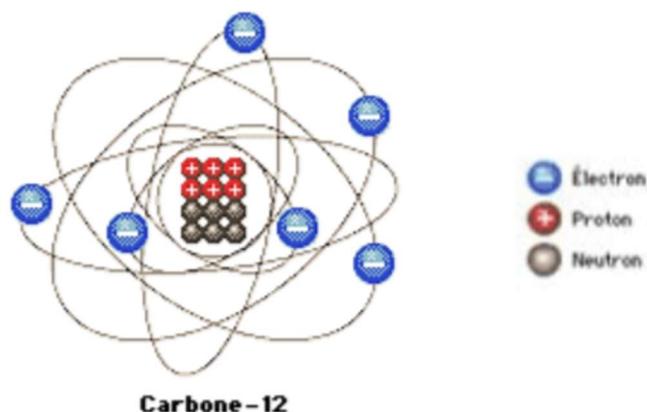
atome d'hydrogène  
numéro atomique = 1  
poids atomique = 1

Le **nombre de protons** présents dans un noyau détermine son **numéro atomique**.

Le noyau d'un atome d'hydrogène est composé d'un seul proton, l'hydrogène a donc un numéro atomique de 1. Il est le plus léger des éléments



Le noyau d'un atome de carbone est composé de 6 protons. Le carbone a un numéro atomique de 6.



## 2. Électrons

Les électrons, beaucoup plus légers que le noyau, sont **chargés négativement**. Ils sont maintenus en **orbite autour du noyau** grâce leur **attraction électrostatique au noyau**. Ils occupent l'espace autour du noyau selon les lois de la mécanique quantique.

Les électrons sont représentés comme un **nuage continu** car il n'y a aucun moyen de prédire exactement la place d'un électron à un moment donné. L'ombre plus ou moins dense du nuage est une indication de la **probabilité** de trouver des électrons à un endroit donné

Le **diamètre du nuage électronique varie d'un atome à un autre**. Il peut aller de 0,1 nm pour l'atome d'hydrogène (le plus petit et le plus léger des éléments) à 0,4 nm pour les atomes de grand numéro atomique.

## 3. Neutrons

Les neutrons sont des particules sous-atomiques **non chargées**, dont leur masse est équivalente à celle des protons. Ils contribuent à la **stabilité structurale du noyau sans modifier les propriétés chimiques** de l'atome. Par conséquent, un même élément peut avoir un nombre **variable** de neutrons, ces éléments sont appelés **isotopes**. Ils sont **chimiquement identiques** mais présentent des **formes physiques distinctes**.



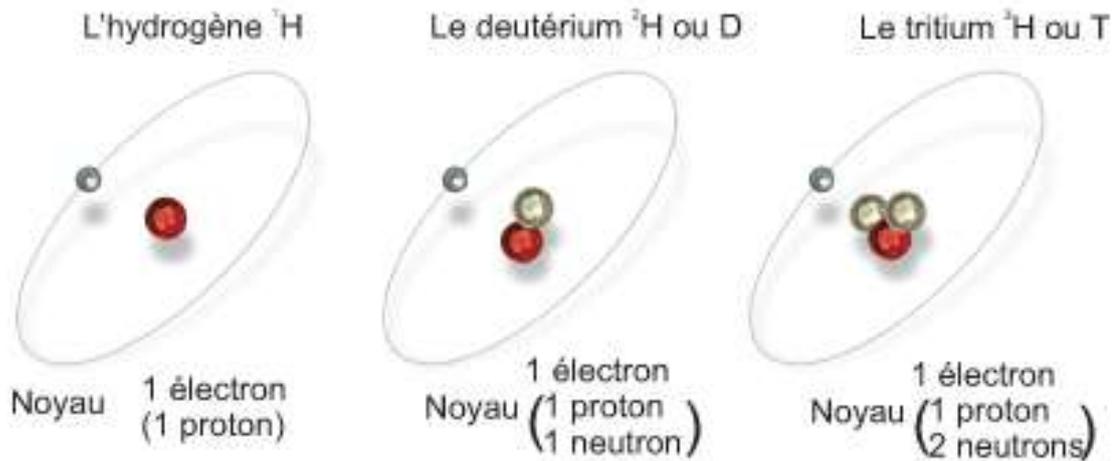
### B. LES ISOTOPES

Les isotopes ont le même nombre de protons mais un nombre de neutrons différents. Il existe des **isotopes naturels** pour presque tous les éléments mais **certains sont instables**. Plus un isotope possède de neutrons, plus sa masse augmente. En effet la masse du neutron est pratiquement équivalente à la masse d'un proton.

Exemples :

- **L'hydrogène**  $^1\text{H}$ , le plus répandu, possède 1 proton, le **deutérium**  $^2\text{H}$  possède 1 proton et 1 neutron et le **tritium**  $^3\text{H}$  possède 1 proton et 2 neutrons.

### Les isotopes



- Les isotopes du carbone ont tous 6 protons mais le carbone  $^{12}\text{C}$  a 6 neutrons, le  $^{13}\text{C}$  en a 7 et le  $^{14}\text{C}^*$  en a 8. Le  $^{14}\text{C}^*$  est instable dans le temps, il est **radioactif** et va donc subir une dégradation radioactive lente et régulière.



## C. ÉLÉMENTS NATURELS

Seulement 4 éléments représentent plus de **95%** du poids d'un organisme humain :

- **Hydrogène (H) ;**
- **Oxygène (O) ;**
- **Carbone (C) ;**
- **Azote (N) ;**

L'organisation d'un organisme humain est différente de celle des organismes non vivants de l'environnement.

## D. NOTION DE MOLÉCULE

Les entités chimiques qui nous forment sont des **molécules**, c'est-à-dire une **combinaison d'éléments**. De manière générale, il s'agit d'au moins **2 éléments, identiques ou non**.

Exemples :

- Molécules formées d'éléments identiques :  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $N_2$  ...
- Molécules formées d'éléments différents :  $H_2O$ ,  $H_2S$ ,  $CH_3COOH$  ...

Pour former les molécules, des **interactions** de différentes forces se créent entre les atomes.



## III. LES INTERACTIONS ENTRE LES ATOMES

Les interactions existantes entre les atomes vont être déterminées par la **couche externe des électrons**.

### A. PROPRIÉTÉS DES ÉLECTRONS

Dans les tissus vivants, seuls les électrons des atomes subissent des réarrangements. En effet, ils représentent la **partie accessible de l'atome** et déterminent les règles de chimie permettant la **formation des molécules** par combinaison des atomes.

Les électrons sont continuellement en mouvement **autour du noyau**, au niveau de régions définies appelées **orbitales**. Une orbite donnée est occupée par un nombre limite stricte d'électrons, il s'agit d'une **couche électronique**.

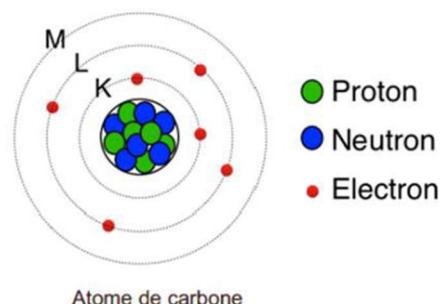
### B. COUCHES ÉLECTRONIQUES

Les couches électroniques obéissent à différentes règles.

#### 1. Remplissage des couches électroniques



Les électrons les plus proches du noyau occupent la **couche interne (K)**. Ces électrons vont être très attirés par le noyau. La **seconde couche (L)** est un peu plus loin du noyau, ses électrons sont donc moins solidement liés. La **troisième couche (M)** est encore plus éloignée du noyau et ses électrons sont donc moins attirés par lui.



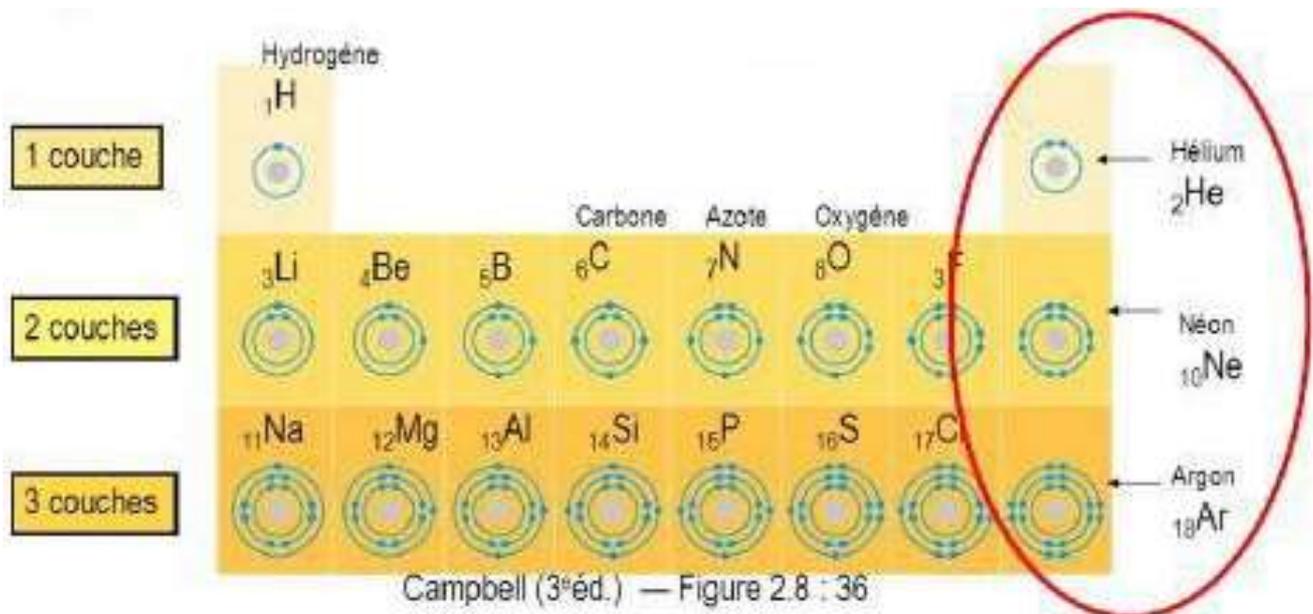
Ces couches peuvent accueillir un nombre précis d'électrons :

- **Couche K : 2 électrons ;**
- **Couche L : 8 électrons ;**
- **Couche M : 8 électrons ;**

Il existe une quatrième et une cinquième couche mais elles sont extrêmement rares dans les atomes constituant les molécules biologiques.

## 2. Stabilité et réactivité chimique

Dans un atome, l'**organisation la plus stable** des électrons correspond au **remplissage des couches les plus internes**, c'est-à-dire lorsqu'ils sont tous fortement attirés par le noyau. Sauf rares exceptions, les électrons vont remplir les couches électroniques dans l'ordre (K, L, M...).



Lorsque la couche externe d'un atome est complète, cet atome est **stable** et **peu réactif** chimiquement. C'est le cas des **gaz inertes** tels que l'hélium (He), le néon (Ne), l'argon (Ar), qui se situent dans la **dernière colonne du tableau périodique**.

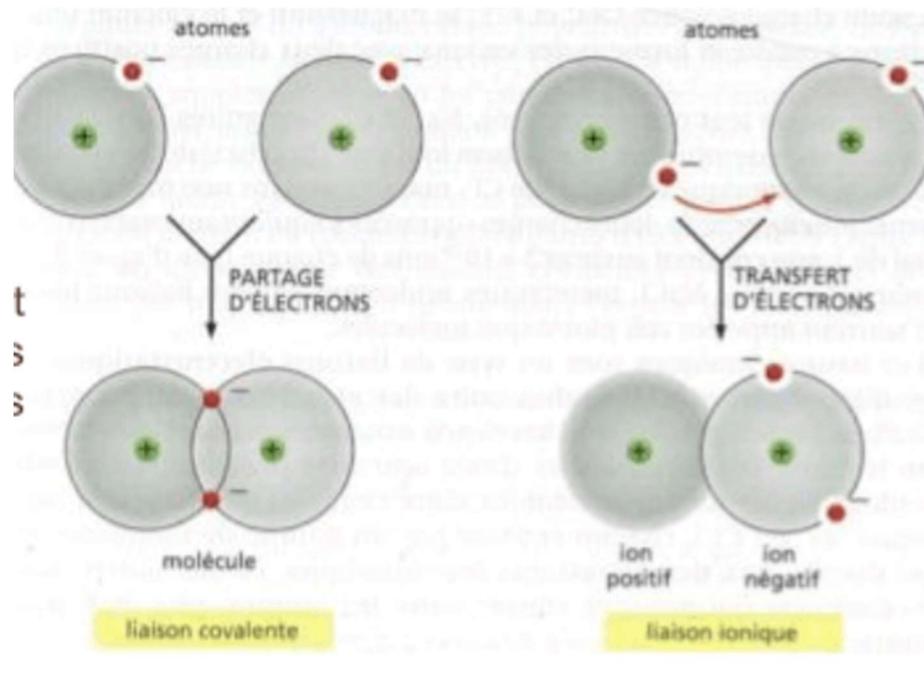
En ce qui concerne l'hydrogène (H), il a un seul électron, sa couche externe (K) est donc à moitié remplie, ce qui lui confère une grande réactivité.

Dans les tissus, les atomes présents ont des **couches externes incomplètes** et sont donc **capables d'interactions** pour **former des molécules**. Ces atomes vont en effet pouvoir gagner ou perdre des électrons afin d'obtenir une couche externe complète. La **réactivité chimique** d'un élément va donc dépendre du **remplissage de sa couche externe d'électrons**.

## C. LES ÉCHANGES D'ÉLECTRONS

Les atomes possédant une couche **électronique externe incomplète** vont pour pouvoir **gagner ou perdre des électrons** en interagissant avec d'autres atomes. Ces échanges d'électrons vont permettre aux atomes d'obtenir une **couche externe complète**, ils se font :

- Par **transfert** d'électrons d'un atome à un autre induisant la formation d'une **liaison ionique** entre **2 ions (+ et -)**. La liaison ionique n'est pas une liaison covalente, il s'agit d'une interaction entre un cation (+) et un anion (-) qui s'attirent l'un l'autre par **attraction électrostatique**.
- Par **mise en commun** d'électrons entre 2 atomes induisant la formation d'une **molécule** où les 2 atomes sont liés par une **liaison covalente** qui est généralement **polaire**. En effet, certains atomes vont attirer les électrons plus fortement que d'autres.



Dans les cellules, certains atomes forment fréquemment des liaisons covalentes en complétant leur couche externe, c'est le cas notamment de :

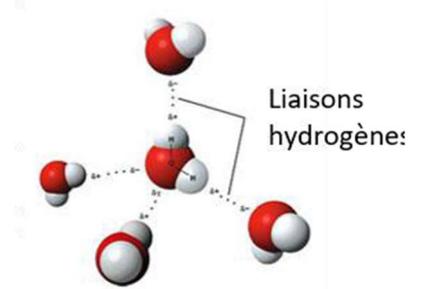
- **H**, dont la 1<sup>ère</sup> couche est incomplète ;
- **C**, **N** et **O** dont la 2<sup>ème</sup> couche est incomplète ;
- **P** et **S** dont la 3<sup>ème</sup> couche est incomplète ;

Le **nombre de liaisons** que peut réaliser un atome dépend du **nombre d'électrons qu'il peut perdre ou gagner** pour obtenir une couche externe complète. Les **propriétés chimiques** d'un élément sont donc déterminées par sa **couche électronique externe**.



Quand une région chargée positivement d'une molécule d'eau vient au contact d'une région chargée négativement d'une autre molécule, l'attraction électrique permet d'établir une **liaison hydrogène**, il s'agit d'une **liaison faible**.

Les liaisons hydrogènes sont beaucoup plus faibles que les liaisons covalentes, elles peuvent être rompues par les chocs thermiques aléatoires dus à l'énergie thermique de la molécule. Chaque liaison ne dure que pendant un temps extrêmement court.



Chaque molécule d'eau peut former **4** liaisons hydrogènes (2 par les atomes H et 2 avec l'atome O) cela permet la formation d'un réseau dans lequel les liaisons hydrogènes sont continuellement formées et détruites. Ce réseau permet à l'eau d'être liquide à température ambiante.

## 2. Conséquences de la liaison hydrogène

---

Les molécules contenant des **liaisons polaires**, comme les alcools, peuvent former des liaisons hydrogènes et se mélangent bien à l'eau. Les ions se dissolvent facilement dans l'eau. Ces molécules sont dites **hydrophiles** (sucres, ADN, ARN, majorité des protéines...).

Les molécules **non chargées** forment peu ou pas de liaisons hydrogènes et ne sont donc pas solubles dans l'eau, elles sont dites **hydrophobes**.

Par exemple, dans les hydrocarbures, les atomes d'hydrogène sont liés aux atomes de carbone par des liaisons covalentes apolaires, la formation de liaisons hydrogènes avec d'autres molécules n'est donc pas possible. Ces propriétés sont retrouvées notamment dans les membranes cellulaires qui sont constituées de molécules possédant de longues **queues hydrocarbonées hydrophobes** et d'une **tête hydrophile polaire**.

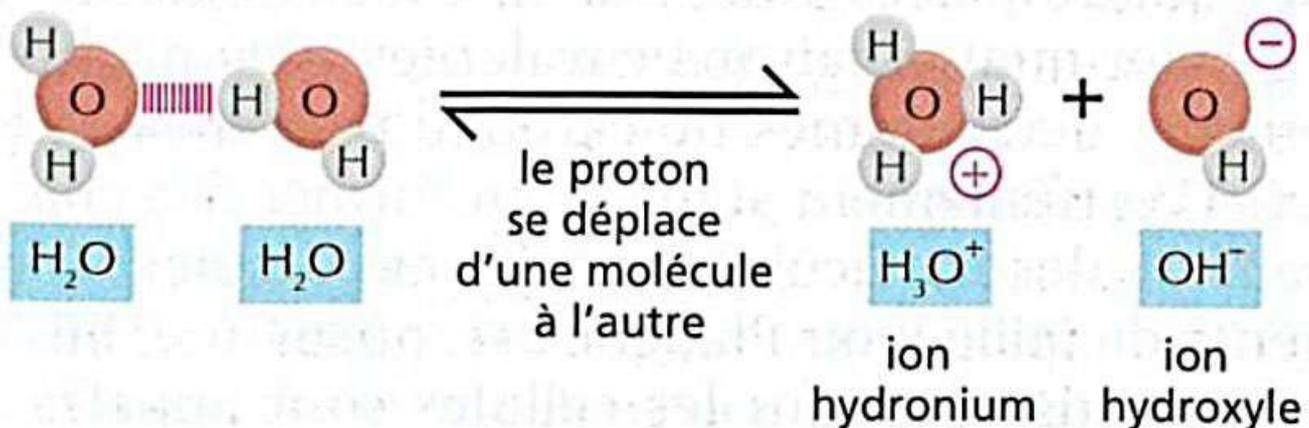
## F. LES ACIDES ET LES BASES

L'intérieur de la cellule est maintenu proche de la neutralité (sauf exceptions). Il est important de noter que, dans l'eau, certaines molécules polaires forment des acides ou des bases.

### 1. Acides

La dissolution dans l'eau d'une molécule qui possède une liaison covalente très polaire entre un atome d'hydrogène et un autre atome va entraîner différentes choses :

- L'atome d'hydrogène a presque entièrement abandonné son électron à l'autre atome et devient le **proton  $H^+$**  ;
- L'ion  $H^+$  est attiré par la charge négative partielle de l'atome d'oxygène d'une molécule d'eau voisine et peut se dissocier en **ion  $H_3O^+$** . La réaction inverse se fait aussi facilement. Il y a donc un équilibre dans lequel les protons vont constamment d'une molécule d'eau à une autre.



- Les substances qui libèrent des protons en solution aqueuse en formant des ions  $H_3O^+$  sont appelés des **acides**.

Dans une solution, plus la concentration en  $H_3O^+$  est élevée, plus la solution est acide (la concentration en  $H^+$  est souvent utilisée à la place de la concentration en  $H_3O^+$ ). La concentration en  $H_3O^+$  de l'eau pure est exprimée à l'aide d'une échelle logarithmique appelée **échelle de pH**.

Exemple : L'eau pure a un pH de 7, elle n'est ni acide, ni basique, on dit qu'elle est **neutre**. **L'opposé d'un acide est une base**.

## 2. Bases

Une base est une molécule capable d'**accepter un proton**, elle augmente la concentration en ion hydroxyle ( $\text{OH}^-$ ) en enlevant un proton à une molécule d'eau. Par conséquent, la concentration en  $\text{H}_3\text{O}^+$  se voit diminuer. Une solution d'eau pure contient donc une concentration égale de  $\text{OH}^-$  et de  $\text{H}_3\text{O}^+$  ( $10^{-7}$  mol/L) et est donc neutre. Sauf exceptions, c'est aussi le cas de l'intérieur de la cellule dont le pH est maintenu proche de la neutralité.

Exemple : La soude ( $\text{NaOH}$ ) est basique parce qu'elle se dissocie en solution aqueuse en ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{OH}^-$ .

### IV. MOLÉCULES PRÉSENTES DANS LES CELLULES

Une cellule est constituée de **composés carbonés**. En dehors de l'eau, le **carbone (C)** est l'**élément majeur** de presque toutes les molécules d'une cellule et est capable de former de grandes molécules. En effet, comme le carbone est petit et qu'il possède **4 électrons sur sa couche externe** (et 4 places vacantes), il va être capable de former 4 liaisons covalentes avec d'autres atomes, identiques ou non.

De plus, la liaison covalente entre 2 atomes de carbone est extrêmement stable et ces liaisons vont permettre la **formation de chaînes et de cycles**, à l'origine de **grandes molécules complexes**, sans limite supérieure apparente de taille.

Dans les cellules, les **composés carbonés** sont appelés **molécules organiques**. Par opposition, toutes les autres molécules (l'eau y compris) sont dites inorganiques.



#### A. GROUPEMENTS PRÉSENTS DANS LES MOLÉCULES ORGANIQUES

Certains groupements sont retrouvés de manière répétée dans les molécules organiques :

- **Méthyle (-CH<sub>3</sub>)**
- **Hydroxyle (-OH)**
- **Carboxyle (-COOH)**
- **Carbonyle (-C=O)**
- **Phosphoryle (-PO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)**
- **Amine (-NH<sub>2</sub>)**

Ces groupements ont tendance à perdre ou gagner des protons selon les molécules avec lesquelles ils interagissent. Chaque groupement présente donc des **propriétés chimiques et physiques** distinctes qui vont influencer le **comportement des molécules** qui les contiennent.

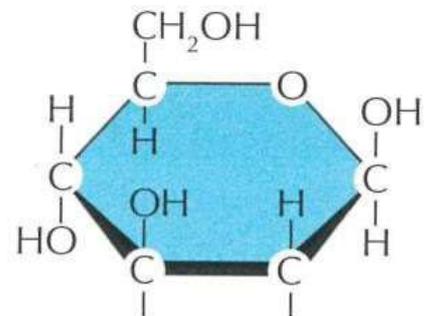
## B. PRINCIPALES FAMILLES DE PETITES MOLÉCULES ORGANIQUES

Dans la cellule, toutes les molécules organiques sont composées à partir du même ensemble de composés simples puis sont dégradées en ces mêmes composés. Les cellules contiennent **4 familles** de petites molécules organiques :

- Les **glucides (= sucre)** ;
- Les **acides gras** ;
- Les **acides aminés** ;
- Les **nucléotides**.

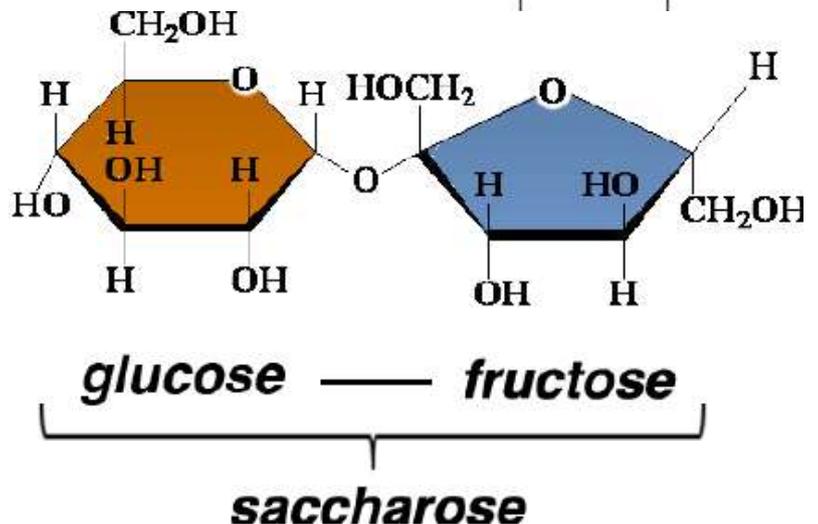
### 1. Glucides

Les sucres les plus simples sont les **monosaccharides** dont la formule générale est  $(\text{CH}_2\text{O})_n$  avec  $n = 3, 4, 5$  ou  $6$  de manière générale. Les glucides et les molécules qui en contiennent sont appelés **hydrates de carbone**.



Exemple du glucose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) :

Un **disaccharide** est constitué de **2 monosaccharides** reliés par une **liaison glycosidique** (liaison covalente).



Exemple du saccharose : 1 glucose + 1 fructose

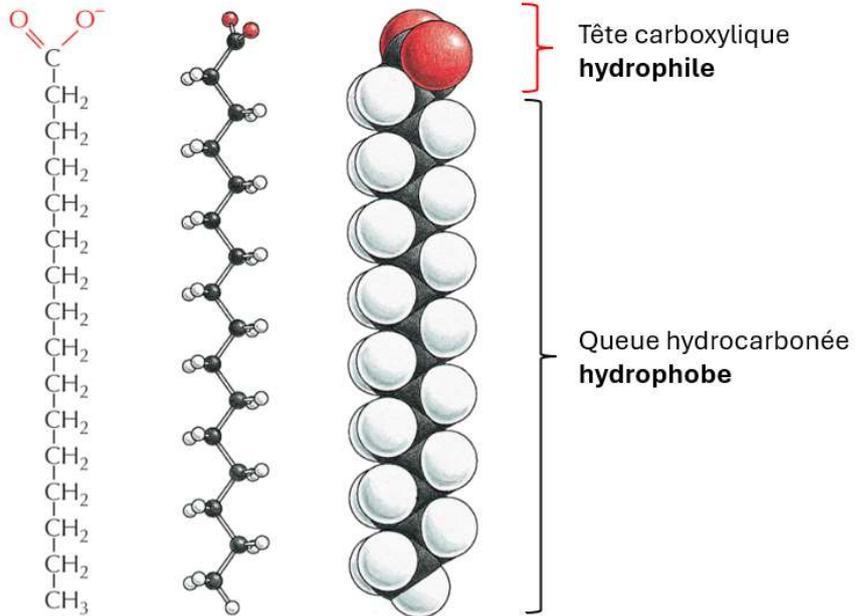
Plusieurs monosaccharides peuvent former des liaisons glycosidiques entre eux pour former des **polymères** appelés **oligosaccharides** (entre 3 et 50 monomères environ) ou **polysaccharides** qui peuvent contenir des centaines, voire des milliers de sous-unités. De plus, les oligosaccharides peuvent se lier aux protéines ou aux lipides pour former des **glycoprotéines** ou des **glycolipides** respectivement.

## 2. Acides gras

Les acides gras composent les membranes cellulaires, ils se composent de **2 régions distinctes** :

Une **longue chaîne hydrocarbonée hydrophobe** et peu réactive chimiquement ;

Un **groupement carboxyle -COOH** se comportant comme un acide (carboxylique), il est ionisé en solution pour former le groupement  $\text{COO}^-$ , **extrêmement hydrophile** et chimiquement réactif ;



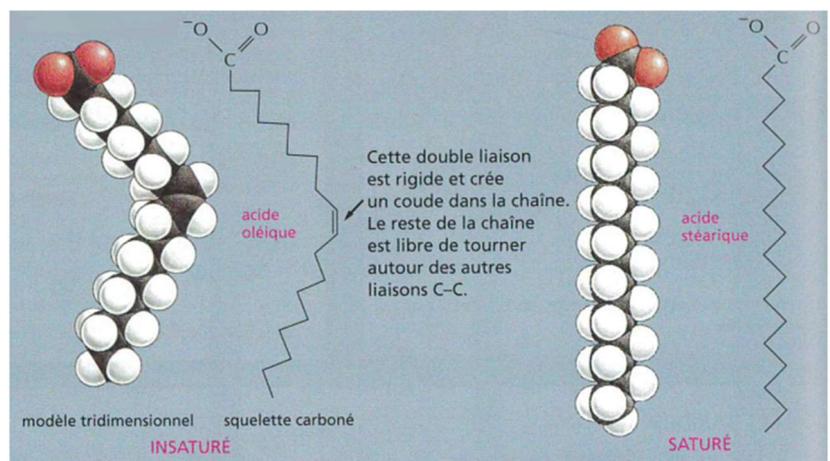
Presque toutes les molécules d'acides gras de la cellule sont liées de manière covalente à d'autres molécules *via* leur groupement carboxylique.

Les acides gras sont donc des molécules **amphiphiles** ou **amphipathiques**, c'est-à-dire qu'elles possèdent une région hydrophobe et une région hydrophile. Les propriétés chimiques des lipides dépendent des **chaînes latérales** d'acides gras qu'ils portent.

Les acides gras sont dits **saturés** ou **insaturés** en **absence** ou en **présence** de **double liaison C=C** respectivement. Les acides gras peuvent présenter **plusieurs doubles liaisons**, dans ce cas ils sont dits **polyinsaturés**. Les doubles liaisons produisent des **coudes** dans les chaînes hydrocarbonées. Ces coudes donnent des structures plus volumineuses qui ne pourront pas s'entasser autant que les acides gras saturés. Or, la **fluidité de la membrane** dépend de l'entassement des acides gras. Par conséquent, la structure des acides gras aura un impact sur la fluidité membranaire.

Les acides gras présents dans les cellules diffèrent entre eux par :

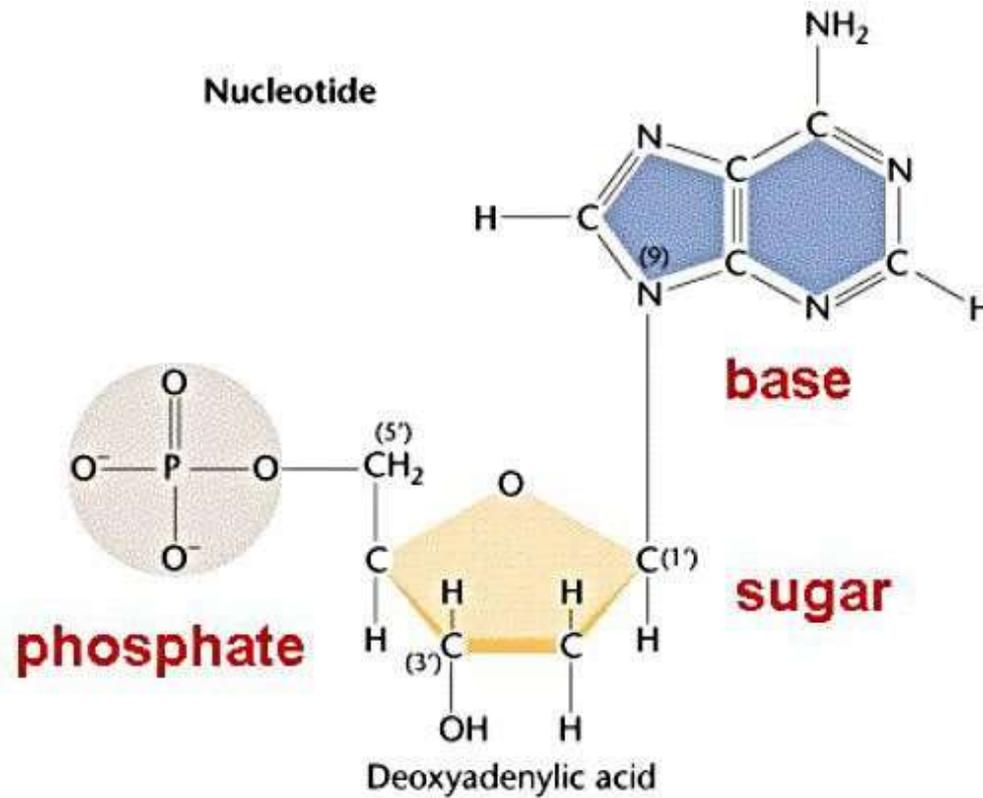
- La **longueur de la queue hydrocarbonée** ;
- Le **nombre** de doubles liaisons ;
- La **position** des doubles liaisons ;





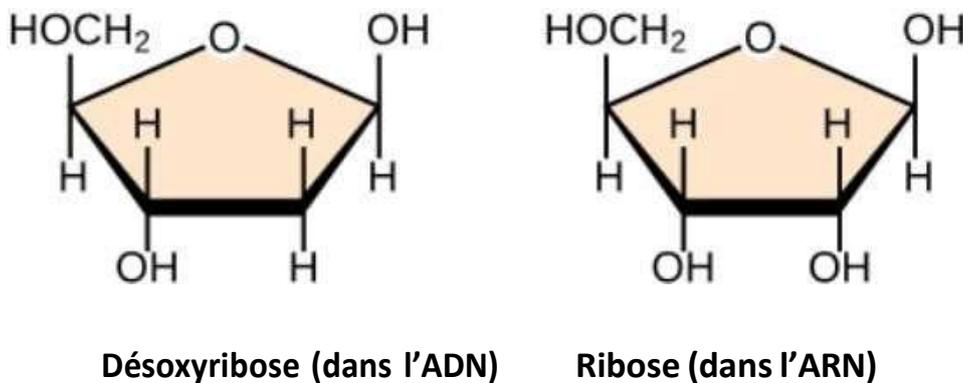
#### 4. Nucléotides

Un nucléotide est un **nucléoside** lié à un ou plusieurs **groupements phosphate**. Un nucléoside est une molécule composée d'un **cycle azoté (= base)** lié à un **sucres à 5 carbones** : le **ribose** ou le **désoxyribose**.



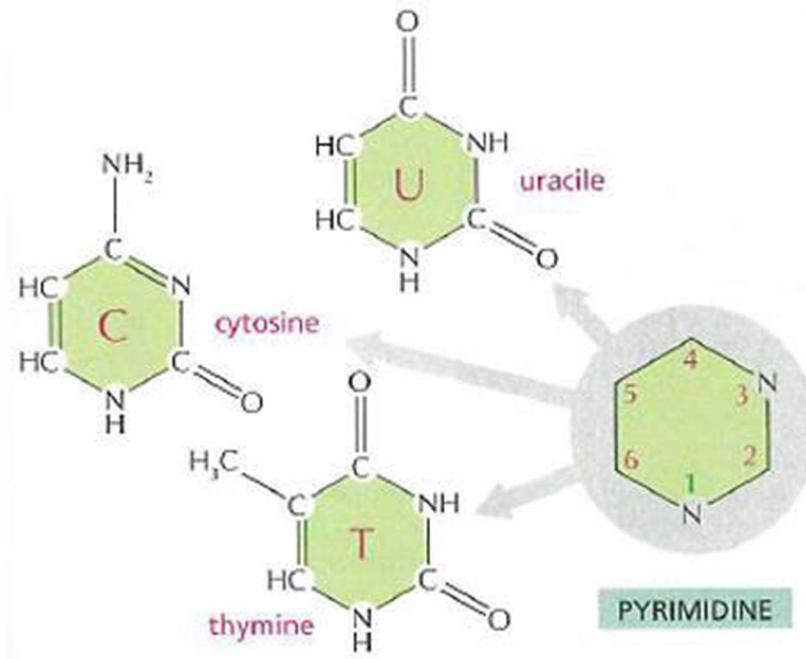
Nucléotide = nucléoside + phosphate

Il existe 2 **types de nucléotides**, les **ribonucléotides** et les **désoxyribonucléotides** qui contiennent respectivement du ribose ou du désoxyribose.

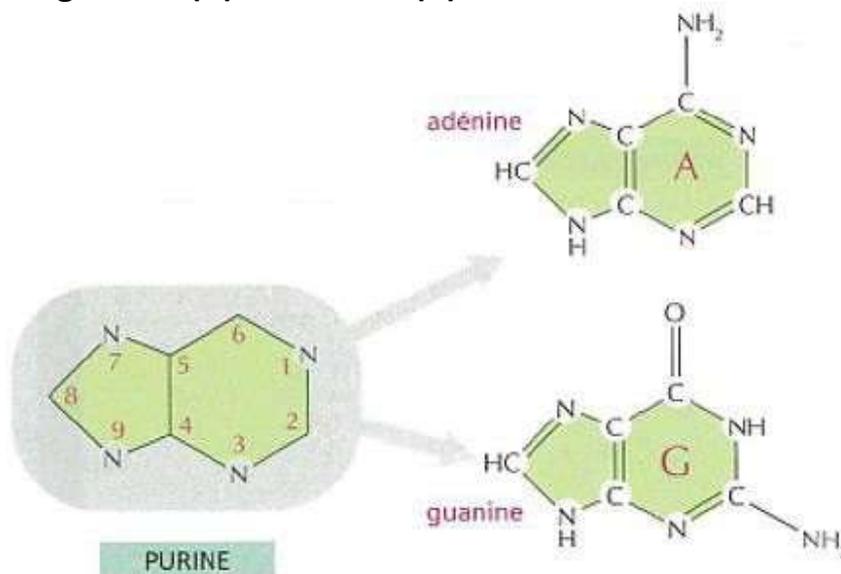


Les **bases** sont regroupées en **2 familles** :

- Les **pyrimidines** qui dérivent d'un cycle à 6 atomes de carbone : **cytosine (C)**, **thymine (T)** et **uracile (U)**



- Les **purines** qui présentent un second cycle à 5 atomes de carbone lié au noyau pyrimidique : **guanine (G)** et **adénine (A)**



Les nucléotides forment les acides nucléiques qui sont de longs polymères dans lesquels les nucléotides sont liés de manière covalente par des liaisons phosphodiester. Il existe 2 types d'acides nucléiques qui diffèrent selon la structure de leur sucre.

Il s'agit des **acides ribonucléique** (ARN) et **désoxyribonucléique** (ADN) qui contiennent du ribose et du désoxyribose respectivement.

Dans la cellule, ces nucléotides ont différents rôles majeurs :

- **Transport d'énergie chimique** : le ribonucléotide adénosine triphosphate (**ATP**) participe au transfert de l'énergie dans de nombreuses réactions chimiques ;
- Stockage et restitution de l'**information génétique** : l'acide ribonucléique (**ARN**) contient les bases A, G, C et U et l'acide désoxyribonucléique (**ADN**) contient les bases A, G, C et T ;

## C. CONCLUSION

Les monomères (monosaccharides, acides aminés et nucléotides) peuvent s'assembler par des liaisons covalentes pour former des polymères ou **macromolécules** (polysaccharides, protéines, acides nucléiques). Elles contiennent du carbone et sont les plus abondantes dans une cellule vivante. Ce sont les **principaux matériaux de construction de la cellule**. Elles confèrent leurs caractères les plus distinctifs aux êtres vivants.

Les réactions chimiques qui permettent l'ajout d'un monomère sur un polymère sont différentes pour les polysaccharides, les protéines et les acides nucléiques mais présentent tout de même **quelques propriétés communes importantes** :

- Chaque polymère grandit par addition d'un monomère à l'extrémité d'une chaîne polymérique en cours de croissance par une **réaction de condensation** au cours de laquelle une molécule d'eau est éliminée ;
- La dégradation du polymère se fait par **hydrolyse** (addition d'eau) ;
- Les réactions sont catalysées par des **enzymes spécifiques** qui assurent que seul le monomère approprié est incorporé ;
- Les monomères sont assemblés dans un ordre particulier appelé **séquence** ;

