



**Biochimie, Partie I**

**Introduction au Métabolisme et à la Bioénergétique  
 &  
 Présentation des principales biomolécules**

**I/ Introduction au Métabolisme**

**1) Définition du Métabolisme**

*Le métabolisme désigne l'ensemble des réactions chimiques mettant en jeu les molécules présentes dans les cellules des organismes vivants.*

Il permet de répondre aux 2 besoins essentiels des organismes vivants :

- **Synthétiser les molécules** indispensables aux fonctions vitales (conservation de la matière)
- **Produire l'énergie** nécessaire à la réalisation de ces fonctions vitales (conservation de l'énergie)

On peut donc diviser le métabolisme en :

- **Anabolisme** = Ensemble des réactions ayant pour objectif la **synthèse de molécules complexes à partir de molécules plus simples** en utilisant de l'énergie
- **Catabolisme** = Ensemble des réactions ayant pour objectif la **libération d'énergie par la dégradation de molécules complexes en molécules plus simples**

**Métabolisme = Catabolisme + Anabolisme**

**2) Catabolisme vs Anabolisme**

	Catabolisme	Anabolisme
<b>Objectif</b>	<b>Production d'énergie par dégradation de molécules</b>	<b>Synthèse de molécules grâce à l'utilisation d'énergie</b>
<b>Type de réaction</b>	<b>Oxydations</b> <i>(habituellement)</i>	<b>Réductions</b> <i>(habituellement)</i>
<b>Bilan énergétique</b>	<b>Production d'énergie</b>	<b>Consommation d'énergie</b>
<b>Matériel de départ</b>	<b>Molécules complexes et variables</b>  <i>Molécules provenant :</i> <i>- de l'alimentation (nutriments)</i> <i>- des réserves cellulaires</i>	<b>Molécules plus simples et peu nombreuses</b>
<b>Matériel d'arrivée</b>	<b>Molécules plus simples et peu nombreuses</b>	<b>Molécules complexes et variables</b> <i>Nécessaire aux fonctions des cellules</i>

Il est important de considérer le métabolisme dans sa globalité : l'énergie libérée par le **catabolisme** est utilisée pour permettre le déroulement de l'**anabolisme**.



## II/ Notions de Bioénergétique

### 1) Prérequis

La **bioénergétique** étudie les variations d'énergie associées aux réactions chimiques du métabolisme.

Le **premier principe de la thermodynamique** est particulièrement important :

**L'énergie totale de l'univers demeure constante**

(elle peut être transférée, transformée mais jamais créée ou détruite)

*NB : Qu'est-ce que l'énergie ? L'énergie définit toutes les formes de travail (= déplacement de matière dans le sens d'un gradient de potentiel) ou de chaleur.*

*Elle se mesure en Joules (J) ou en Calories (cal).*

### 2) Energie Libre (G)

L'**énergie libre G** (exprimée en kJ/mol ou kcal/mol) d'une molécule est la partie de l'énergie contenue dans une molécule susceptible de fournir un travail utile (c'est-à-dire de réagir, de se transformer). *Le reste de l'énergie ne peut être libéré que sous forme de chaleur.*

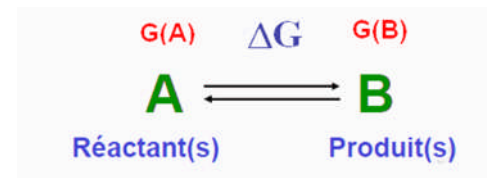
En d'autres termes, le **G** reflète le **potentiel** qu'a une molécule de se transformer.  
→ Une réaction chimique évolue selon un **gradient de potentiel** : dans le sens de la molécule possédant le G le plus élevé vers la molécule possédant le G le plus faible (de la molécule la moins stable chimiquement vers la molécule la plus stable)



### 3) Variation d'Energie Libre ( $\Delta G$ )

Les espèces A et B possèdent des énergies libres (G) différentes : **G(A)** et **G(B)**.

La **Variation d'Energie Libre  $G(B) - G(A)$**  entre les deux espèces est notée  **$\Delta G$** .



Lors d'une réaction de type  $A \rightleftharpoons B$ , 3 situations existent :

- Lorsque  **$\Delta G < 0$**  alors  **$G(B) < G(A)$**  : la réaction est **EXERGONIQUE**. La réaction  $A \rightarrow B$  est **spontanée, favorable** et elle **libère une quantité d'énergie  $\Delta G = |G(B) - G(A)|$**  (en valeur absolue). La réaction est dite **irréversible**.
- Lorsque  **$\Delta G > 0$**  alors  **$G(B) > G(A)$**  : la réaction est **ENDERGONIQUE**. La réaction  $A \rightarrow B$  ne se fait **pas de manière spontanée**, elle est **défavorable**. Il faut **apporter une quantité d'énergie  $\Delta G = |G(B) - G(A)|$**  (en valeur absolue) pour que la réaction se produise. La réaction est dite **impossible**.
- Lorsque  **$\Delta G = 0$**  alors  **$G(B) = G(A)$**  : La réaction est **A L'EQUILIBRE**, il existe un **équilibre** entre la quantité de réactant et de produit. Elle **ne consomme pas d'énergie** et elle **n'en libère pas** non plus : **A et B ont le même potentiel**. La réaction se fait **dans les deux sens** : elle donc est **réversible**.

→ Le  **$\Delta G$**  permet donc de **prédire le sens d'une réaction chimique et son importance**.

#### 4) Conditions standards et conditions quelconques

Il est donc nécessaire de mesurer le  $\Delta G$  → pour cela, on a défini une nouvelle grandeur :  $\Delta G^0$   
Le  $\Delta G^0$  est la **variation d'énergie libre standard** d'une réaction : elle décrit le sens et l'importance d'une réaction dans les conditions standards.

Les conditions standards sont des conditions idéales dans lesquelles :

- la température T est de 25°C
- la pression atmosphérique P est de 1 atm
- la concentration initiale de tous les solutés est égale à 1M (=1mol/L)
- le pH est de 0 (car  $[H^+] = 1M$  et  $pH = -\log[H^+]$ )

##### ☺ Avantages du $\Delta G^0$ :

- Le  $\Delta G^0$  est une **constante** (invariable) propre d'une réaction donnée
- Le  $\Delta G^0$  donne une indication sur l'état d'équilibre d'une réaction : elle dépend de sa constante d'équilibre K →  $\Delta G^0 = -RT \times \ln K$  (R : Constante des Gaz Parfaits)
- Le  $\Delta G^0$  est facile à mesurer : il suffit de connaître la **constante d'équilibre K**

##### ☹ Inconvénient du $\Delta G^0$ :

- Les conditions standards sont des conditions idéales : les **concentrations initiales des réactants (A) et des produits (B)** sont souvent **différentes de 1M**  
→ Cela influence le sens et l'importance de la réaction chimique
- Les **concentrations initiales des réactants (A) et des produits (B)** ne sont pas pris en compte : seule leur **concentration à l'équilibre (constante d'équilibre K)** l'est.

→ Le  $\Delta G^0$  ne suffit pas pour prédire le sens et l'importance d'une réaction dans des conditions quelconques (non standards).

Le  $\Delta G^0$  permet cependant de calculer le  $\Delta G$  :  $\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln([B]_i/[A]_i)$

Le  $\Delta G$  dépend :

- du  $\Delta G^0$  de la réaction: *reflet de l'état d'équilibre (constante d'équilibre K)*.
- des **concentrations initiales des réactants  $[A]_i$  et des produits  $[B]_i$** , lorsqu'elles sont différentes de 1M (hors des conditions standards, dans des conditions quelconques)

→ Le  $\Delta G$  permet de décrire le sens et l'importance d'une réaction dans des conditions quelconques (non standards).

Pour des concentrations de A et de B quelconques →  $\Delta G \neq 0$  ce qui fait évoluer la réaction dans un sens ou dans l'autre (pour former plus de produit ou de réactants) jusqu'à ce que l'état d'équilibre soit atteint. A l'équilibre :  $\Delta G = 0$  (la réaction n'évolue plus).

#### 5) Conditions physiologiques

Le  $\Delta G$  et le  $\Delta G^0$  ne sont pas utilisés en biochimie car les **conditions standards** sont incompatibles avec les conditions physiologiques : les réactions se déroulent en **milieu aqueux très dilué** → **pH = 7**

→ On définit les **conditions standards d'un système biologique** → identiques aux **conditions standards**, à l'exception :

- du pH : **pH = 7** (au lieu de  $pH = 0$ )
- de la **concentration de l'eau** : elle est considérée comme une **constante** (on ne la prend plus en compte dans le calcul des constantes d'équilibre K)

$\Delta G^0$  →  $\Delta G'^0$  : variation d'énergie libre en conditions **biologiques standards** (à pH=7)

$\Delta G$  →  $\Delta G'$  : variation d'énergie libre en conditions **biologiques quelconques** (à pH=7)

### Conclusions

- Lors de l'étude des réactions du métabolisme (*dans vos cours de biochimie*), c'est le  $\Delta G^0$  qui sera donné car c'est une constante propre d'une réaction, pratique pour se faire une idée de l'équilibre des réactions se déroulant dans les cellules.
- Cependant, c'est le  $\Delta G'$  qui déterminera au final le sens et l'importance de la réaction car il prend en compte les concentrations initiales des réactants (A) et des produits (B) qui sont toujours très différentes de 1M dans les cellules.
- Une réaction chimique peut avoir un  $\Delta G^0 > 0$  (réaction défavorable dans les conditions biologiques standards à pH=7) mais les concentrations de A et de B peuvent être responsables d'un  $\Delta G' < 0$  (réaction favorable dans les conditions biologiques quelconques)

### 6) L'ATP, forme de stockage de l'énergie chimique

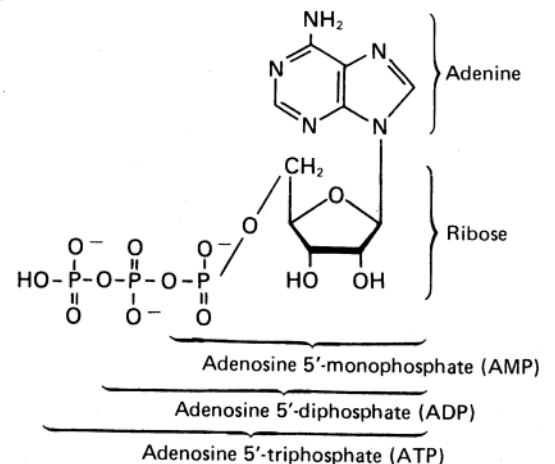
L'énergie libérée par les réactions exergoniques ( $\Delta G' < 0$ ) est soit directement convertie en chaleur soit stockée pour une utilisation future. Sous quelle forme est-elle stockée ?

En biologie, la forme principale et universelle de stockage de l'énergie est l'Adénosine Tri Phosphate ou ATP. L'ATP est un nucléotide (cf III/, d).

C'est une molécule à « haut potentiel énergétique » présente dans toutes les cellules de l'organisme.

Le « haut potentiel énergétique » de l'ATP est dû à la présence de « liaisons à haut potentiel énergétique (liaison HPE) » dans la structure de l'ATP. Ces liaisons sont celles qui lient 2 phosphates entre eux : ce sont des liaisons de type phospho-anhydre.

- L'ATP en contient 2 car il possède 3 Phosphates
- L'ADP (Adénosine Di Phosphate) en contient 1 car il possède 2 Phosphates
- L'AMP (Adénosine Mono Phosphate) en contient 0 car il possède 1 seul Phosphate



### Qu'appelle-t-on une « liaison à haut potentiel énergétique (liaison HPE) » ?

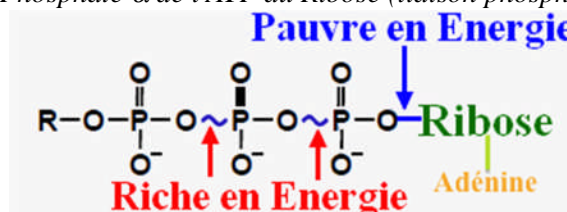
Il s'agit d'une liaison dont la rupture par hydrolyse (= remplacement de groupements par de l'eau) est responsable d'un  $\Delta G' \lll 0$  et donc d'une libération importante d'énergie qui pourra être utilisée pour réaliser un travail.

La réaction d'hydrolyse d'une des 2 liaisons phospho-anhydre de l'ATP :  $\Delta G^0 = -31 \text{ kJ/mol}$

→ Toutes les liaisons dont la rupture par hydrolyse possèdent un  $\Delta G^0 < -31 \text{ kJ/mol}$  sont des « liaison HPE ».

→ Les liaisons dont la rupture est associée à un  $\Delta G^0 > -31 \text{ kJ/mol}$  sont des « liaisons à faible potentiel énergétique ».

Ex : la liaison unissant le Phosphate  $\alpha$  de l'ATP au Ribose (liaison phospho-ester)



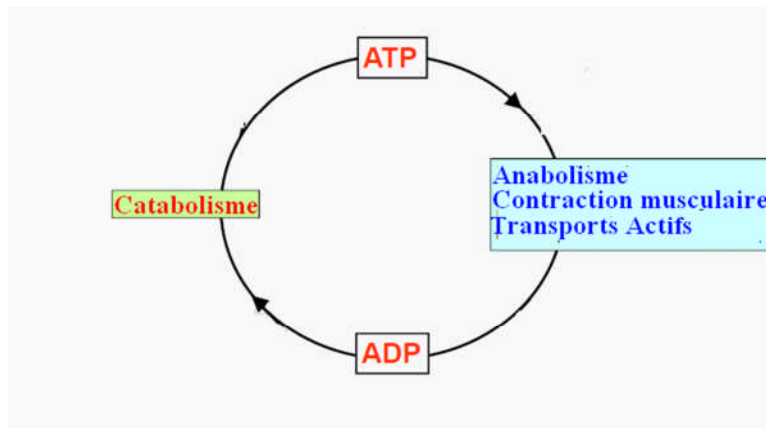
### 7) Importance biologique de l'ATP

L'ATP est pratiquement le seul donneur d'énergie pour un travail. La cellule va donc en permanence synthétiser de l'ATP pour pouvoir survivre et exercer ses fonctions.

→ Les voies cataboliques libèrent de l'énergie qui est alors utilisée pour la synthèse d'ATP (par phosphorylation de l'ADP, ce qui consomme de l'énergie car on forme une « liaison HPE »)

→ Les voies anaboliques consomment de l'énergie. Elles utilisent l'ATP en rompant une des 2 « liaisons HPE » phospho-anhydres ce qui libère l'énergie dont elles ont besoin :

- soit  $ATP + H_2O \rightarrow ADP + P_i$  le plus souvent ( $P_i$  est un phosphate inorganique libre)
- soit  $ATP + H_2O \rightarrow AMP + PP_i$  plus rarement ( $PP_i$  est un pyrophosphate inorganique, c'est à dire 2 phosphate liés par une liaison phospho-anhydride « à HPE »)

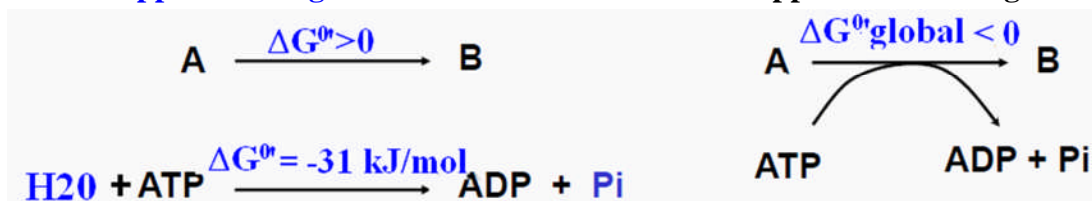


L'organisme synthétise 45 kg d'ATP par jour alors que les quantités d'ATP, d'ADP et d'AMP sont faibles (quelques grammes). C'est donc le **turn over de l'ATP** qui est important : l'ATP est hydrolysé en ADP, cet ADP va devoir être rapidement rephosphorylé en ATP, pour ensuite être hydrolysé en ADP à nouveau, et ainsi de suite...

### 8) Notion de réactions couplées

Le catabolisme contient de nombreuses réactions exergoniques libérant de l'énergie stockée sous forme d'ATP.

L'anabolisme contient de nombreuses réactions endergoniques qui sont défavorables en l'absence d'un apport d'énergie extérieur → Il faut donc leur apporter de l'énergie.



La réaction  $A \rightarrow B$  est endergonique ( $\Delta G^0 > 0$ ). Cette réaction ne peut se produire spontanément car elle doit consommer de l'énergie.

Or, on sait que l'hydrolyse de l'ATP en ADP est très exergonique ( $\Delta G^0 = -31 \text{ kJ/mol}$ ).

En couplant les 2 réactions :  $A + ATP \rightarrow B + ADP$ , on peut obtenir une réaction globalement exergonique (favorable) si la somme des  $\Delta G'$  des deux réactions est négative ( $\Delta G' < 0$ )

L'énergie libérée par l'hydrolyse de l'ATP en ADP est convertie en :

- **énergie pour un travail** : la transformation endergonique (défavorable) de A en B
- **chaleur** : l'énergie excédentaire non utilisée pour un travail est convertie en chaleur

### III/ Présentation des principales biomolécules

Les organismes vivants sont composés majoritairement d'**eau H<sub>2</sub>O** (le corps humain est composé de 60 à 70% d'eau, c'est le solvant de la vie) et de **composés organiques** (c'est à dire de molécules basées sur la chimie du carbone).

Les biomolécules organiques peuvent être subdivisées en **4 classes principales** :

- Les Protides
- Les Glucides
- Les Lipides
- Les Nucléotides et Acides Nucléiques

Dans chacune de ces 4 familles, il existe :

- **une forme simple** : c'est l'unité de base
- **une forme composée** : c'est la macromolécule formée par l'assemblage de plusieurs unités de base (pour le stockage ou pour assurer des fonctions particulières)

#### 1) Les Protides

Les **Protéines ou Peptides** (=polymères) sont des macromolécules constituées par un assemblage d'**Acides Aminés** (=monomères). Les **Protides** ont une place primordiale dans le métabolisme.

##### a) Les Acides Aminés (AA)

###### Structure :

Les **AA** présentent tous une structure commune → **1 atome de Carbone central** (=Carbone  $\alpha$ ) qui porte :

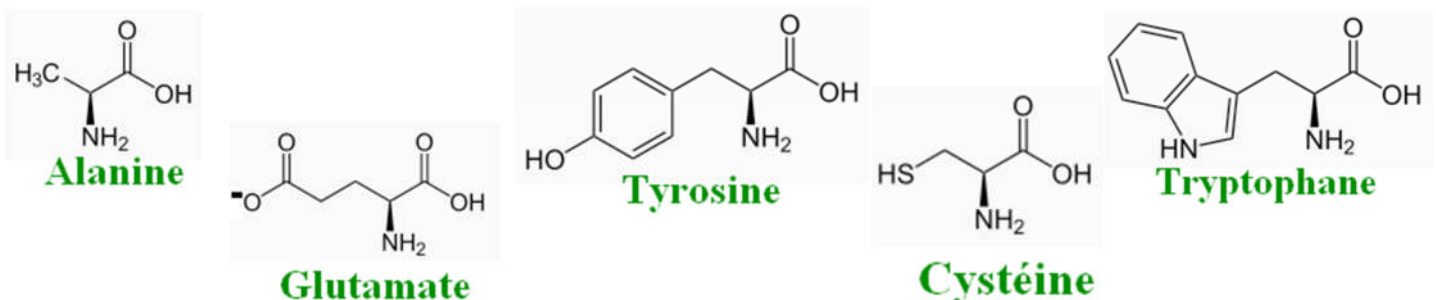
- 1 **atome d'Hydrogène** (que l'on ne met pas sur toutes les représentations)
- 1 **fonction acide carboxylique COOH/COO<sup>-</sup>** (d'où le « Acide » dans « Acide Aminé »)
- 1 **fonction amine NH<sub>3</sub><sup>+</sup>/NH<sub>2</sub>** (d'où le « Aminé » dans « Acide Aminé »)
- 1 **chaîne latérale notée «R»** variable selon les AA et permettant de les **différencier**



###### Les différents AA :

Chez l'Homme, il existe **20 AA protéinogènes** codés par le code génétique (= AA correspondant à un codon [= triplet de nucléotide] dans le code génétique et pouvant être directement incorporés dans les Protéines). Ils s'individualisent de par leurs chaînes latérales.

Quelques exemples :



**Nomenclature :**

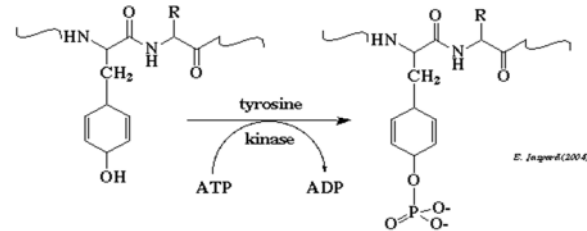
A chaque **AA** correspond :

- **une lettre de l'alphabet** (parfois logique [Alanine=A, Valine=V...] ou pas [Aspartate=D, Tryptophane=W...])
- **trois lettre de l'alphabet** (ex : Leucine=Leu, Glycine=Gly, Valine=Val,...)

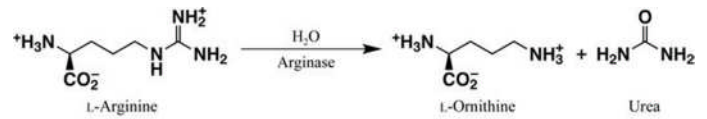
**Modifications Post-Traductionnelles et AA Non Protéinogènes:**

→ Les **Acides Aminés** incorporés dans des **Protéines** peuvent subir des **modifications post-traductionnelles** (càd des modifications enzymatiques d'AA sur des protéines déjà synthétisées)

Ex : la phosphorylation d'un résidu Tyrosine grâce à une enzyme (la tyrosine kinase) donne une **phosphotyrosine**



→ Il existe aussi des **AA non protéinogènes** qui sont formés par **modification enzymatique d'AA aminés libres** dans **certaines voies métaboliques** (hydroxylations, carboxylations, déméthylations, hydrolyses,...).

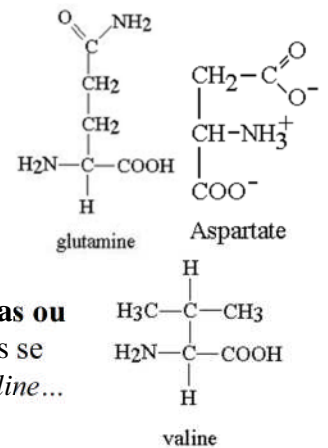


Ex : La dernière réaction du Cycle de l'Urée (catalysée par l'Arginase) transforme l'**Arginine** (AA protéinogène) en **Ornithine** (AA non protéinogène) et libère une molécule d'Urée.

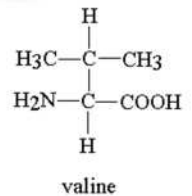
**Solubilité des AA :**

→ Certains **AA** seront dits **polaires (= hydrophiles/lipophobes)** : ils sont **solubles dans l'eau** (capables d'interagir avec les milieux aqueux). Ils se trouvent surtout à la **surface des protéines solubles**. Ex : la Sérine, la Glutamine...

**NB** : Parmi ceux-ci, certains seront **chargés** : leur **chaîne latérale** peut être ionisée ou pas selon le **pH**. Elle portera soit une **charge positive**, soit une **charge négative**. Ex : la Lysine, l'Aspartate...



→ D'autres **AA** seront dits **apolaires (=hydrophobes/lipophiles)** : ils ne sont **pas ou peu solubles dans l'eau** (ils interagissent plutôt avec les **milieux lipidiques**). Ils se trouvent plutôt à l'**intérieur des protéines** (à l'abri de l'eau). Ex : la Leucine, la valine...



**Rôles des AA :**

- Les **AA** sont les **éléments de base des Protéines**.
- Les **AA** sont aussi les **constituants de glycérophospholipides** (*PhosphatidylSérine*).
- Les **AA** permettent de **maintenir le pH** de notre organisme (= **pouvoir tampon**)
- Les **AA** sont les **précurseurs de neurotransmetteurs, d'hormones et de médiateurs** (Ex : la *Phénylalanine* est le précurseur de l'*Adrénaline*, de la *Noradrénaline* et de la *Dopamine* ; le *Glutamate* est le précurseur du *GABA*, l'*Histidine* est le précurseur de l'*Histamine*)  
**NB** : La **formation de neurotransmetteurs/hormones** à partir d'AA se fait souvent par une **décarboxylation** (= perte du groupement COOH). Un **AA décarboxylé** s'appelle une **amine biogène**.
- Les **AA** sont à la base de nombreuses autres molécules (que vous verrez au fur et à mesure^^) comme la Créatine, l'Hème, le Glutathion, ....
- Dans certains cas, les **AA** peuvent être **dégradés pour produire de l'énergie** ou convertis en **Glucose**, en **Corps Cétoniques**, en **Lipides**,...
- Les **AA** peuvent être responsables de **pathologies** (Ex : accumulation d'AA dans les urines = *aminoaciduries*)

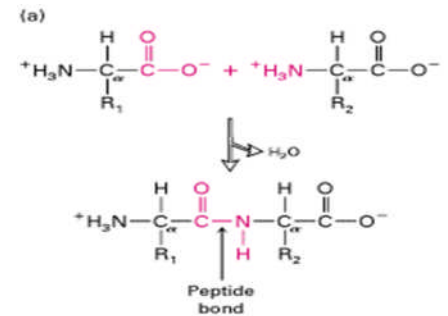


## b) Les Protéines et Peptides

### Structure :

Les **Protéines** sont des macromolécules composées d'une ou plusieurs chaînes d'**AA** liés entre eux par des **liaisons peptidiques**. Les **Peptides** désignent en général des assemblages d'**AA** plus petits.

La **liaison peptidique** est une **liaison covalente** de type **amide** qui s'établit entre la **fonction carboxyle** portée par le carbone  $\alpha$  d'un acide aminé et la **fonction amine** portée par le carbone  $\alpha$  de l'acide aminé suivant dans la chaîne peptidique. Cette association libère une **molécule d'eau (H<sub>2</sub>O)**.



### Nomenclature :

Seul le **dernier AA** d'une chaîne **peptidique** est noté **en entier** dans le nom d'un(e) peptide/protéine, les autres AA qui le précèdent portent le **suffixe -yl**.

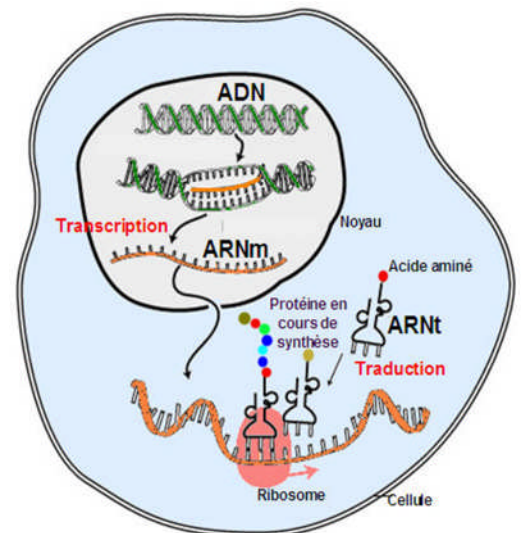
*Ex : peptide lysine + valine + cystéine = lysyl-valyl-cystéine*

### Synthèse des Protéines :

**1/ TRANSCRIPTION** : sur base de l'**ADN**, un brin d'**ARNm** est synthétisé (*il correspond au négatif de l'ADN, chaque base de l'ARNm étant une base complémentaire du brin modèle d'ADN*). Cet **ARNm** va pouvoir quitter le noyau par les pores nucléaires.

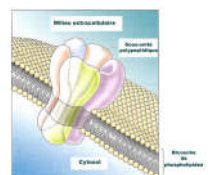
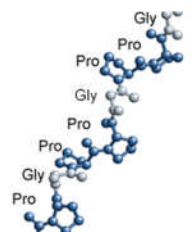
**2/ TRADUCTION** : Chaque **AA** correspond à des **triplets de nucléotides** ou **codons**. Un **ribosome** va « lire » l'**ARNm** dans le cytoplasme. Pour chaque codon, le **ribosome** (aidé des **ARNt**) va incorporer un **AA** à la **chaîne peptidique** qui est en train de se former.

Au final, la lecture complète du **brin d'ARNm** permettra de synthétiser une **Protéine**. Lorsque lit un **codon STOP**, la traduction cesse et la **Protéine** est relâchée.



### Rôles des Protéines :

- Les **Protéines** peuvent être des **enzymes**, des **hormones**, des **transporteurs** (*Albumine, Hémoglobine,...*),...
- Elles ont également un **rôle structural** : le **collagène** (*présent un peu partout dans le corps*) est une protéine qui participe à la **résistance, l'élasticité et la souplesse de la peau ou des os**.
- Elles peuvent avoir un **rôle moteur** : l'**Actine** et la **Myosine** sont responsables de la contraction musculaire.
- Elles ont un **rôle de défense** : c'est le cas des **Anticorps**.
- Elles ont un rôle dans la **communication cellulaire** grâce aux récepteurs et aux **canaux ioniques** des membranes.
- En cas d'**épuisement des réserves de Glucides et de Lipides** (*période de jeûne prolongé*), les **Protéines** peuvent être dégradées en **AA** qui sont une **source d'énergie**.



## 2) Les Glucides

Les **Glucides** sont une classe de molécules possédant un **groupement aldéhyde ou cétone** + de **nombreux groupements alcools**. Leur formule brute comprend du **Carbone**, de l'**Hydrogène** et de l'**Oxygène**.

Ce sont des **substrats énergétiques importants** mais ils possèdent de nombreux autres rôles : structure (ex : Cellulose chez les plantes), rétenion d'eau (ex : GlycosAminoGlycanes), éléments constituant les nucléotides, les glycolipides, les glycoprotéines,...

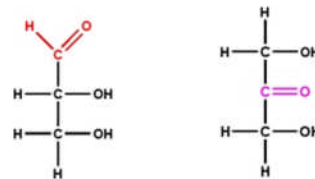
Les Glucides sont les **monosaccharides** (=monomères) et les **di/polysaccharides** (=polymères).

### a) Monosaccharides = Oses

#### Structure, Classification, Nomenclature :

On classe les **oses** par rapport à leur structure :

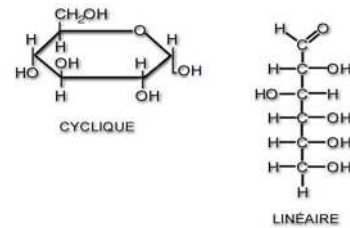
- **Selon le nombre d'atomes de carbone** :  
 → **Triose**=3C ; **Tetrose**=4C ; **Pentose**=5C ; **Hexose**=6C ; **Heptose**=7C
- **Selon la fonction principale** :  
 → soit des **Aldoses** (avec une fonction aldéhyde)  
 → soit des **Cétooses** (avec une fonction cétone)



**NB** : Tous les **oses** ont un nom se terminant par le **suffixe -ose**.

Les **oses** peuvent se présenter sous **forme linéaire** ou bien sous **forme cyclique** (on peut passer facilement d'une forme à une autre : la **fonction aldéhyde/cétone** réagit avec une des **fonctions alcools** et forme un cycle)

Ex : le Glucose

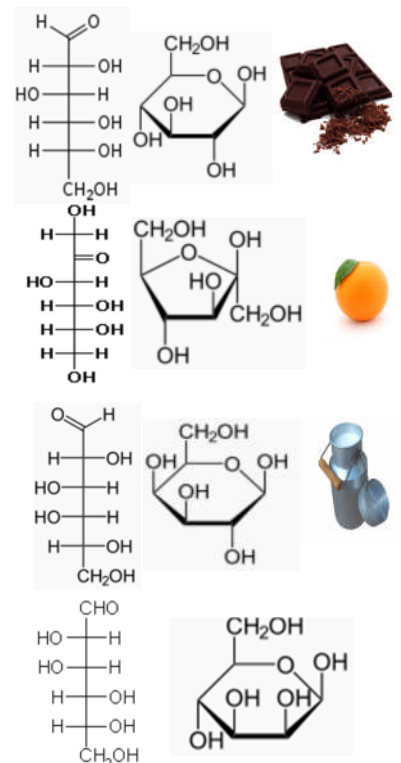


#### Numérotation des carbones :

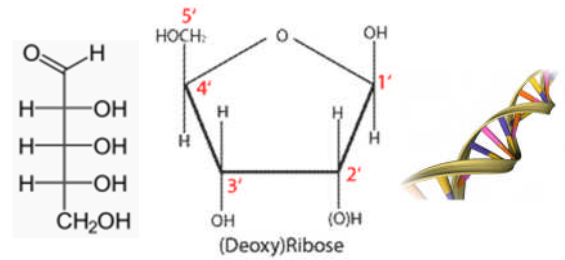
Le Carbone 1 est le Carbone à l'extrémité la plus proche de la **fonction aldéhyde/cétone**.

#### Les principaux Monosaccharides :

- **Glucose** : c'est un **hexose** et un **aldose** (soit un **aldohexose**).. *Il est directement assimilable par l'organisme et sert de carburant essentiel (permet la production d'énergie) pour le cerveau, les muscles... C'est l'ose le plus abondant dans la nature.*
- **Fructose** : c'est un **hexose** et un **cétoose** (soit un **cétohexose**). C'est l'isomère du Glucose (ils ont tous deux la même formule brute [C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>] mais différent par l'agencement des atomes les uns par rapport aux autres) On le retrouve notamment dans les fruits et le miel.
- **Galactose** : c'est un **aldohexose**, épimère du glucose au niveau du quatrième carbone (même formule brute mais la disposition dans l'espace de l'alcool en C4 est différente). Il est présent dans le lait sous forme de Lactose.
- **Mannose** : c'est un **aldohexose**, épimère du glucose au niveau du deuxième carbone (C2). On le trouve dans les glycoprotéines.



- **Ribose** : c'est un **aldopentose** qui entre dans la composition de l'**ARN**. Sa forme désoxygénée en C2 entre dans la composition de l'**ADN**.



### Modification des Monosaccharides :

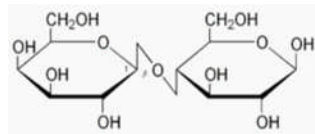
Le **Glucose** peut subir par exemple:

- une oxydation (en C6) qui mène au **Glucuronate (ou Acide Glucuronique)**
- une réduction (en C1) qui mène au **Sorbitol**
- une estérification par un phosphate (en C6) qui mène au **Glucose-6-Phosphate**
- une isomérisation qui mène au **Fructose**

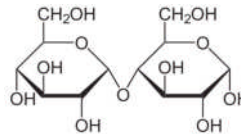
### b) Les Disaccharides

Deux **Monosaccharides** peuvent s'associer entre eux par des **liaisons glycosidiques** pour former des **Disaccharides**. Cette liaison libère une **molécule d'eau**. Exemples :

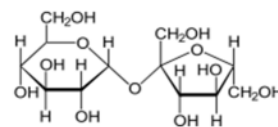
- **Lactose** (*présent dans le lait*) : union entre une molécule de **Glucose** (en C4) et une molécule de **Galactose** (en C1)



- **Maltose** (*obtenu par dégradation de l'Amidon*) : union de deux molécules de **Glucose** (le C1 de l'un lie le C4 de l'autre).



- **Saccharose** (*c'est le sucre de table classique*) : union d'une molécule de **Glucose** (en C1) et d'une molécule de **Fructose** (en C2).

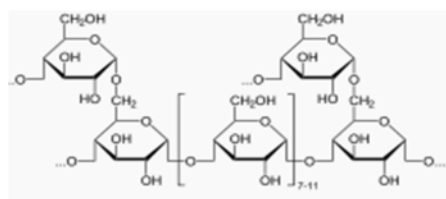


### c) Les Polysaccharides

Les **oses** peuvent encore s'associer en plus grand nombre et former des **Polysaccharides**.

Exemples :

- **Glycogène** : Association linéaire de plusieurs unités **Glucose** avec des **ramifications** tous les 12 résidus Glucose environ.  
 → **Chez l'Homme, le Glycogène est la seule forme de mise en réserve des Glucides dans les cellules.**



### 3) Les Lipides

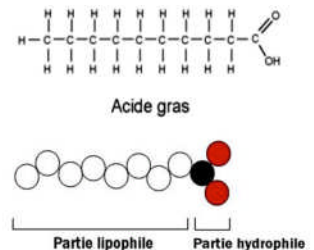
Les **Lipides** forment la matière grasse des êtres vivants. Leur point commun est d'être **insolubles dans l'eau (polaire)** mais **solubles dans les solvants organiques (apolaires)**. Ils sont formés de **Carbone, d'Oxygène et d'Hydrogène** comme les **Glucides** (mais contiennent beaucoup moins d'Oxygène que ces derniers). Nous nous intéresserons surtout aux **Acides Gras** et à leurs esters, les **Triglycérides**.

#### a) Les Acides Gras (AG)

##### Structure :

Un **AG** est composé :

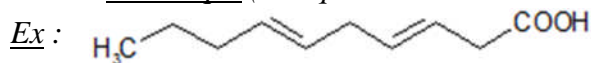
- d'une **longue chaîne hydrocarbonée apolaire** de 4 à 24 Carbones (c'est à dire une longue chaîne de carbone saturée ou non par des Hydrogènes)  
= **partie hydrophobe/lipophile**
- d'un **groupement carboxylique (COOH/COO<sup>-</sup>) polaire**  
= **partie hydrophile/lipophile**



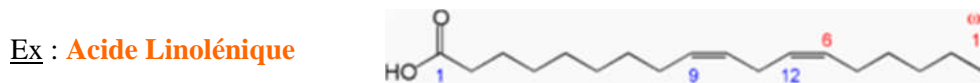
→ Les **AG** sont ainsi des **molécules amphiphiles** (à la fois hydrophobe et hydrophile)

Il existe des :

- AG saturés** : ils ne présentent **que des liaisons simples** sur leur chaîne hydrocarbonée
- AG mono insaturés** (AGMI) : ils présentent **une seule double liaison (C=C)**
- AG poly insaturés** (AGPI) : ils présentent **plusieurs doubles liaisons** en position malonique (càd qu'une double liaison sera séparée d'une autre par un CH<sub>2</sub>)



##### Nomenclature des doubles liaisons :



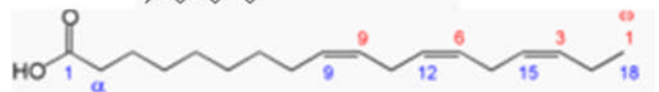
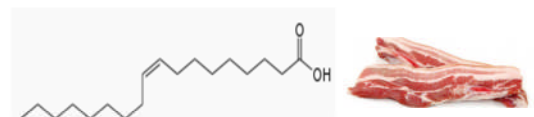
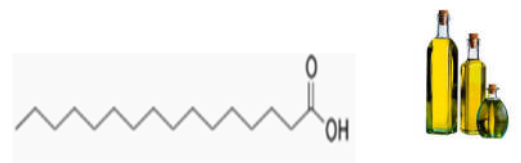
→ **En partant du premier Carbone** : le **Carbone 1** est celui qui porte la fonction carboxyle (COOH/COO<sup>-</sup>)

Un AG de **18 Carbones** présentant **2 insaturations (=doubles liaisons) au 9<sup>ème</sup> et 12<sup>ème</sup> Carbone** (en partant du C1 : COOH) se note **C18:2(9,12)**

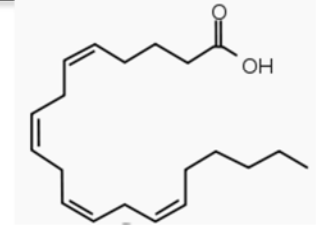
→ **En partant du dernier Carbone** : On a classe aussi les **AG** par rapport à la position des doubles liaisons en partant du dernier Carbone noté **oméga (ω)**. L'**AG** ci-dessus est donc un **oméga-6 (ω-6)** c'est-à-dire que la première insaturation rencontrée est au niveau du **6<sup>ème</sup> Carbone en partant du Carbone ω**.

##### Les AG les plus courants :

- Acide Palmitique** → **C16:0** (16 Carbones et aucune double liaison) : On le trouve dans l'huile de palme mais aussi dans toutes les graisses et huiles animales et végétales.
- Acide Oléique** → **C18:1(9)** ou **oméga-9 (ω-9)** (18 Carbones et une double liaison au niveau de C9) : AG le plus abondant dans les huiles animales et végétales.
- Acide α-Linolénique** → **18:3(9,12,15)** ou **oméga-3 (ω-3)** : c'est un **AG essentiel** (=nous ne pouvons pas le synthétiser, il doit donc être apporté par l'alimentation) tout comme l'**Acide Linoléique**. On le trouve en quantité dans les poissons.



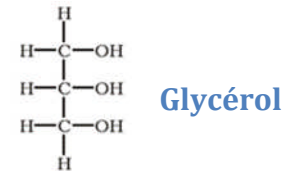
- **Acide Arachidonique** → 20:4(5,8,11,14) ou oméga-6 (ω-6) : il est produit dans notre organisme à partir de l'**Acide Linoléique**. Cet oméga-6 est un précurseur des prostaglandines et leucotriènes.



*Précision* : On utilise le terme d'«**Acide xxxique**» quand le groupement carboxylique est non ionisé (COOH) et le terme «**xxxate**» quand le groupement carboxylique est ionisé (COO<sup>-</sup>).  
 Ex : Acide Palmitique → Palmitate ; Acide Glutamique → Glutamate ; ...

**b) Les Glycérides**

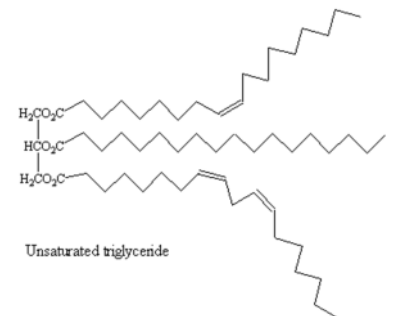
Les **AG** représentent une importante source d'énergie pour les animaux et sont stockés sous forme de **Triglycérides** (ou **TriAcylGlycerols = TAG**) dans le **tissu adipeux**.



Un **Triglycéride** est un **Glycérol** dont les trois fonctions alcools (OH) ont été estérifiées par des **AG**.

→ **Triglycéride = 1 Glycérol + 3 AG**

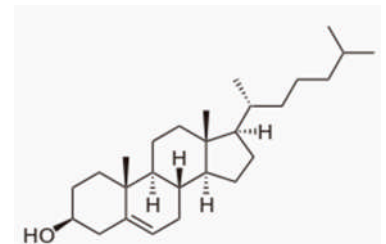
Les **TAG** sont hétérogènes : ils possèdent des **AG** qui diffèrent par la longueur de leur chaîne hydrocarbonée et par le nombre et le type de doubles liaisons.



Il existe également des **Monoglycérides** (1AG + 1Glycérol) et des **Diglycérides** (2AG + 1Glycérol).

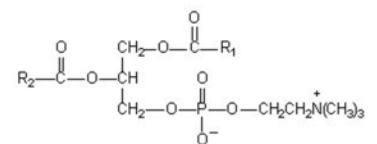
**c) Les autres Lipides**

- **Cholestérol** : c'est une molécule extrêmement hydrophobe (sauf au niveau de sa fonction alcool).  
 Le cholestérol peut provenir de notre **alimentation** mais il peut aussi être **synthétisé par le foie** (entre autre). Il est le précurseur de nombreuses molécules :  
 - Les **acides biliaires** (Acide Cholique et Chénodésoxycholique,...)  
 - La **vitamine D**  
 - Les **hormones stéroïdes** (Progéstérone, Cortisol, Testostérone, Oestradiol, ...)

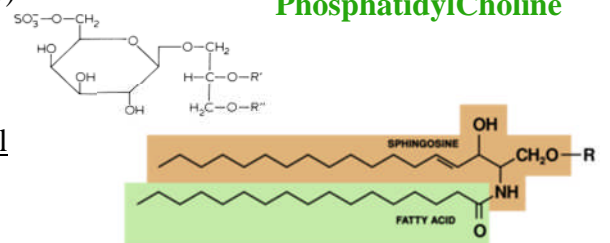


Constituants des membranes cellulaires

- **Les Glycérophospholipides** : ce sont des **Diglycérides** dont le dernier alcool OH est estérifié par un **Phosphate** (formant le **Phosphatidate**) lui-même lié à un **alcool** comme la **choline** ou la **sérine** (**Phosphatidylcholine, phosphatidylsérine,...**)



- **Les Glycolipides** : des **Lipides** associés à un ou plusieurs **Glucides**
- **Les Sphingolipides** : basés non pas sur le Glycérol mais la **Sphingosine**

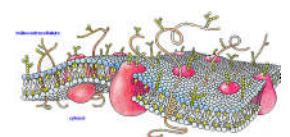


**d) Les rôles des lipides**

Les **AG** sont une **source d'énergie importante** et les **Triglycérides** sont leur **forme de stockage**.

Ils ont des rôles structuraux : ce sont les **composants des membranes cellulaires**

Ils ont d'autres rôles spécifiques : *précurseurs d'hormones, vitamines, messagers secondaires, transporteurs d'électrons,...*



## d) Les Nucléotides et Acides Nucléiques

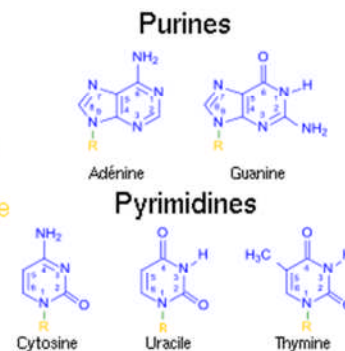
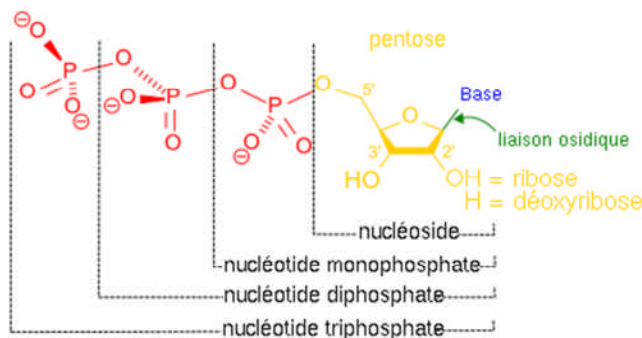
Les **Acides Nucléiques** (=polymères) sont des macromolécules constituées par un assemblage de **Nucléotides** (=monomères). Ces molécules sont responsables du stockage et l'expression de l'information génétique (ADN et ARN) et ont un rôle important dans le métabolisme énergétique.

### 1) Les Nucléotides

#### Structure :

Un **nucléotide** est constitué de 3 éléments :

- **une base azotée** : Il existe 5 bases différentes communes à tous les êtres vivants : **Adénine** + **Guanine** (=bases puriques) et **Cytosine** + **Thymine** + **Uracile** (=bases pyrimidiques)
- **un monosaccharide** : soit un **Ribose** soit sa forme désoxygénée en C2, le **Désoxyribose**.
- **1, 2 ou 3 groupements phosphates**



#### Nomenclature :

**1 base azotée + 1 Ribose ou 1 DésoxyRibose = Nucléoside**  
 → Adénosine/Guanosine/Cytidine/Thymidine/Uridine

**1 base azotée + 1 Ribose ou 1 DésoxyRibose + Phosphate(s) = Nucléotide**  
 → Nom du nucléoside + Mono/Di/Tri Phosphate.

Ex 1 : Adénosine Tri Phosphate (abrégé ATP)

Ex 2 : Uridine Di Phosphate (abrégé UDP)

Ex 3 : Guanosine Mono Phosphate (abrégé GMP)

#### Rôle :

Les **Nucléotides** sont les éléments de base des **Acides Nucléiques** (ADN et ARN), ils entrent dans la composition de certains coenzymes (NAD, FAD, Coenzyme A,...).

Ils peuvent être des messagers pour la communication intracellulaire (**AMP cyclique = AMPc**).

L'**ATP** est la **forme principale de stockage de l'énergie dans les cellules**.

### 2) Les Acides Nucléiques

L'**ARN** (=Acide Ribo Nucléique) est un assemblage de Ribonucléotides (AMP, GMP, CMP, UMP). Il joue un rôle dans l'expression de l'information génétique et la synthèse des protéines.

L'**ADN** (= Acide Désoxyribo Nucléique) est un assemblage de Désoxyribonucléotides (dAMP, dGMP, dCMP, dTMP). Il joue un rôle central dans le stockage de l'information génétique à l'intérieur du noyau des cellules.

