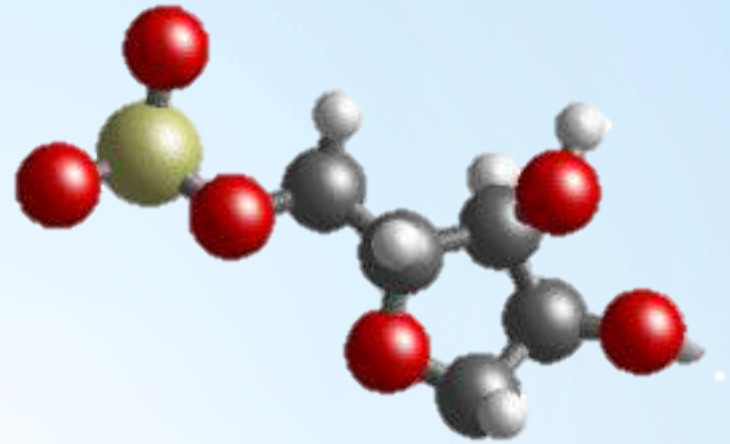
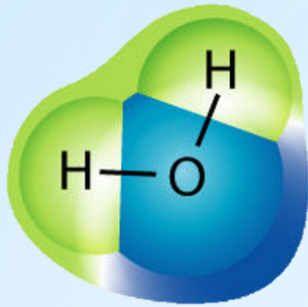


Biochimie, Cours 1

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

*Tut' Rentrée PAES 2012-2013
Justine, Andrea, Alistair*



I/ Introduction au Métabolisme

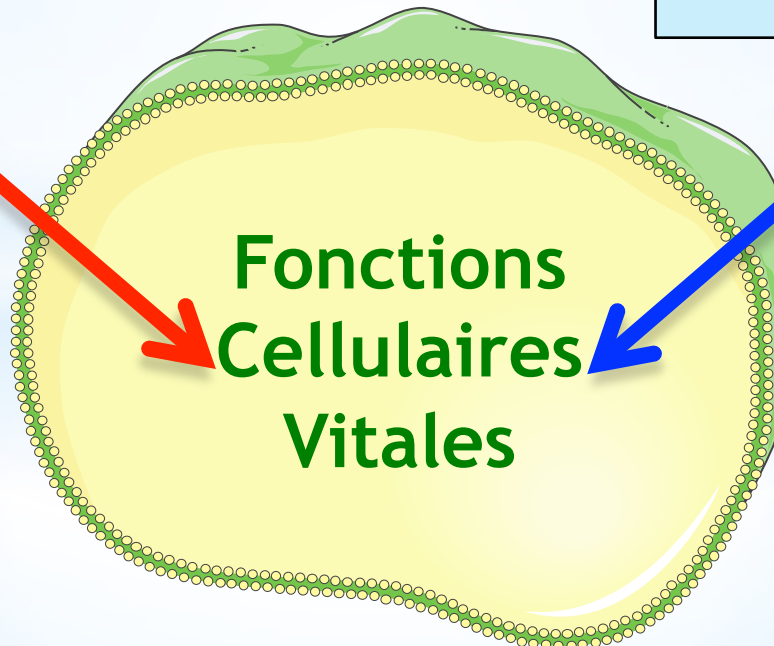


1) Définition du Métabolisme

Métabolisme = Ensemble des réactions chimiques mettant un jeu les molécules présentes dans les cellules des êtres vivants

Production
d'énergie

Synthèse de
molécules
(matière)



Métabolisme

```
graph TD; A[Métabolisme] --> B[Catabolisme]; A --> C[Anabolisme]; B --- D[+]; D --- C;
```

Catabolisme

But : Production d'énergie

Moyen : Dégradation de molécules complexes et variées en molécules plus simples et moins nombreuses

+

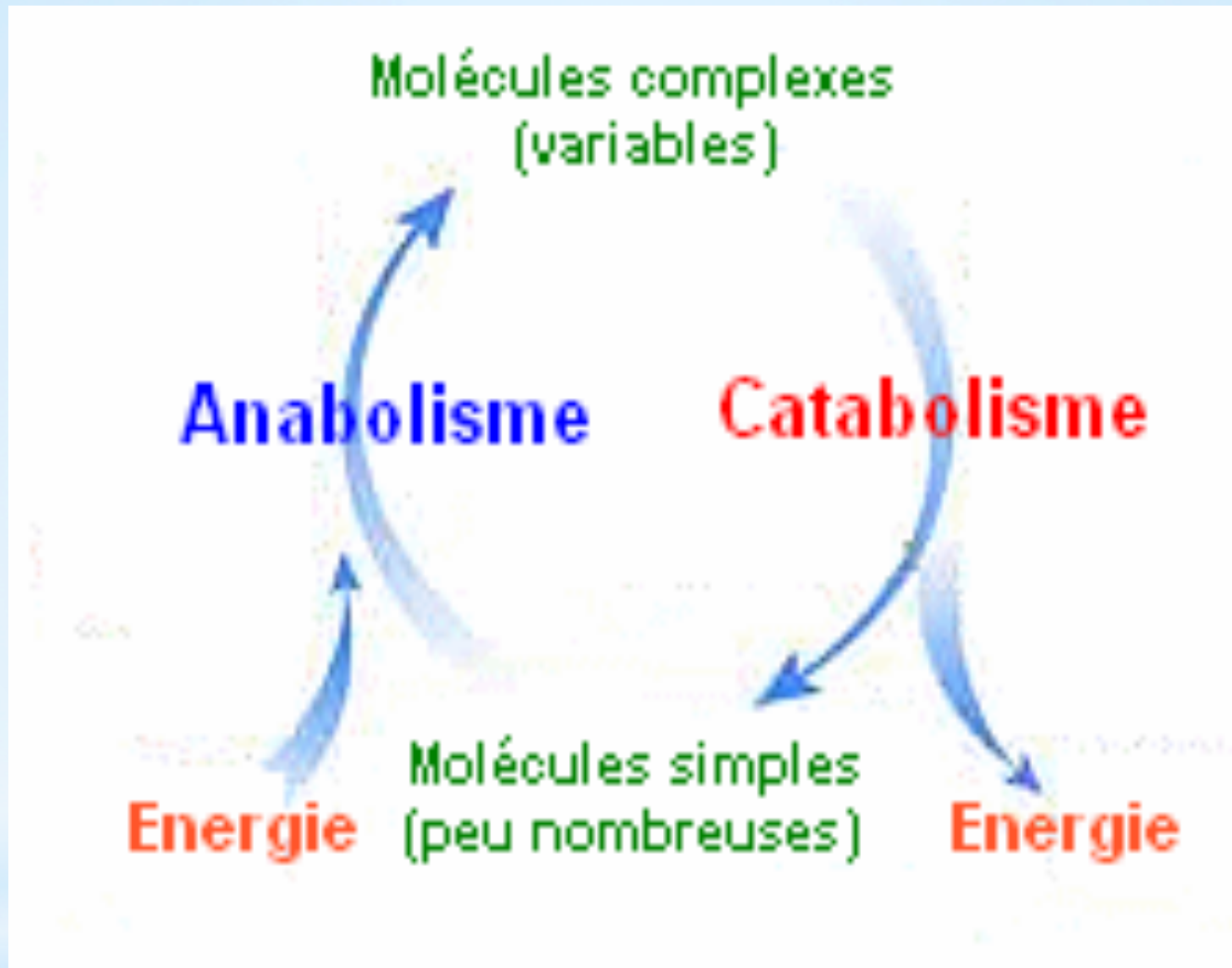
Anabolisme

But : Synthèse de molécules complexes et variées à partir de molécules plus simples et moins nombreuses

Moyen : Consommation d'énergie

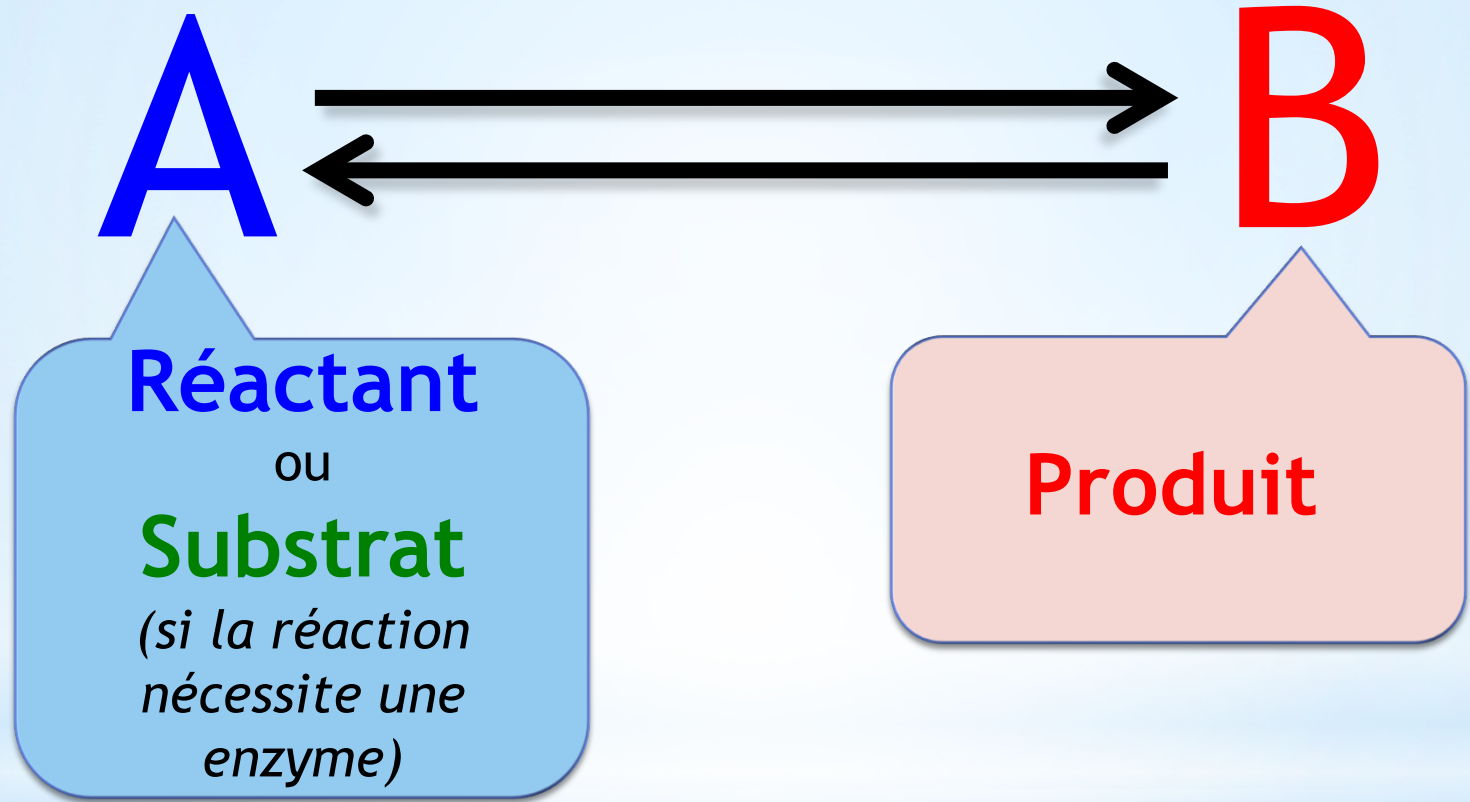
2) Catabolisme vs Anabolisme

	Catabolisme	Anabolisme
Objectif	Production d'énergie par dégradation de molécules	Synthèse de molécules grâce à l'utilisation d'énergie
Type de réaction	Oxydations <i>(habituellement)</i>	Réductions <i>(habituellement)</i>
Bilan énergétique	Production d'énergie	Consommation d'énergie
Molécules de départ	Molécules complexes et variables	Molécules plus simples et peu nombreuses
Molécules d'arrivée	Molécules plus simples et moins nombreuses	Molécules complexes et variables



L'**énergie** libérée par le **Catabolisme** est utilisée pour permettre le déroulement de l'**Anabolisme**.

3) Les Réactions Chimiques

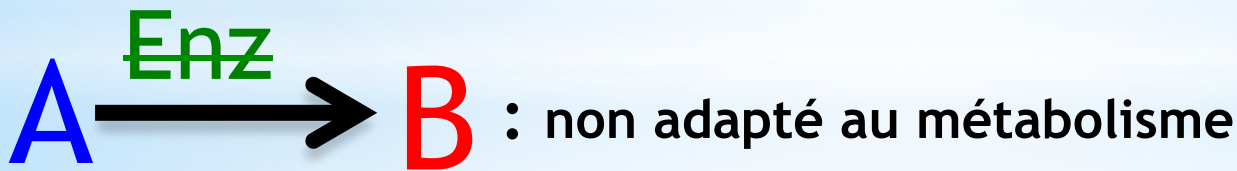
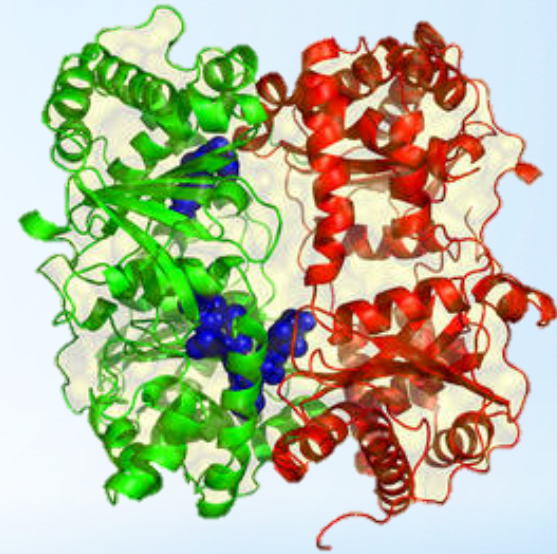


Transformation d'un ou plusieurs **Réactants** aboutissant à un ou plusieurs **Produits**

4) Les Enzymes

En biologie, les réactions chimiques se font en présence d'une **enzyme**.

Les **enzymes** sont des **protéines** dont le rôle est d'accélérer les réactions chimiques : ce sont des **biocatalysateurs**



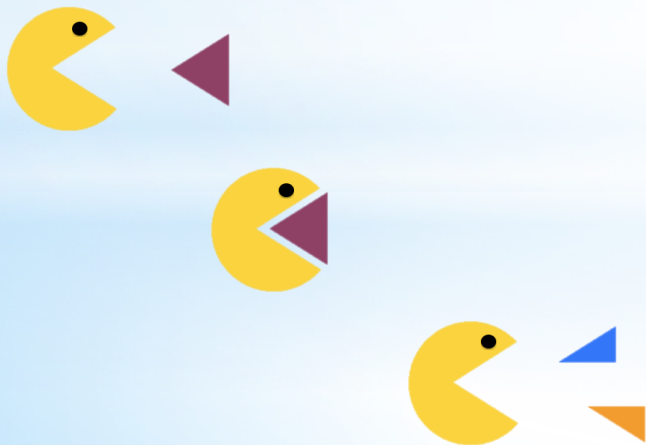
Spécificité des enzymes

De substrat

Une enzyme n'agit que sur un seul et même type de substrat

De réaction

Une enzyme ne catalyse qu'une seule et même réaction chimique



Nom d'une enzyme

=

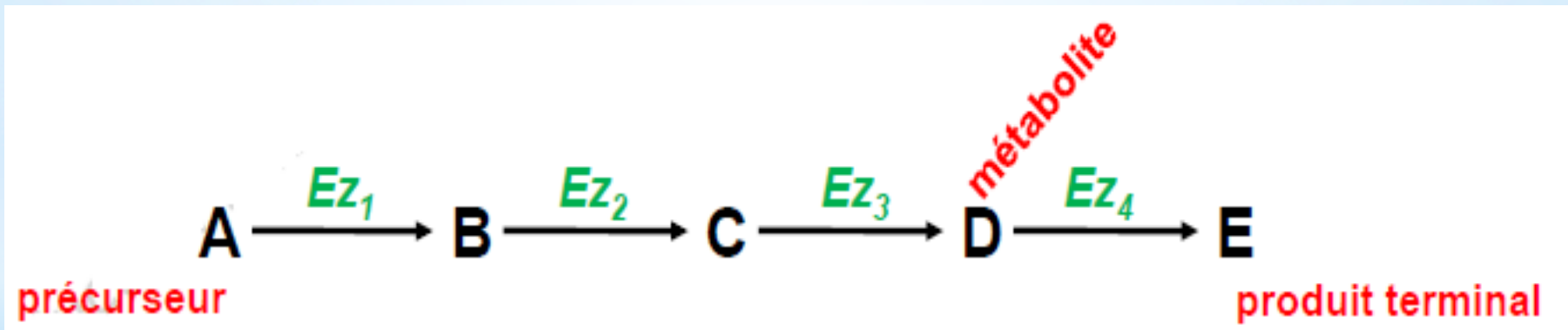
Type de réaction

+

Suffixe « -ase »

5) Notion de Voie Métabolique

Les **réactions chimiques** du métabolisme ne sont pas indépendantes les unes des autres, mais incluses dans des séquences de réactions ordonnées = **Voies Métaboliques**



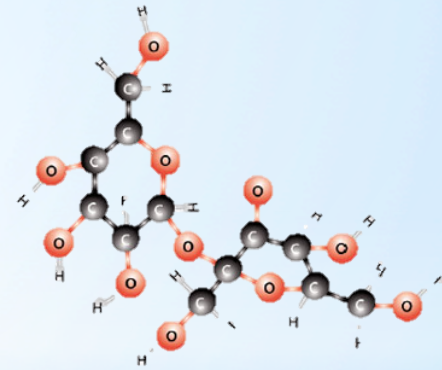
Une **voie métabolique** commence avec un **précurseur** (A) et finit avec un **produit terminal** (E).

Les intermédiaires d'une **voie métabolique** sont appelés **métabolites** (B, C et D).

Les **voies métaboliques** ayant pour but de produire de l'énergie par la dégradation de molécules sont des **voies cataboliques**.



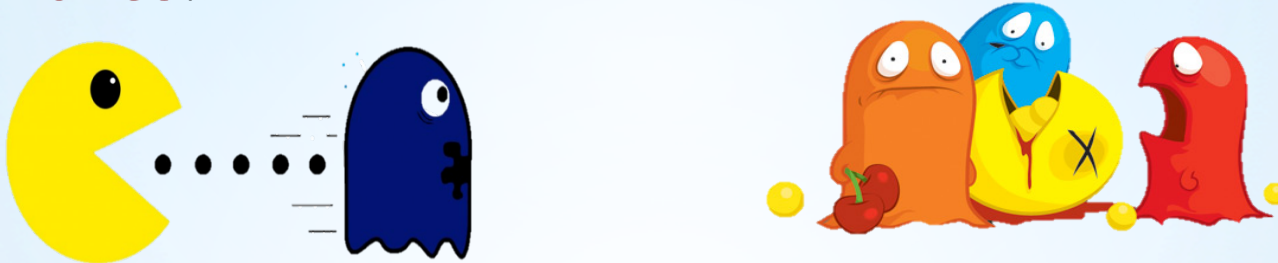
Les **voies métaboliques** ayant pour but la synthèse de molécules en consommant de l'énergie sont des **voies anaboliques**.



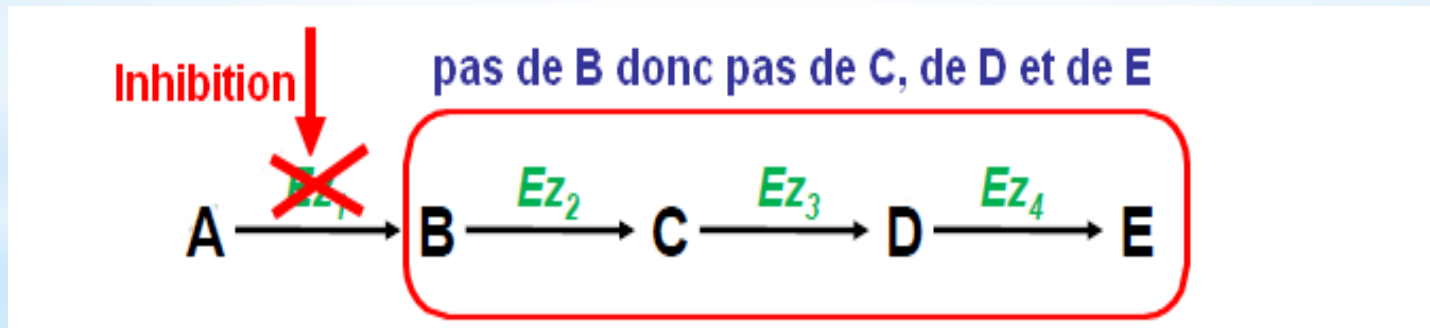
*Il existe de voies métaboliques à la fois **cataboliques** et **anaboliques**, ce sont des voies amphiboliques.*

6) Régulation des Voies Métaboliques

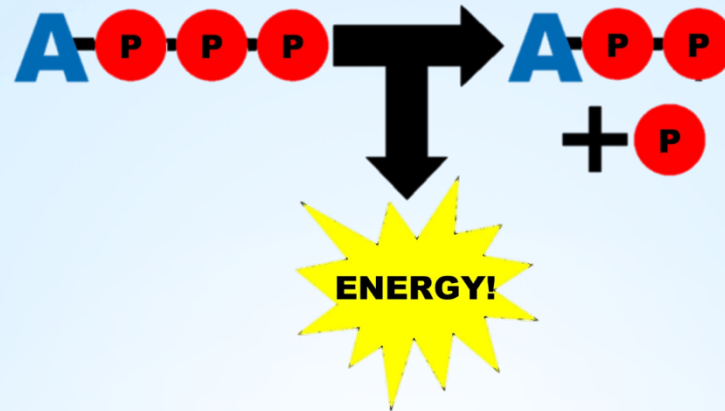
L'activité et la quantité des **enzymes** sont finement régulées par des **métabolites cellulaires** ou par l'**action d'hormones**.



L'action de l'enzyme est soit favorisée soit défavorisée.



Si on veut accélérer ou ralentir une voie métabolique : on peut activer ou inhiber les **enzymes de la voie métabolique**.



II/ Notions de Bioénergétique



1) Prérequis

Bioénergétique = Etude des variations d'énergie associées aux réactions chimiques du métabolisme

Premier Principe de la Thermodynamique :

L'énergie totale de l'univers demeure constante

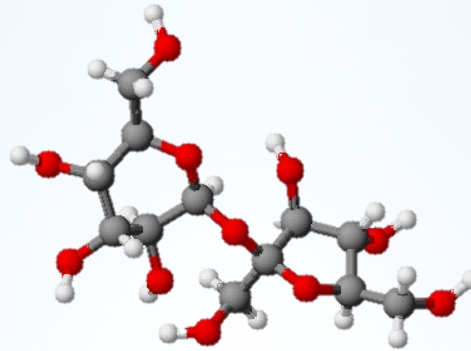
Elle peut être transformée, transférée mais jamais créée ou détruite



Rappel : L'énergie désigne toutes les formes de travail et de chaleur. Elle se mesure en Joules (J) ou en Calories (cal).

2) Energie Libre G

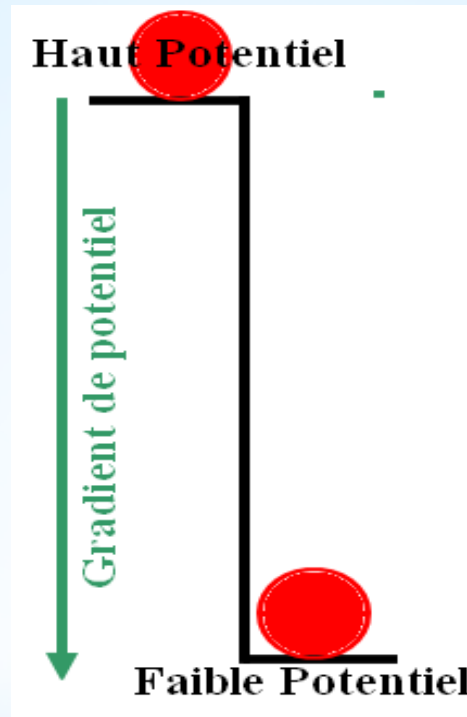
L'**Energie Libre G** (exprimée en kJ/mol ou kcal/mol) d'une molécule est la partie de l'énergie contenue dans une molécule **susceptible de fournir un travail utile**.



Partie de l'énergie
susceptible de fournir
un travail utile
= Energie Libre G

Partie de l'énergie ne
pouvant fournir que **de**
la chaleur

En d'autres termes, l'**Energie Libre G** est le **potentiel** que possède une molécule pour se transformer.

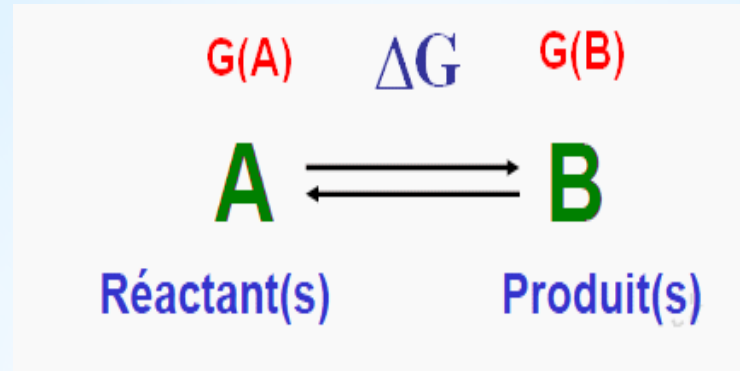


Une réaction chimique évolue selon un **gradient de potentiel** : dans le sens de la molécule possédant le **G le plus élevé** vers la molécule possédant le **G le plus faible**

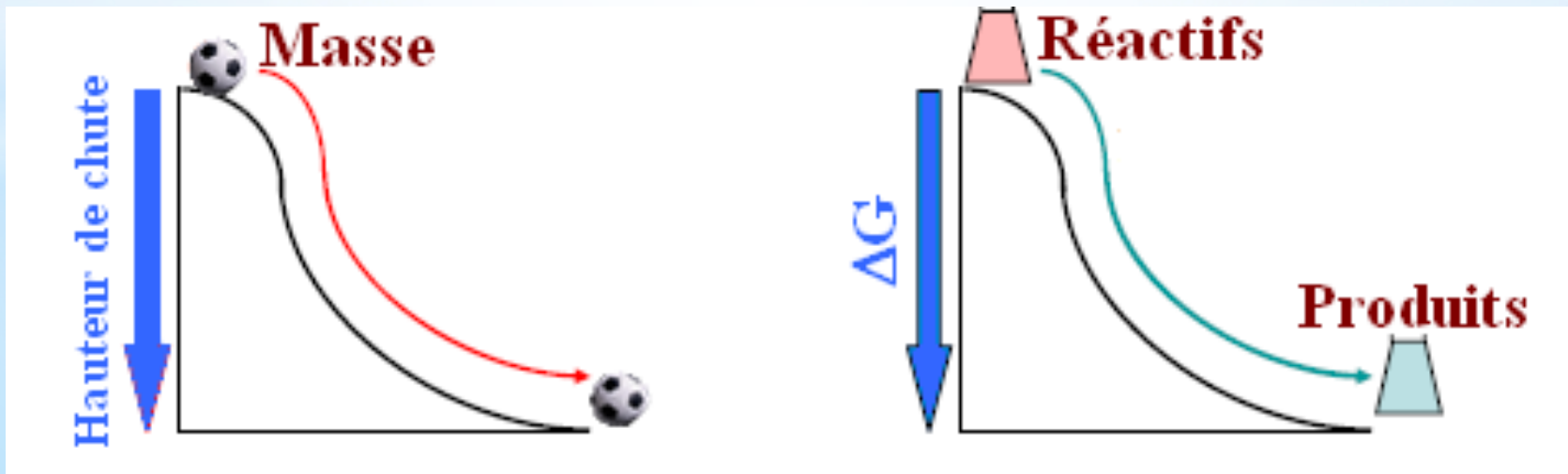
(de la molécule la moins stable chimiquement vers la molécule la plus stable)

3) Variation d'Énergie Libre ΔG

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

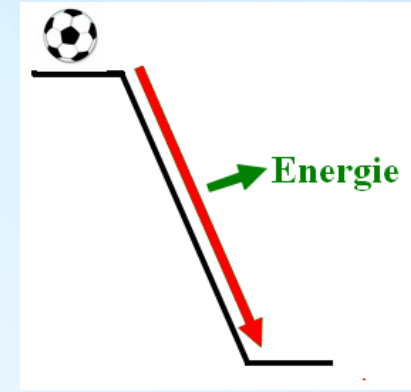


La **Variation d'Énergie Libre** $G(B) - G(A)$ entre les deux espèces est notée ΔG .

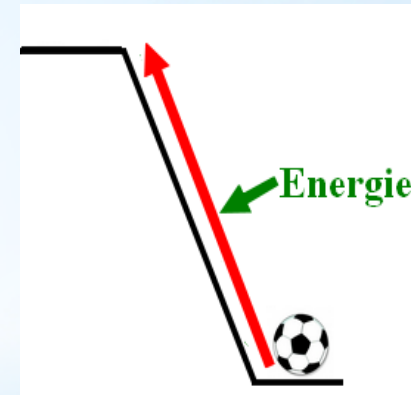


Lors d'une réaction de type $A \rightleftharpoons B$, 3 situations existent :

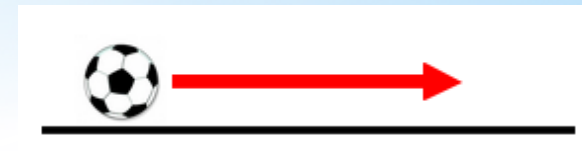
- $\Delta G < 0$ alors $G(B) < G(A)$: la réaction est **EXERGONIQUE**. Elle est dite **irréversible**.
La réaction $A \rightarrow B$ est spontanée et libère une quantité d'énergie $\Delta G = |G(B) - G(A)|$.



- $\Delta G > 0$ alors $G(B) > G(A)$: la réaction est **ENDERGONIQUE**. Elle est dite **impossible**.
La réaction $A \rightarrow B$ ne se fait pas de manière spontanée.
Il faut apporter une quantité d'énergie $\Delta G = |G(B) - G(A)|$ pour que la réaction se produise.



- $\Delta G = 0$ alors $G(B) = G(A)$: La réaction est **A L'EQUILIBRE**, elle se fait **dans les deux sens** : elle donc est **réversible**. 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**.



Conclusion

ΔG permet de prédire le sens et l'importance d'une réaction chimique



Problème : Il est nécessaire de quantifier le ΔG d'une réaction chimique. Comment peut on le quantifier ?



4) Conditions Standards et Quelconques

Pour quantifier le ΔG d'une réaction, il faut connaître son ΔG^0

ΔG^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 ΔG^0

1) C'est une grandeur facile à mesurer : il suffit de connaître la **constante d'équilibre K** de la réaction chimique.

$$\Delta G^0 = - RT \times \ln K$$

(R : Constante des Gaz Parfaits)

2) C'est un **constante** (*invariable*) propre d'une réaction chimique donnée

3) Elle donne une indication sur l'état d'équilibre d'une réaction : elle est le reflet de sa **constante d'équilibre K**



☹ Inconvénients du ΔG^0

1) Les conditions standards sont des conditions idéales : les concentrations initiales des réactants (A) et des produits (B) sont souvent **différentes de 1M**

→ **Influence sur le sens et l'importance d'une réaction chimique**



2) Les concentrations initiales des réactants (A) et des produits (B) ne sont pas pris en compte : seul leur concentration à l'équilibre (constante d'équilibre K) l'est.

→ **ΔG^0 n'est pas suffisant pour décrire le sens et l'importance d'une réaction chimique dans des conditions quelconques (non standards)**

Le ΔG^0 permet cependant de calculer le ΔG :

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln([B]_i/[A]_i)$$

Le ΔG dépend :

1) du ΔG^0 de la réaction: *reflet de l'état d'équilibre (constante d'équilibre K).*

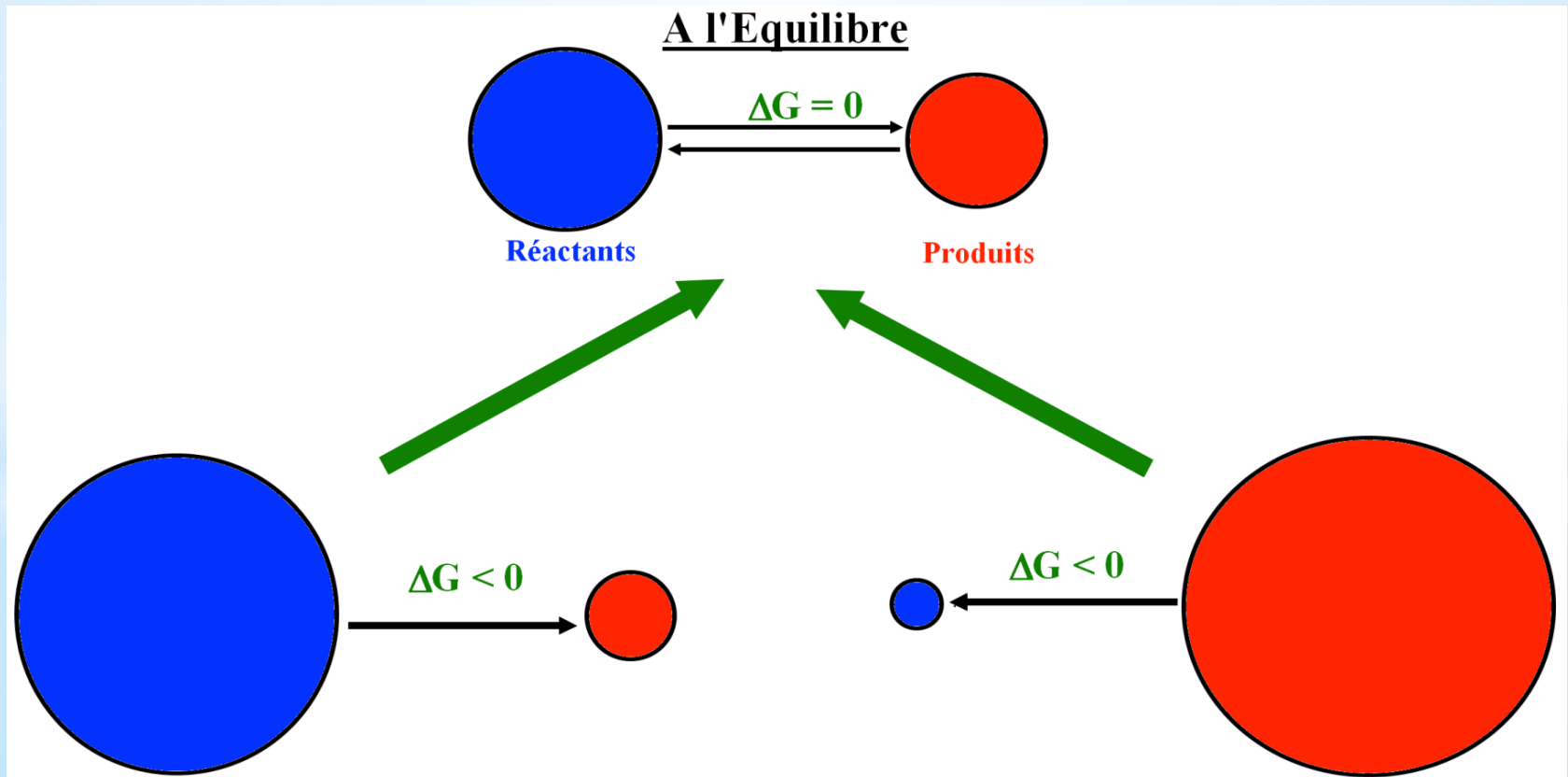
2) des **concentrations initiales des réactants $[A]_i$ et des produits $[B]_i$** , lorsqu'elles sont différentes de 1M (hors des conditions standards, dans des conditions quelconques)



→ ΔG permet de décrire le sens et l'importance d'une réaction dans des conditions quelconques (non standards).

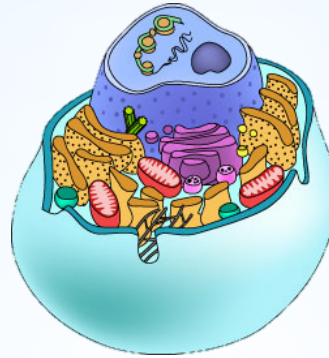
Pour des concentrations de A et de B quelconques $\rightarrow \Delta G \neq 0$ ce qui fait évoluer la réaction dans un sens ou dans l'autre (*pour former plus de produit ou de réactants*) jusqu'à ce que l'**état d'équilibre** soit atteint.

A l'équilibre : $\Delta G = 0$ (la réaction n'évolue plus)



5) Conditions Physiologiques

Le ΔG et le ΔG^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, à pH = 7**



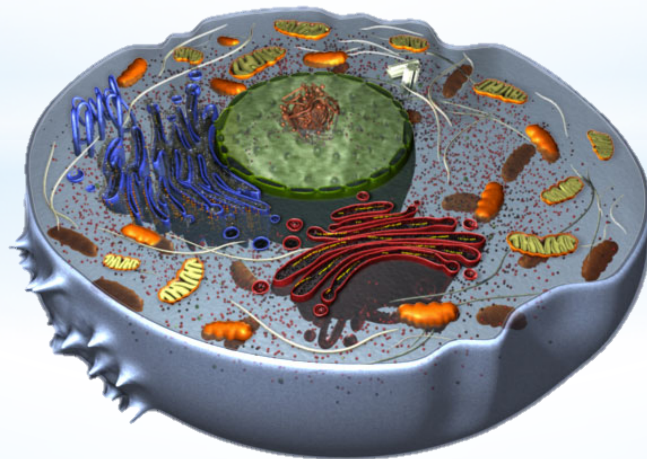
On définit les **conditions standards d'un système biologique** → identiques aux **conditions standards**, à l'exception :

- **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)

Dans les **conditions standards biologiques** :

$\Delta G^0 \rightarrow \Delta G'^0$: Variation d'Énergie Libre Standard dans les conditions standards biologiques

$\Delta G \rightarrow \Delta G'$: Variation d'Énergie Libre dans des conditions biologiques quelconques



Conclusions relatives à la Variation d'Énergie Libre

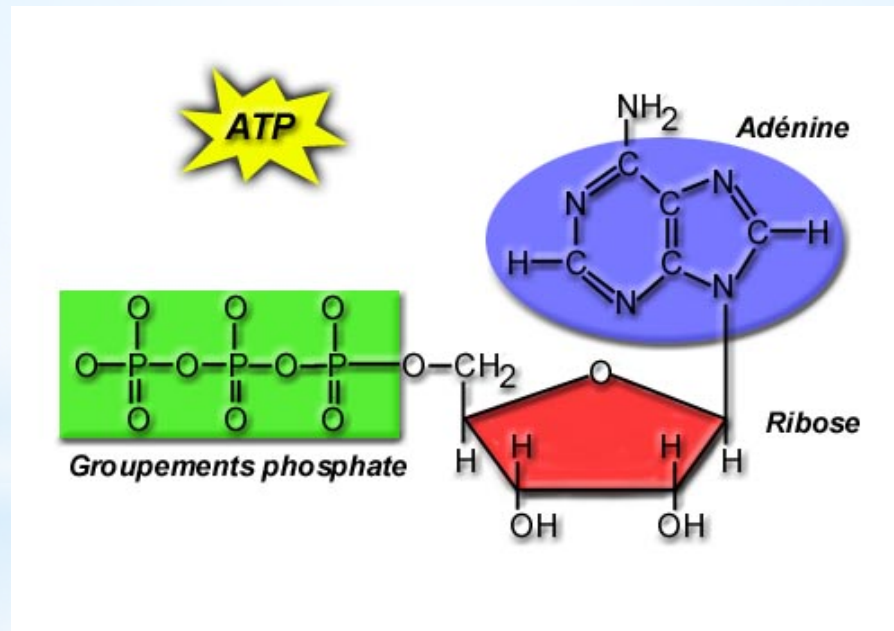
- 1) Lors de l'étude des réactions du métabolisme, c'est le $\Delta G'^0$ qui sera donné car **c'est une constante** propre d'une réaction, pratique pour se faire une idée de l'équilibre des réactions se déroulant **dans les cellules**.
- 2) Cependant, c'est le $\Delta G'$ qui déterminera au final **le 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) 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

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

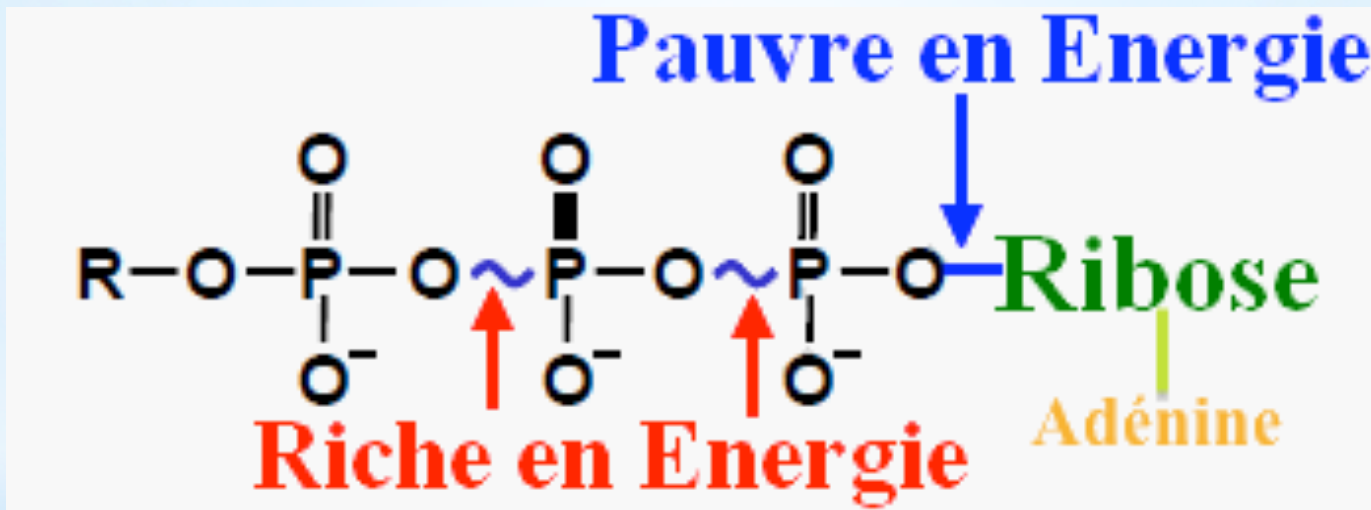
En biologie, la forme principale et universelle de stockage de l'énergie est un nucléotide : l'**Adénosine Tri Phosphate** ou **ATP**.



C'est une molécule à « **haut potentiel énergétique** » (*riche en énergie*), présente dans toutes les cellules de l'organisme. 28

Le « **haut potentiel énergétique** » de l'**ATP** est dû à la présence de « **liaisons à haut potentiel énergétique (liaison HPE)** » dans sa structure.

Ces liaisons sont celles qui lient 2 phosphates entre eux : ce sont des **liaisons de type phospho-anhydride**.



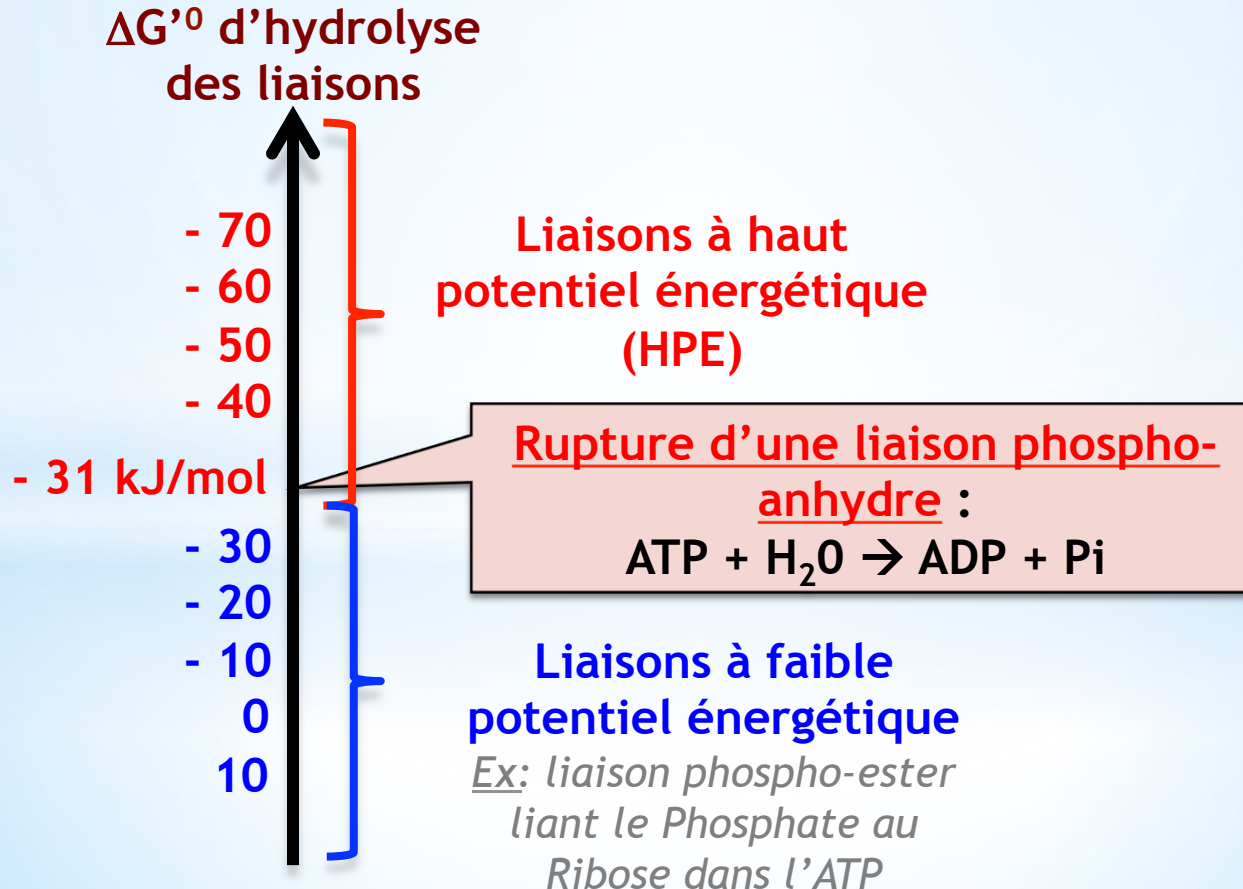
→ L'**ATP** en contient **2** car il possède 3 Phosphates

→ 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

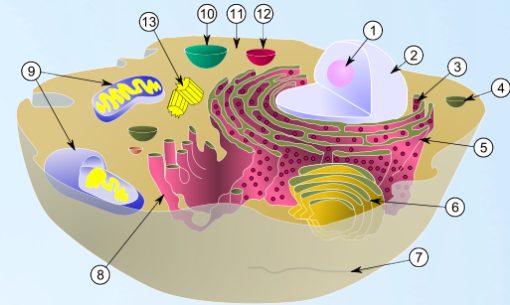
Qu'est-ce qu'une « liaison à haut potentiel énergétique (HPE) » ?

Il s'agit d'une **liaison covalente** 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**.



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**.



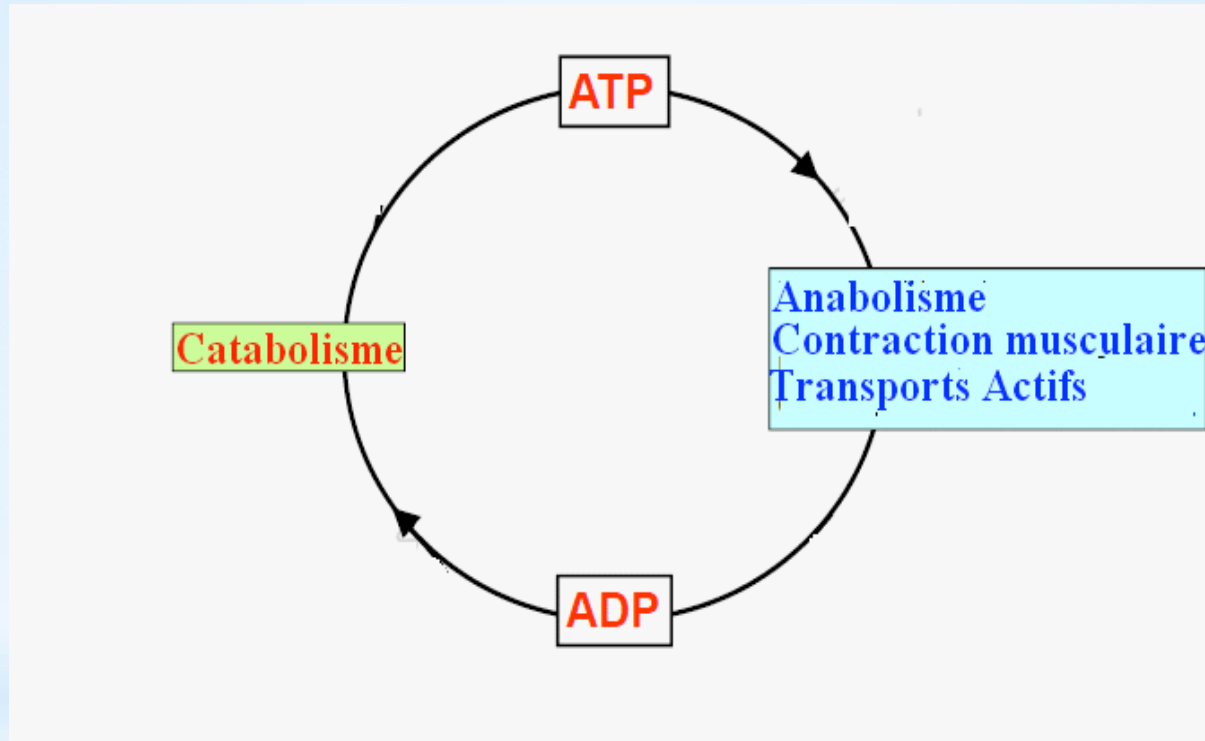
→ Le voies cataboliques libèrent de l'énergie qui est alors utilisée pour la synthèse d'ATP à partir d'ADP

→ 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 $\text{ATP} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ADP} + \text{P}_i$ le plus souvent (P_i est un phosphate inorganique libre)

- soit $\text{ATP} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{AMP} + \text{PP}_i$ plus rarement (PP_i est un pyrophosphate inorganique, c'est à dire 2 phosphate liés par une liaison phospho-anhydre « 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).



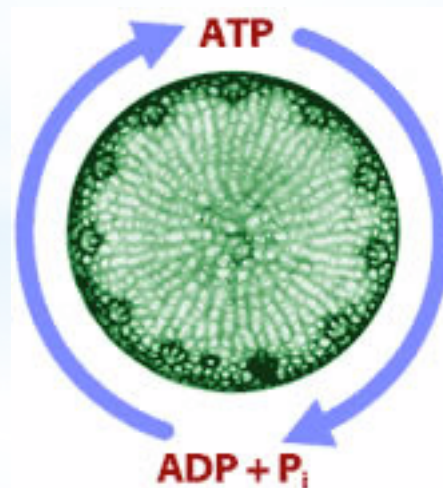
C'est donc le **turn over de l'ATP** qui est important : *l'ATP est hydrolysé en ADP, cet ADP va devoir être rapidement re-phosphorylé en ATP, pour ensuite être hydrolysé en ADP à nouveau, et ainsi de suite...*

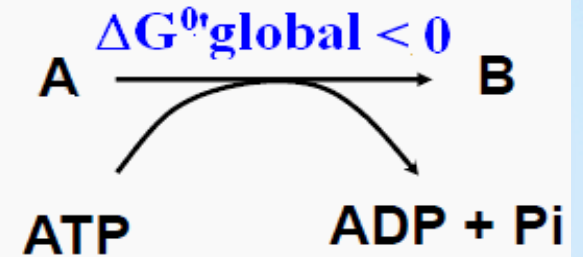
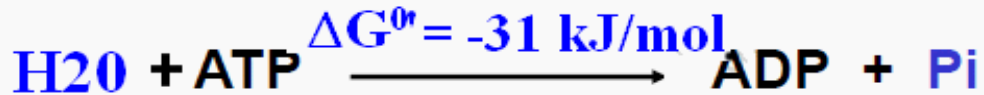
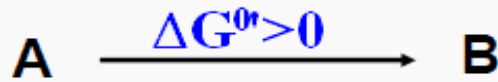
8) Notion de réactions couplées

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** ($\Delta G' < 0$)

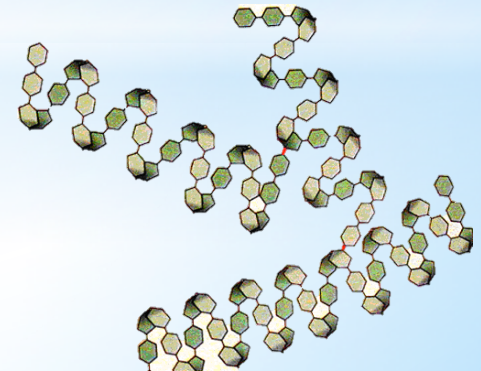
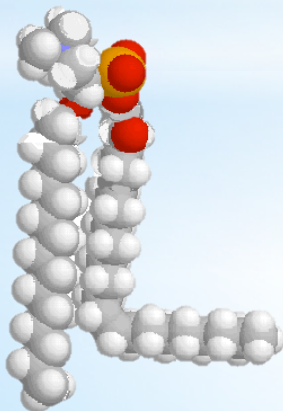
L'**énergie** libérée par l'**hydrolyse de l'ATP en ADP** est convertie en :

- **Energie pour un travail** : *la transformation endergonique (défavorable) de A en B*

- **Chaleur** : *l'énergie excédentaire non utilisée pour un travail est convertie en chaleur*

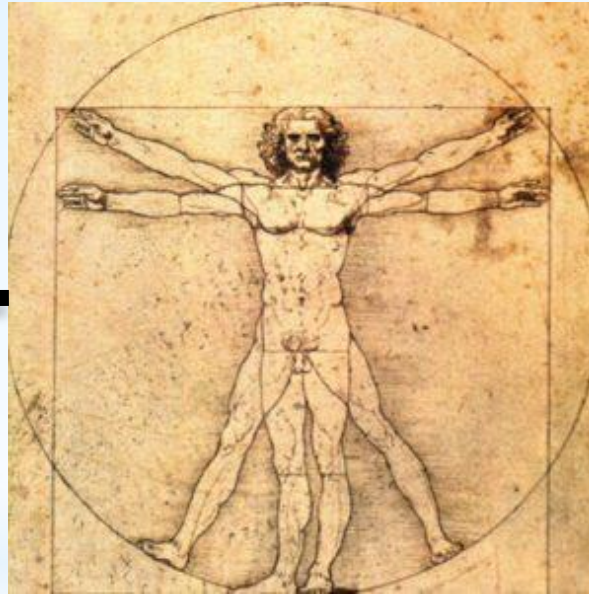


III / Présentation des principales biomolécules



Les organismes vivants sont composés majoritairement :

- d'**eau H₂O** (*le corps humain est composé de 60 à 70% d'eau, c'est le solvant de la vie*)
- de **composés organiques** (*c'est à dire de molécules basées sur la chimie du carbone*)



Eau H₂O

Composés Organiques, 4 types principaux :

1) **Protides**

2) **Glucides**

3) **Lipides**

4) **Nucléotides/
Acides Nucléiques**

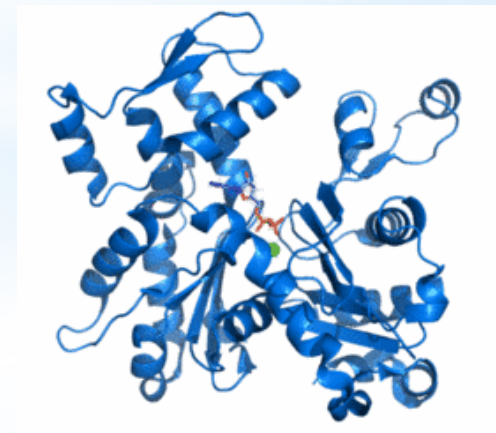
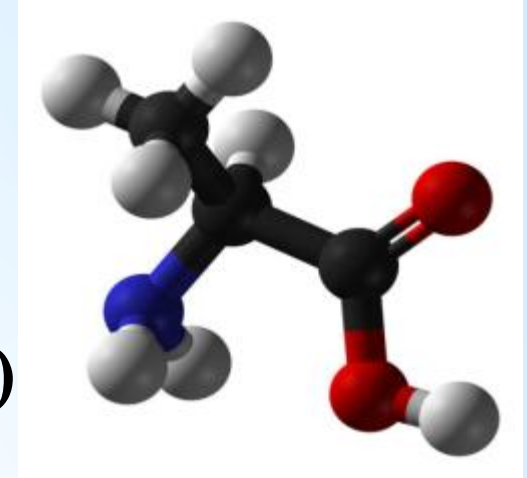
Dans chacune de ces 4 familles, il existe :

- **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

Ils comprennent:

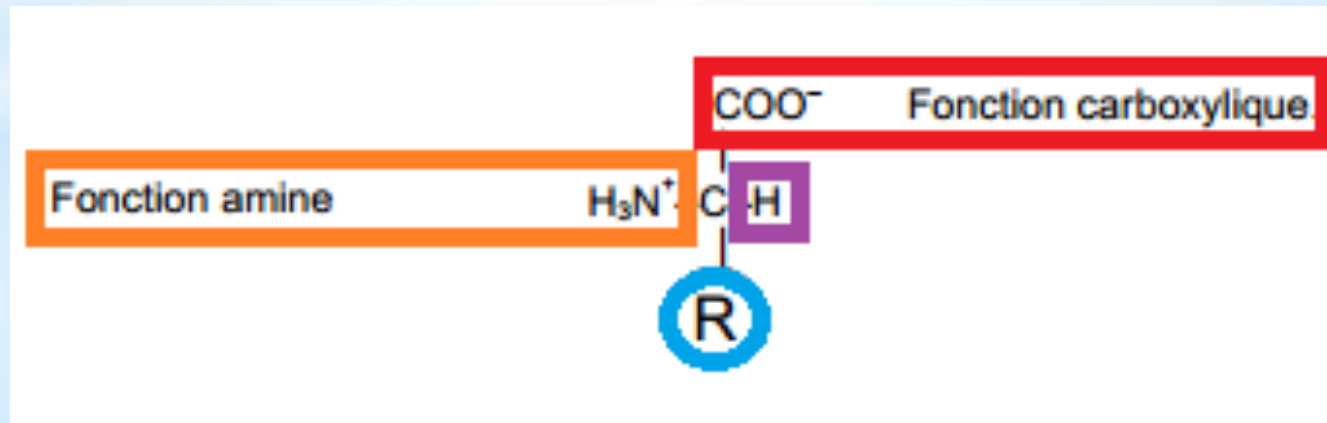
- **Les Acides Aminés** (= monomères)
- **Les Protéines ou Peptides** (= polymères) qui sont des macromolécules constituées par un assemblage d'acides aminés



a) Les Acides Aminés (AA)

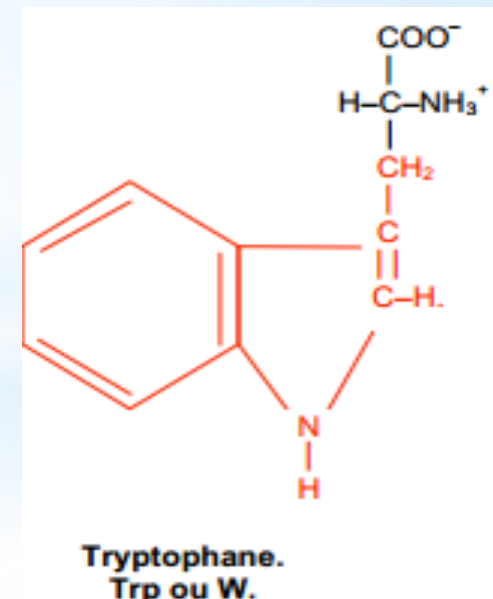
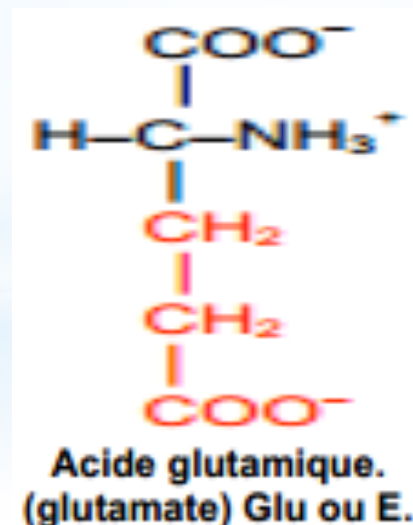
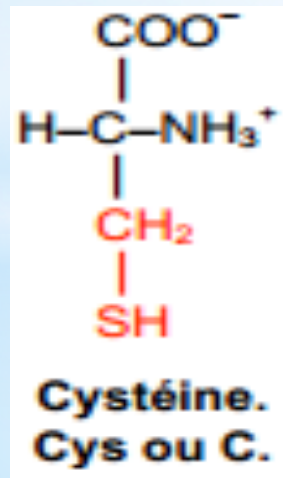
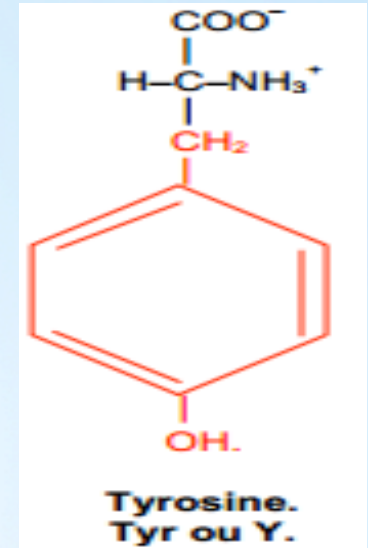
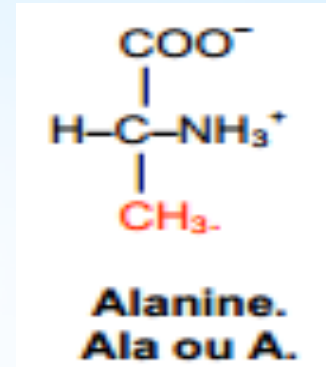
Les AA présentent tous une structure commune → 1 atome de Carbone central (= Carbone α) qui porte :

- 1 atome d'Hydrogène
- 1 fonction acide carboxylique COOH/COO-
- 1 fonction amine NH₃⁺/NH₂
- 1 chaîne latérale notée «R» variable selon les AA et permettant de les différencier



Les différents Acides Aminés :

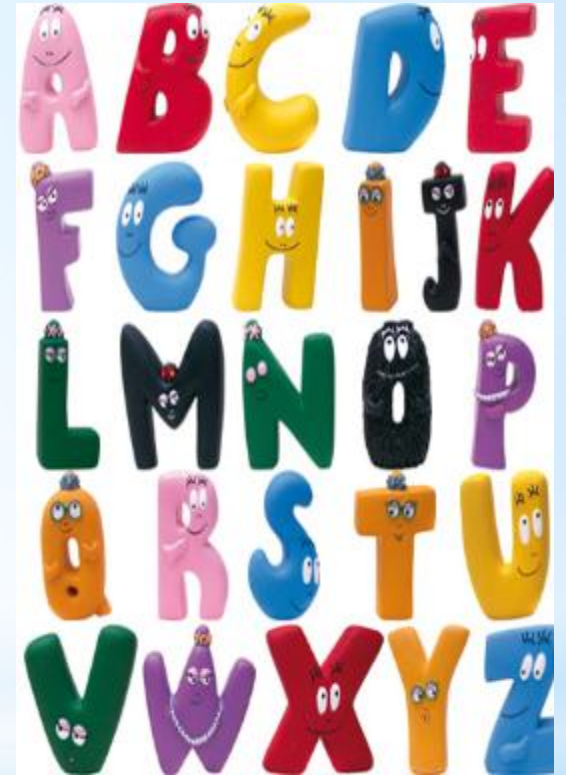
Chez l'Homme, il existe **20 AA protéinogènes** codés par le code génétique s'individualisant de par leurs chaines latérales



Nomenclature:

A chaque **AA** correspond :

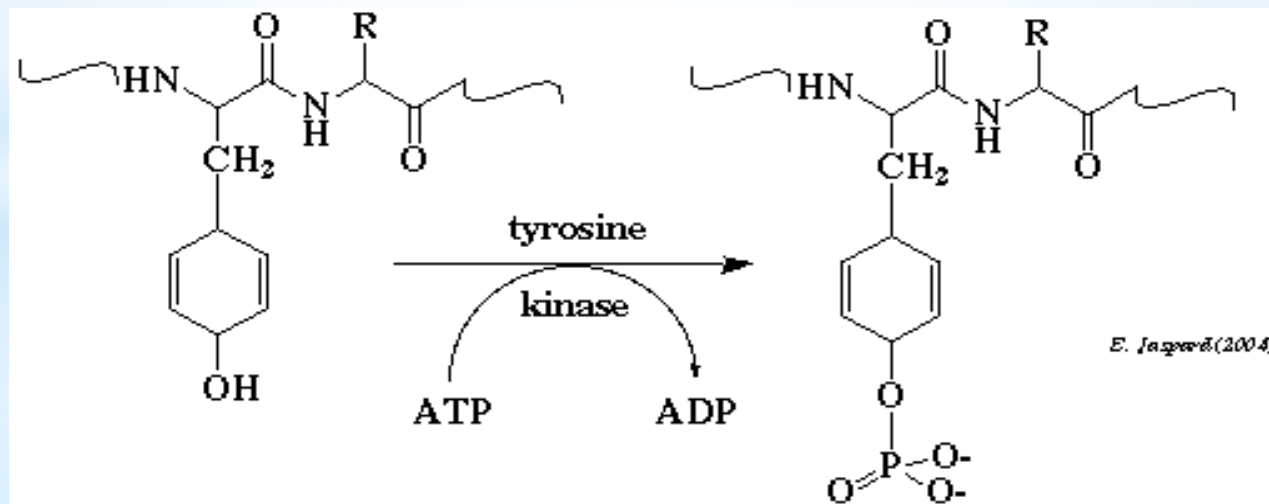
- une lettre de l'alphabet (parfois logique [Alanine=A, Valine=V...] ou pas [Aspartate=D, Tryptophane=W...])
- trois lettre de l'alphabet (ex : Leucine=Leu, Glycine=Gly, Valine=Val,...)



Modifications post-traductionnelles et AA non protéinogènes:

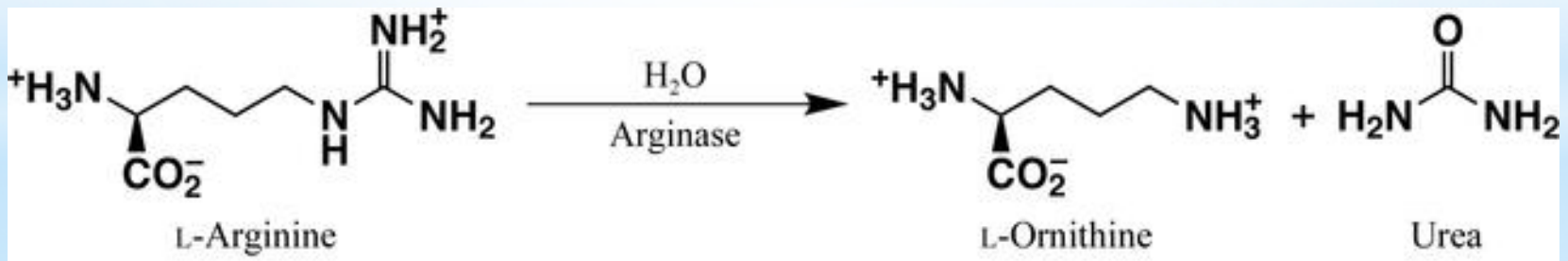
- Les **AA** incorporés dans des **Protéines** peuvent subir des **modifications enzymatiques** nommées **modifications post-traductionnelles**

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

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



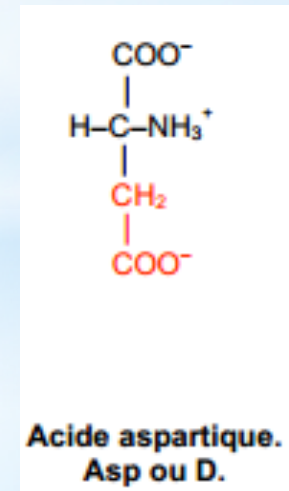
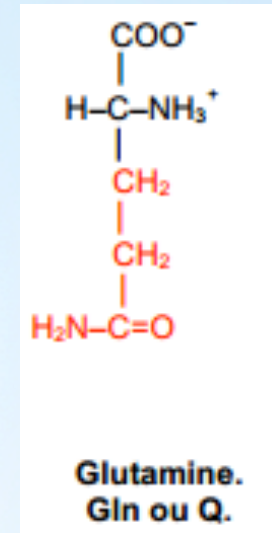
Solubilité des Acides Aminés:

- Certains **AA** seront dits **polaires (= hydrophiles/lipophobes)** : ils sont **solubles dans l'eau**. Ils se trouvent surtout à la surface des protéines solubles.

Ex : la Sérine, la Glutamine...

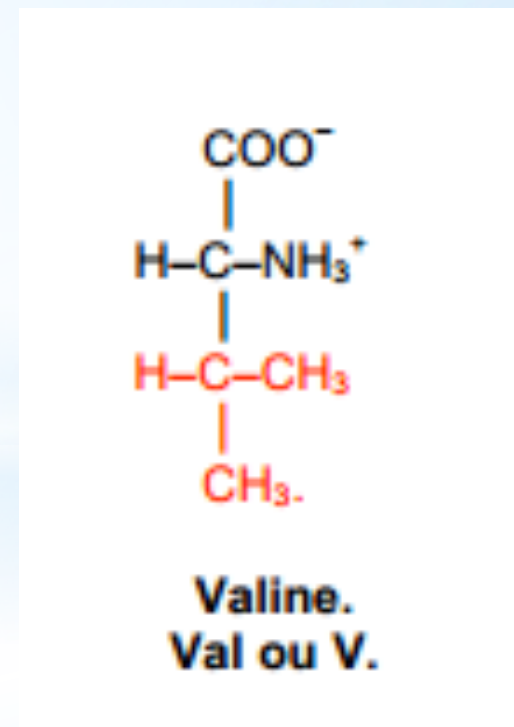
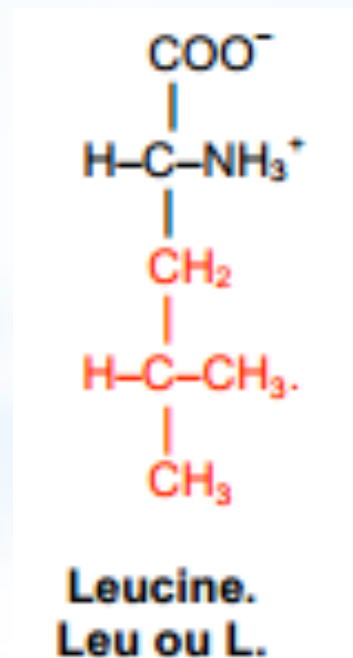
NB : Parmi ceux-ci, certains seront **chargés** : leur chaîne latérale peut être ionisée ou pas selon le pH.

Ex : la Lysine, l'Aspartate...



- D'autres **AA** seront dits **apolaires (=hydrophobes/ lipophiles)** : ils ne sont pas ou peu solubles dans l'eau. Ils se trouvent plutôt à l'intérieur des protéines (à l'abri de l'eau).

Ex : la Leucine, la valine...

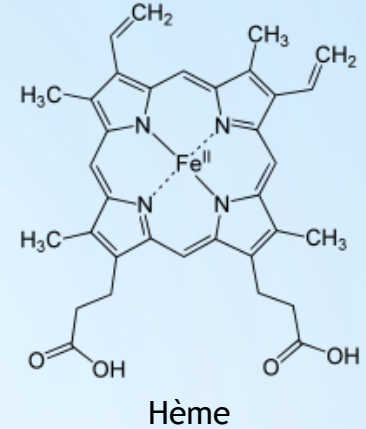


Les rôles des Acides Aminés:

- ✓ 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



- ✓ Les **AA** sont à la base de nombreuses autres molécules 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*)

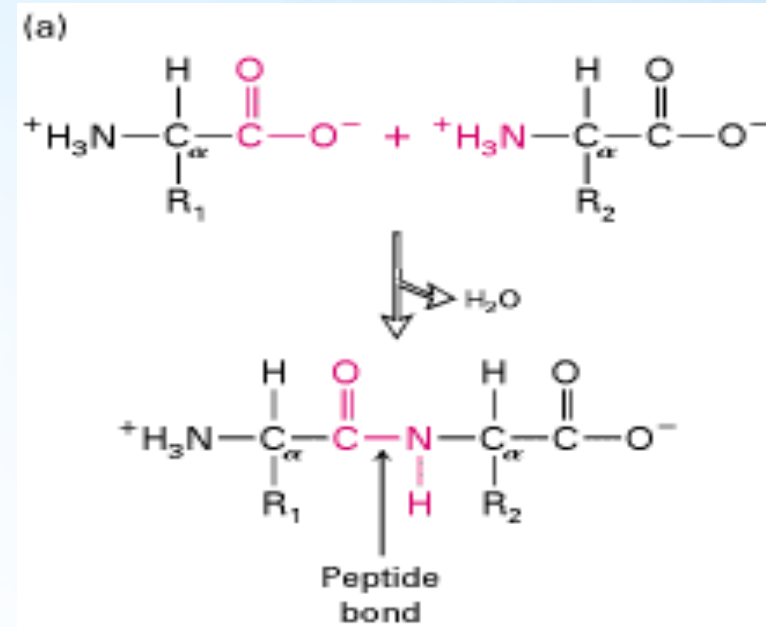


b) Les Protéines et les Peptides

Structure:

Les Protéines sont des macromolécules composées d'une ou plusieurs chaînes d'AA liés entre eux par des liaisons peptidiques.

La liaison peptidique est une liaison covalente de type amide



Nomenclature:

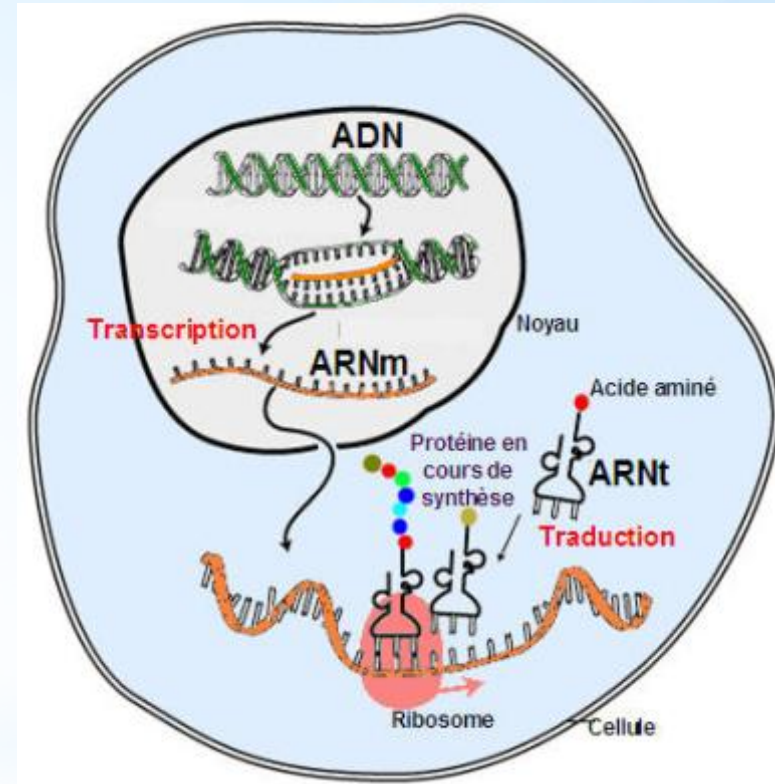
Seul le dernier AA d'une chaîne peptidique est noté en entier dans le nom d'un(e) peptide/protéine, les autres AA qui le précèdent portent le suffixe -yl.

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

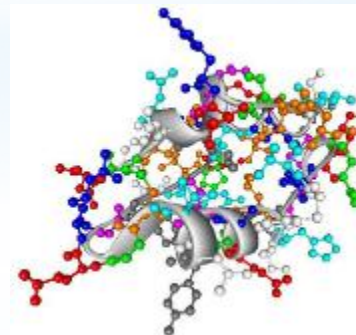
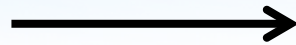
Rappel synthèse d'une protéine:

1/ **TRANSCRIPTION** : sur base de l'ADN, un brin d'ARNm est synthétisé.

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

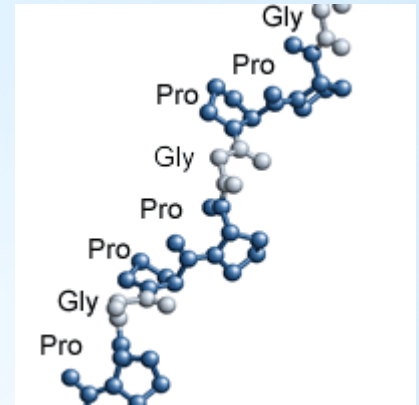


Et tadaaam !
On obtient une
protéine 😊

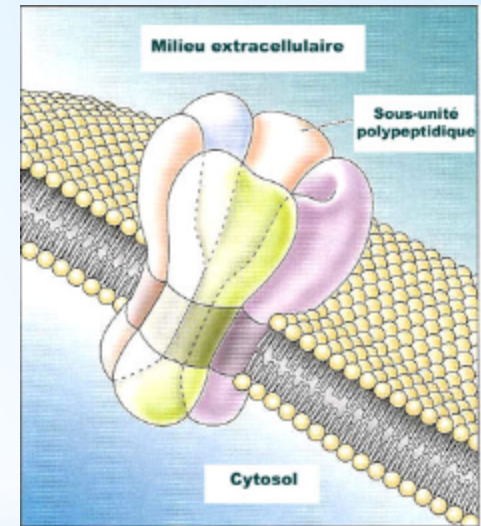


Le rôle des protéines:

- Les **Protéines** peuvent être des **enzymes**, des **hormones**, des **transporteurs** (*Albumine*, *Hémoglobine*,...),...
- Elles ont également un rôle structural : le **collagène**
- Elles peuvent avoir un rôle moteur : l'**Actine** et la **Myosine**.



- 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.



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

a) Les Monosaccharides = Oses

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

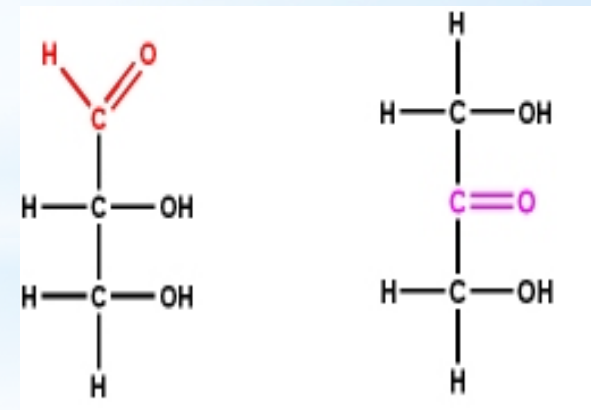
➤ Selon le nombre d'atomes de carbone:

➔ Triose=3C ; Tetrose=4C ; Pentose=5C ; Hexose=6C ;
Heptose=7C

➤ Selon la fonction principale :

➔ soit des **Aldoses** (avec une fonction aldéhyde)

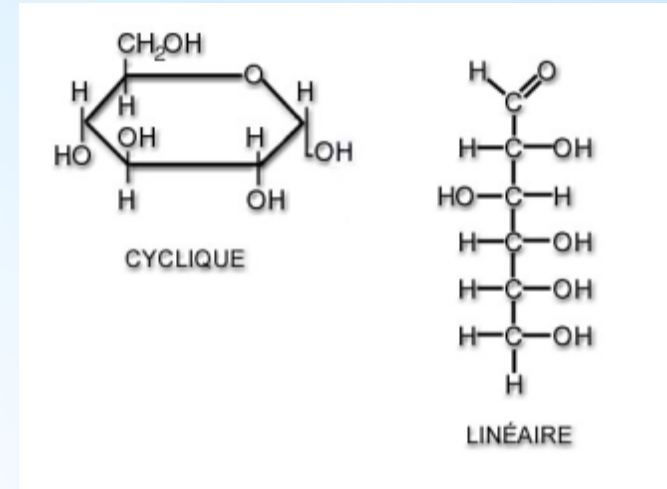
➔ soit des **Cétoses** (avec une fonction cétone)



Aldose

Cétose

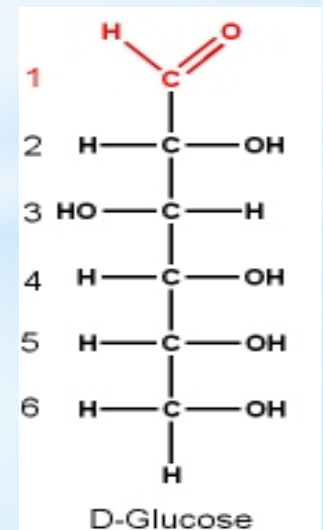
Les **oses** peuvent se présenter sous **forme linéaire** ou bien sous **forme cyclique** (*on peut passer facilement d'une forme à une*)



Ex : le Glucose

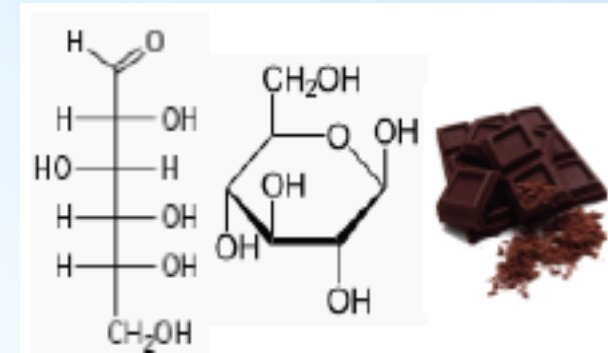
Numérotation des carbones :

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

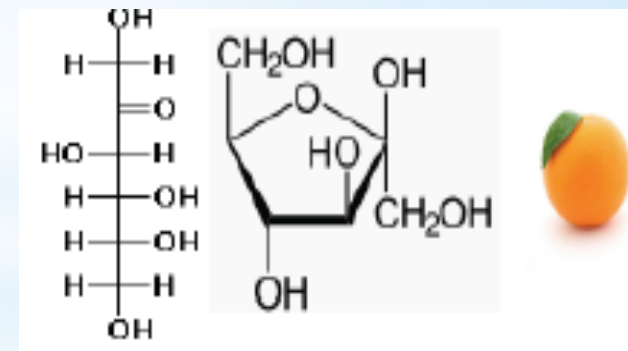


Les principaux monosaccharides:

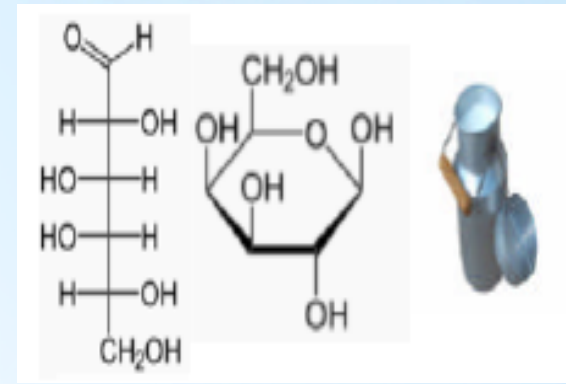
➤ **Glucose** : c'est un **hexose** et un **aldose** (soit un **aldohexose**). *Il est directement assimilable par l'organisme et sert de carburant essentiel (permet la production d'énergie) pour le cerveau, les muscles...*



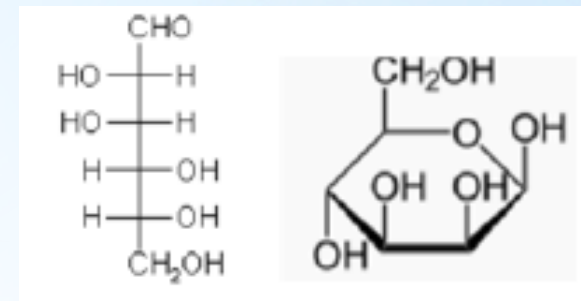
➤ **Fructose** : c'est un **hexose** et un **cétose** (soit un **cétohexose**). C'est l'isomère du Glucose (ils ont tous deux la même formule brute [C₆H₁₂O₆] mais différent par l'agencement des atomes les uns par rapport aux autres



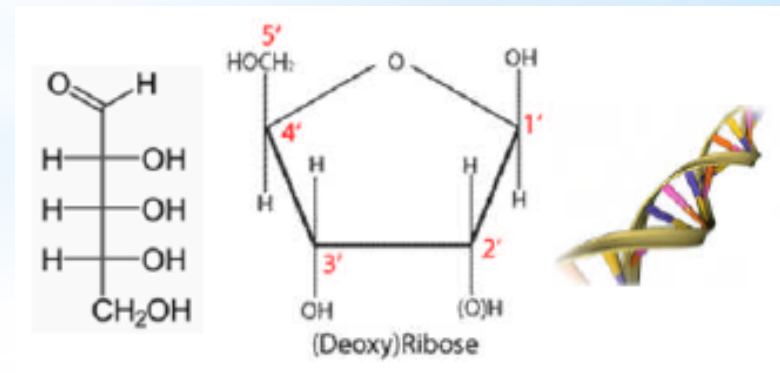
➤ **Galactose** : c'est un **aldohexose**, épimère du glucose au niveau du quatrième carbone (même formule brute mais la disposition dans l'espace de l'alcool en C4 est différente).



➤ **Mannose** : c'est un **aldohexose**, épimère du glucose au niveau du deuxième carbone (C2).



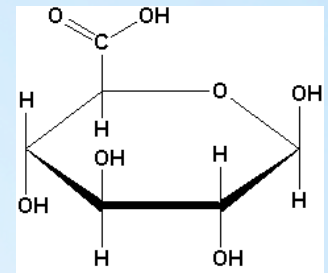
➤ **Ribose** : c'est un **aldopentose** qui entre dans la composition de l'**ARN**. Sa forme désoxygénée en C2 entre dans la composition de l'**ADN**.



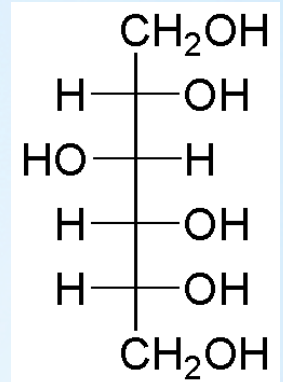
Modification des Monosaccharides:

Le **Glucose** peut subir par exemple:

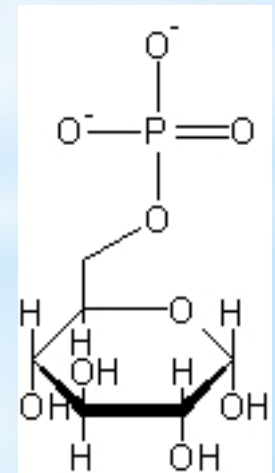
- ✓ une oxydation (en C6) qui mène au **Glucuronate** (ou Acide Glucuronique)
- ✓ une réduction (en C1) qui mène au **Sorbitol**
- ✓ une estérification par un phosphate (en C6) qui mène au **Glucose-6-Phosphate**
- ✓ une isomérisation qui mène au **Fructose**



Glucuronate



Sorbitol

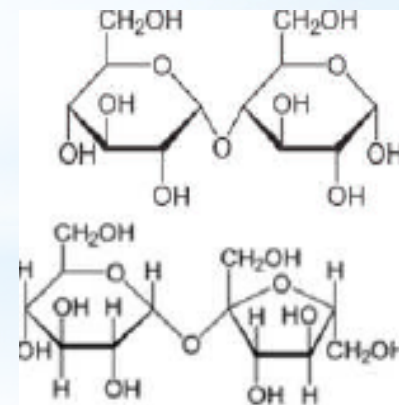
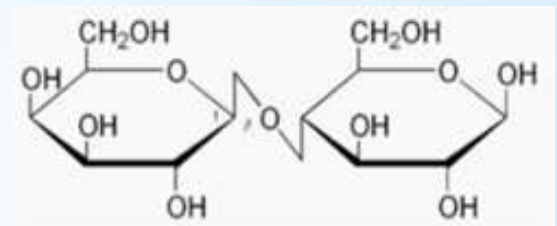


G6P

b) Les Disaccharides

Deux **Monosaccharides** peuvent s'associer entre eux par des liaisons glycosidiques pour former des **Disaccharides**

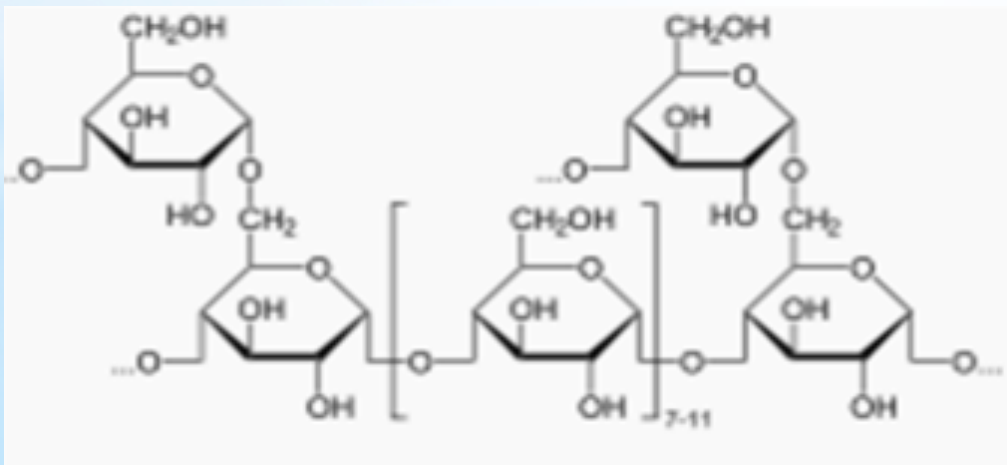
- **Lactose** : union entre une molécule de **Glucose** (*en C4*) et une molécule de **Galactose** (*en C1*)
- **Maltose** : union de **deux molécules de Glucose** (*le C1 de l'un lie le C4 de l'autre*).
- **Saccharose** : union d'une molécule de **Glucose** (*en C1*) et d'une molécule de **Fructose** (*en C2*).



c) Les Polysaccharides

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

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.



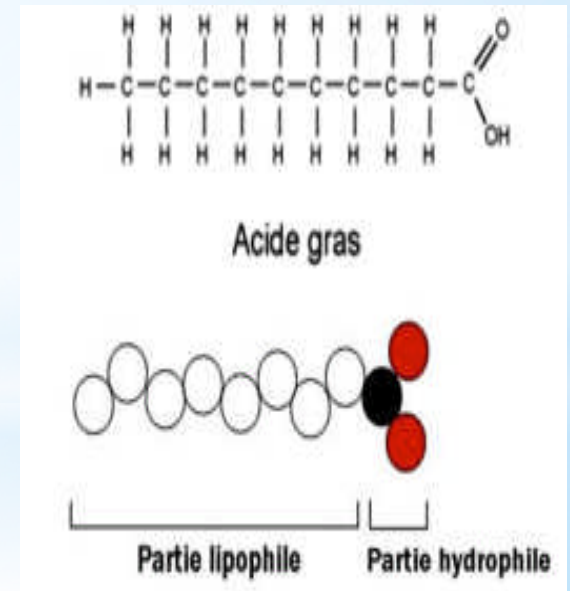
a) Les Acides Gras (AG)

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-)** polaire
= **partie hydrophile/lipophile**

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



Il existe des :

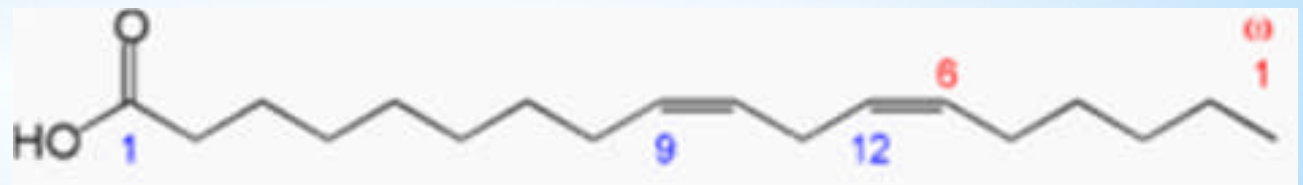
- **AG saturés** : ils ne présentent que des liaisons simples sur leur chaîne hydrocarbonée
- **AG mono insaturés (AGMI)** : ils présentent une seule double liaison (C=C)
- **AG poly insaturés (AGPI)** : ils présentent plusieurs doubles liaisons en position malonique (càd qu'une double liaison sera séparée d'une autre par un CH₂)

Ex:



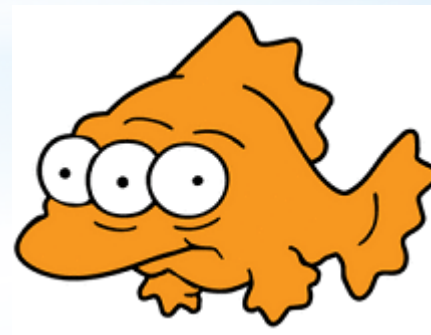
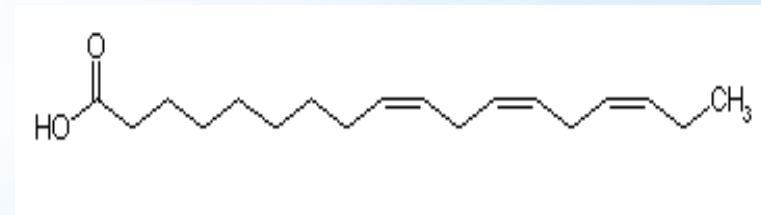
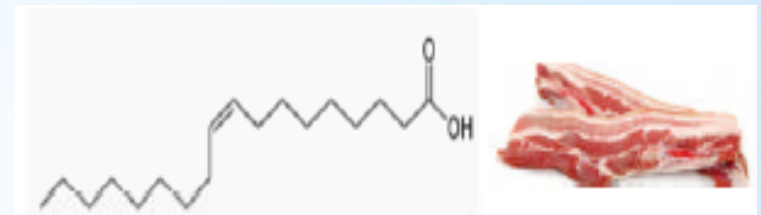
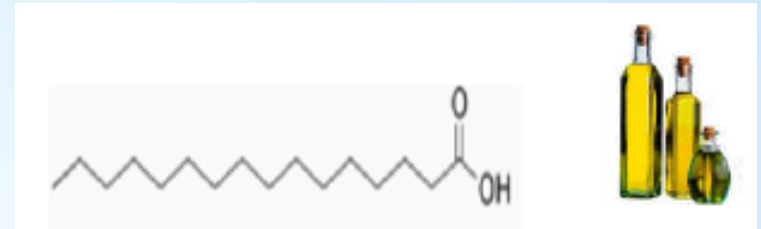
Nomenclature des doubles liaisons:

- En partant du premier Carbone : le Carbone 1 est celui qui porte la fonction carboxyle (COOH/COO-). Un AG de **18 Carbones** présentant **2 insaturations (=doubles liaisons)** au **9^{ème} et 12^{ème} Carbone** (en partant du C1 : COOH) se note **C18:2(9,12)**
- En partant du dernier Carbone : On a classé 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^{ème} Carbone en partant du Carbone ω** .



Les AG les plus courants:

- Acide Palmitique → C16:0 (16 Carbones et aucune double liaison)
- Acide Oléique → C18:1(9) ou oméga-9 (ω -9) (18 Carbones et une double liaison au niveau de C9)
- Acide α -Linoléique → 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.



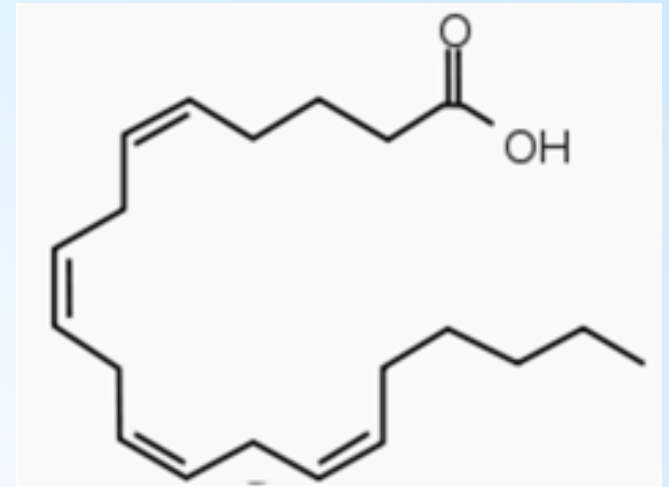
Acide Arachidonique →

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 des leucotriènes.

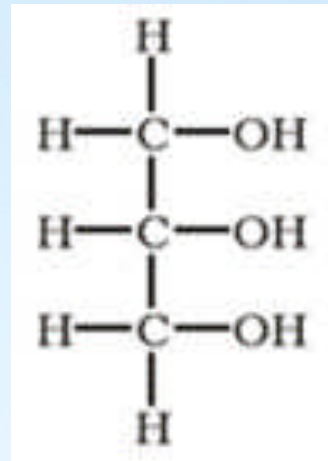


Précision : On utilise le terme d'«Acide xxxique» quand le groupement carboxylique est non ionisé (COOH) et le terme «xxxate» quand le groupement carboxylique est ionisé (COO-).

Ex : Acide Palmitique → Palmitate ; Acide Glutamique → Glutamate ; ...

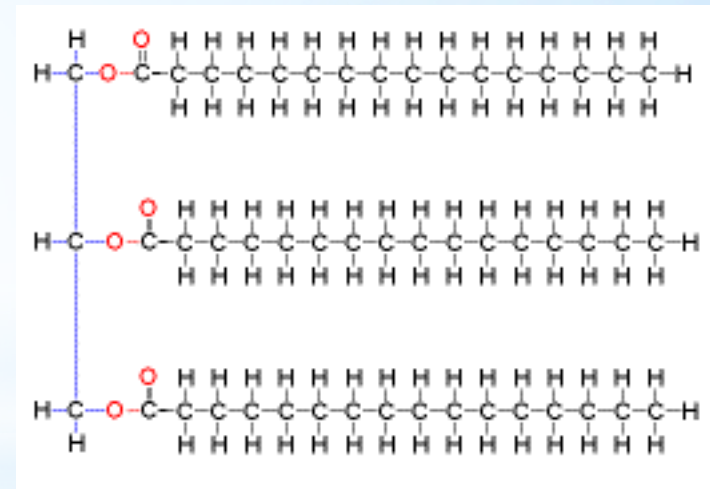
b) Les Glycérides

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.



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

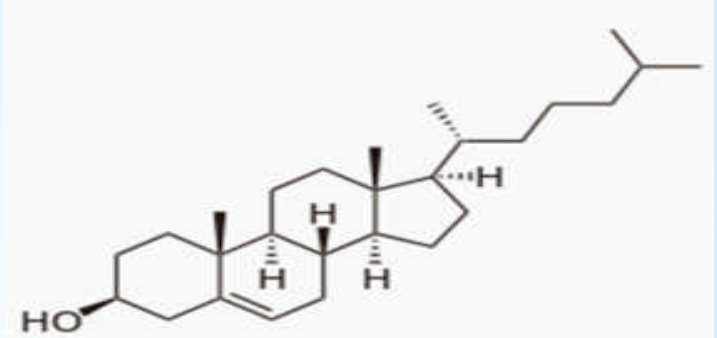
Les **TAG** sont hétérogènes : ils possèdent des **AG** qui diffèrent par la longueur de leur chaîne hydrocarbonée et par le nombre et le type de doubles liaisons.



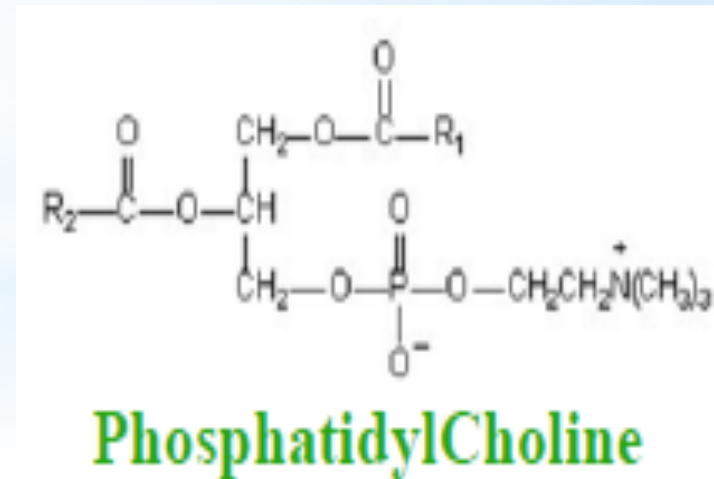
Il existe également des **Monoglycérides** (1AG + 1Glycérol) et des **Diglycérides** (2AG + 1Glycérol).

c) Les autres Lipides

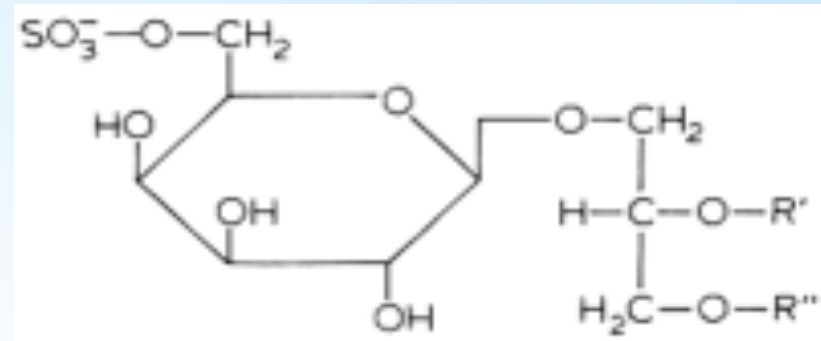
- **Cholestérol** : molécule extrêmement hydrophobe (sauf au niveau de sa fonction alcool). Il est le précurseur de nombreuses molécules (les acides biliaires, la vitamine D, les hormones stéroïdes...) et un **constituant majeur des membranes cellulaires**



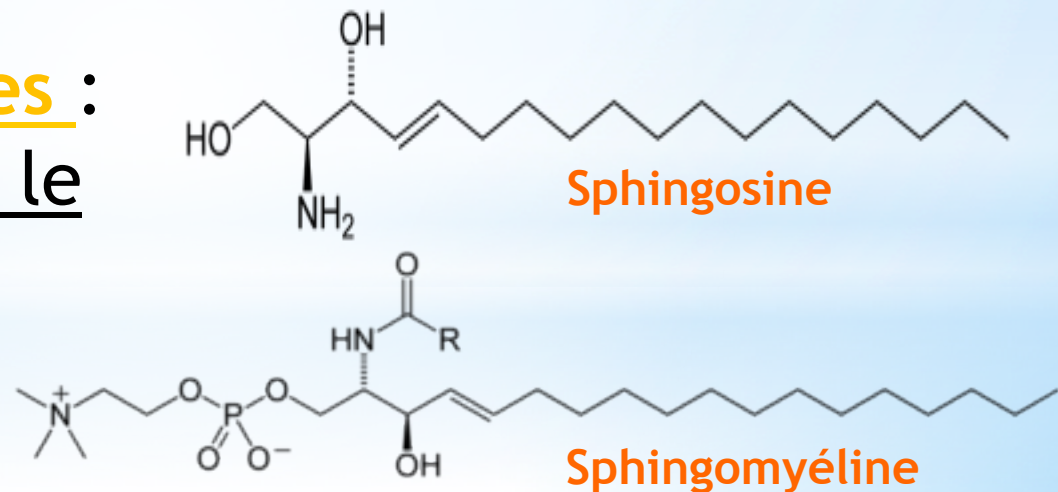
- **Les Glycérophospholipides** : Diglycérides dont le dernier alcool OH est estérifié par un **Phosphate** (formant le *Phosphatidate*) lui-même lié à un **alcool** comme la choline, la sérine, l'inositol, l'éthanolamine,... (Phosphatidylcholine, Phosphatidylsérine,...)
→ **Ce sont les constituants principaux des membranes cellulaires**



- **Les Glycolipides** : des **Lipides** associés à un ou plusieurs **Glucides**



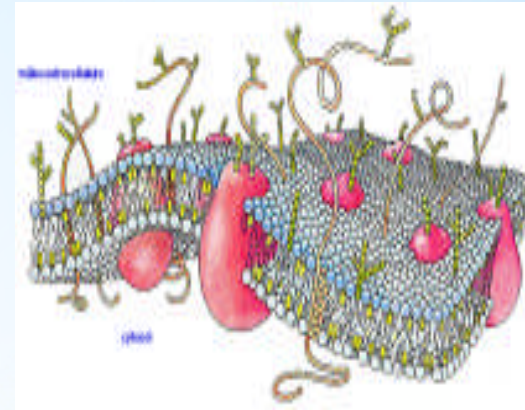
- **Les Sphingolipides** : basés non pas sur le Glycérol mais la **Sphingosine**.



On trouve ces lipides dans les membranes cellulaires

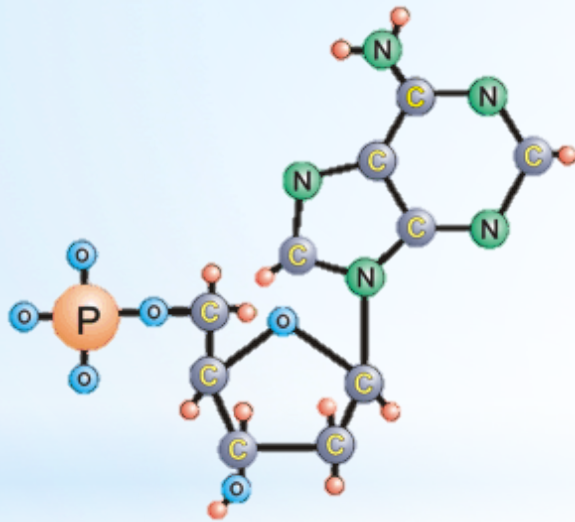
d) Les rôles des lipides:

- ✓ 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,...*



4) Les Nucléotides et Acides Nucléiques

Les **Acides Nucléiques** (=polymères) sont des macromolécules constituées par un assemblage de **Nucléotides** (=monomères).



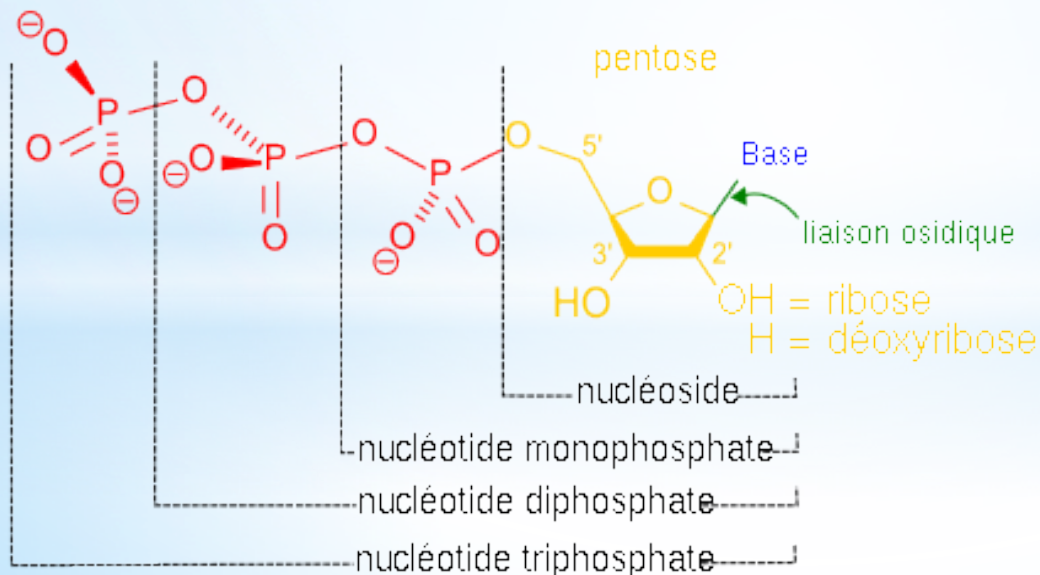
Ces molécules sont responsables du stockage et l'expression de l'information génétique (ADN et ARN) et ont un rôle important dans le métabolisme énergétique.

a) Les Nucléotides

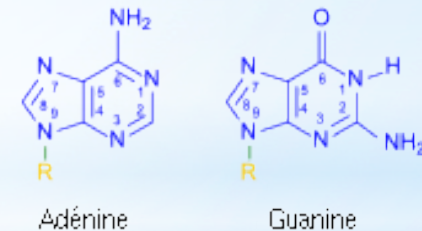
Structure :

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**



Purines



Adénine

Guanine

Pyrimidines



Cytosine

Uracile

Thymine

Nomenclature :

1 base azotée + 1 Ribose ou 1 DésoxyRibose = Nucléoside

→ Adénosine/Guanosine/Cytidine/Thymidine/Uridine

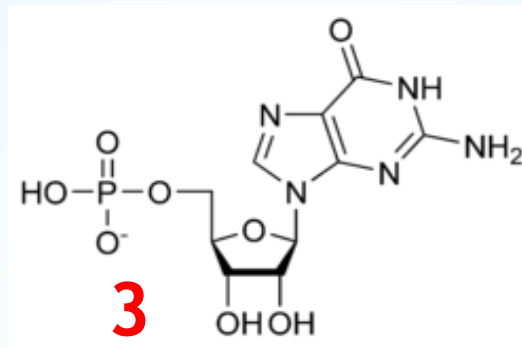
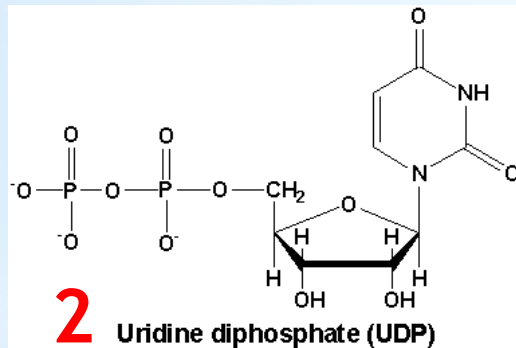
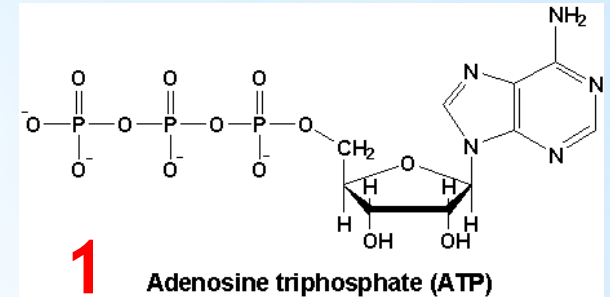
1 base azotée + 1 Ribose ou 1 DésoxyRibose + Phosphate(s) = Nucléotide

→ 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)



Rôles :

- éléments de base des **Acides Nucléiques** (ADN et ARN)
- dans la composition de **coenzymes** (NAD, FAD, Coenzyme A,...)
- messagers pour la communication intracellulaire (**AMP cyclique=AMPC**)
- L'**ATP** est la forme principale de stockage de l'énergie dans les cellules.

b) 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.

