BIOÉNERGÉTIQUE

Version TTR

Hello les P1 j'espère que vous allez bien !! On se retrouve aujourd'hui non pas pour un cours de structu (ouffff on en pouvait plus de la structu) mais pour un cours que je trouvais beaucoup plus cool sur la bioénergétique. C'est moins un cours à par cœur mais plus à compréhension et ce n'est pas très compliqué vous allez voir. Comme d'habitude je reste avec vous tout au long de la fiche avec cette police. N'oubliez pas que vous êtes géniaux. Aller on attaqueeeee :

I-Introduction

Le concept d'énergie et de bioénergétique sont essentielles aux organismes vivants.

L'organisme a deux missions essentielles : **++**

- Se **conserver/vivre** il a donc des besoins de **matière** et d'**énergie**.
- Se **perpétuer**

Ces besoins de matière et d'énergie sont satisfaits grâce au métabolisme qui fournit à l'organisme de la matière et de l'énergie nécessaire à son fonctionnement.

Le **métabolisme** regroupe **l'ensemble des réactions chimiques** ayant lieu à l'intérieur d'un être vivant et qui génère la matière et l'énergie pour maintenir l'organisme en vie. Il comprend :

- **Catabolisme =** dégradation
- ***L'Anabolisme =*** *biosynthèse*

Ça c'est super important on le répète dans pleins de cours donc c'est vraiment par cœur. D'ailleurs je vous rappelle les mnémos :

***Ca**tabolisme= **ca**sser les liaisons= dégradation et donc inversement anabolisme on construit = synthèse .*

ANABOLISME + CATABOLISME = METABOLISME *(par cœur !!)*

En considérant que l'énergie cellulaire est une énergie chimique, il existe 2 types de réactions :

- **EXERGONIQUE** : **libère** de l'énergie dans le milieu (= **réaction spontanée**)

Le tutorat est gratuit. Toute vente ou reproduction est interdite.

- **ENDERGONIQUE : a besoin** d'énergie pour avoir lieu. (= **réaction non spontanée**)

  Ptit mnémo :

  ***Ex**ergonique on renvoie l'énergie à l'**ex**térieur (on relâche de l'énergie dans le milieu)*
  *En**d**ergonique (vous avez le **D** de **d**e**d**ans.) on fait rentrer de l'énergie dans la réaction (on la consomme) pour qu'elle ait lieu.*

A) L'énergie c'est la vie !

Pour se conserver ou vivre, une cellule doit continuellement travailler, c'est-à-dire réaliser les réactions indispensables à sa survie : elle a donc des **besoins continus en énergie**.

Il faut de l'énergie libre pour réaliser un travail utile.

Au niveau cellulaire, l'énergie correspond à la **capacité de réaliser un travail**.

Celui-ci peut prendre différentes formes :

-**Mécanique** (mouvements d'organites, contraction musculaire).

-**Transport transmembranaire** (de molécules qui rentrent ou sortent de la cellule).

-**Chimique** (métabolisme cellulaire).

Ainsi :

-La cellule capte de l'énergie (sous forme de substrats carbonés pour les mammifères).

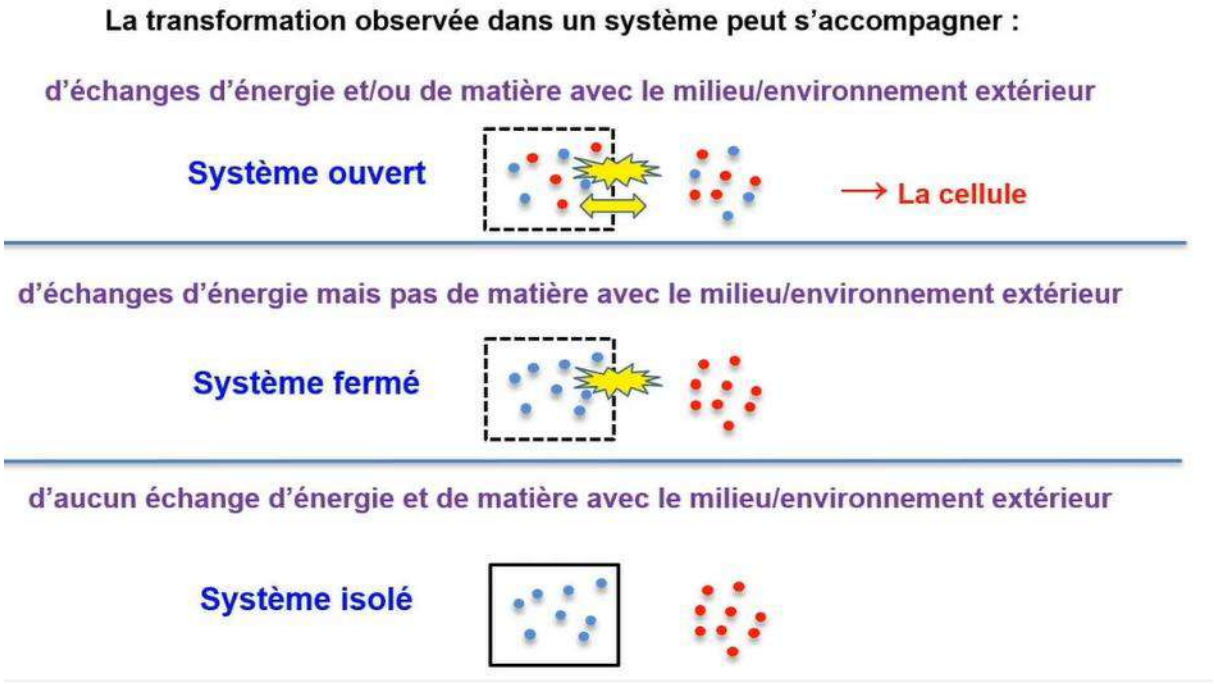
-Cède l'énergie (sous forme de chaleur).

-Utilise de l'énergie (pour les travaux cellulaires). Pour utiliser l'énergie, celle-ci devra être transportée ou transférée vers l'endroit où elle sera utilisée.

Enfin, pour vivre et se développer, la cellule **échange en continu (échanges ininterrompus) de la matière et de l'énergie avec son milieu environnant ++** grâce à différents systèmes que nous allons étudier.

B)Différents systèmes appliqués à la bioénergétique

Un système = ensemble cohérent de matière considéré comme un tout. Il peut se résumer à une cellule, un organite, un organe.



Moi je me disais que l'énergie c'est invisible et donc plus petit que la matière donc dans un système fermé l'énergie peut quand même passer alors que la matière non.

Ce tableau il est super important +++ on apprend bien et surtout ***on fait la différence entre système isolé et fermé.***

Une cellule est un système **isotherme ouvert**+++ qui fonctionne à **température et pression constantes.**

L'hétérotrophie des cellules : contrairement aux plantes qui sont **autotrophes** (utilisent la lumière du soleil pour produire leurs macromolécules nutritives), les cellules animales sont **hétérotrophes** : elles utilisent des nutriments extérieurs qu'elles dégradent **(catabolisme)** pour libérer de l'énergie qui sera soit stocker soit utilisée pour des travaux cellulaires. L'énergie stockée dans les macromolécules énergétique *(qui vont être dégradées*) va permettre de recréer des macromolécules indispensables à l'organismes **(anabolisme)**.

C) Les grands principes de la bioénergétique

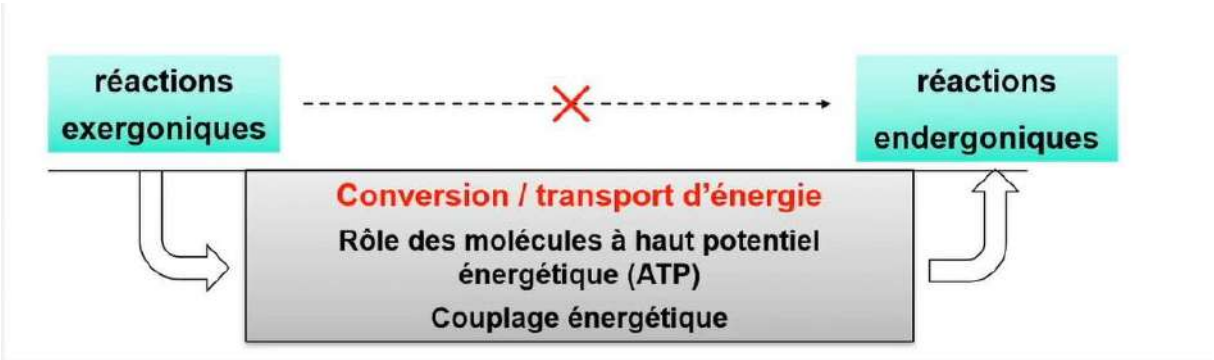
La bioénergétique : étude de l'approvisionnement, du transfert et de l'utilisation de l'énergie par la cellule.

Elle aborde l'étude de :
-La dégradation des aliments (polysaccharides, protéines, lipides) pour en extraire l'énergie par rupture des liaisons chimiques = correspond au catabolisme.
-La conversion de l'énergie dans les formes de stockage et de transfert biologiquement utilisables où l'ATP (Adénosine TriPhosphate) joue un rôle essentiel.
-L'utilisation de l'énergie pour effectuer des travaux divers (mouvements d'organites, contraction musculaire, anabolisme...)

D)Le couplage énergétique

Les réactions **exergoniques** produisent de l'énergie permettant le déroulement des réactions **endergoniques. ++** Il existe un **couplage énergétique** entre les deux types de réactions.

Cela implique des phénomènes de **conversion et de transport** d'énergie. Ces réactions ne sont possibles que grâce aux **molécules à haut potentiel énergétique** comme l'ATP.



E) Métabolisme = Anabolisme + Catabolisme

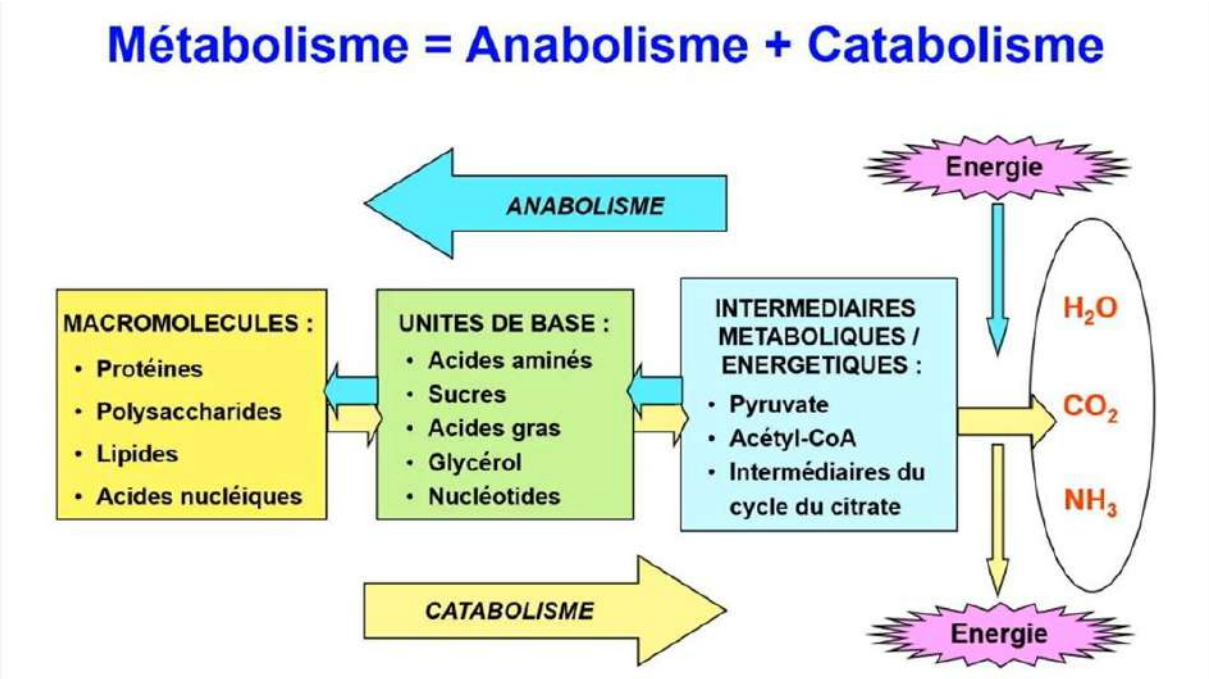
L'énergie nécessaire aux animaux provient de l'**alimentation** contenant des **macromolécules**. Ces macromolécules sont dégradées en **molécules de base**, elles-mêmes dégradées en **intermédiaires métaboliques et énergétiques.**

Au final, sont produits de l'eau (H2O), du CO2 et de l'ammoniac (NH3), avec libération d'énergie. **L'ensemble correspond au Catabolisme++**

Dans le sens inverse, la production de macromolécules à partir de molécules simples, en utilisant l'énergie libérée. **L'ensemble correspond à l'Anabolisme.++**

Le tutorat est gratuit. Toute vente ou reproduction est interdite.

Retenez bien que les réactions cataboliques libèrent de l'énergie et les réactions anaboliques ont besoin d'énergie pour avoir lieu.



Tout ce qu'on a dit dans le paragraphe au-dessus est résumé dans ce schéma il est super important il faut bien le comprendre ++

Le professeur rajoute que la dégradation acides nucléiques ne libère pas beaucoup d'énergie contrairement aux autres macromolécules.

II-Bioénergétique et thermodynamique

Il y a une nécessité de relier les réactions du métabolisme aux lois physiques de la thermodynamique.

A) Généralités+ Définitions

Pour comprendre les voies de fonctionnement des voies métaboliques, il faut les relier aux **lois thermodynamiques**.

Les **lois de la thermodynamique** permettent d'expliquer les principes régissant les mouvements de la matière et de l'énergie entre les organismes et leur environnement, ainsi qu'au sein des organismes eux-mêmes. La bioénergétique n'est rien d'autre que l'application de ces lois aux réactions biochimiques.

Premier principe de la thermodynamique

« L'énergie totale de l'univers demeure constante »

Elle ne peut jamais être **créée ou détruite** mais elle peut être **transférée** et **transformée**. L'énergie totale d'un système et de son milieu extérieur demeure constante.

Second principe de la thermodynamique

« L'entropie de l'univers augmente »

Chaque transfert ou transformation d'énergie sont associés à des réactions passant d'un **état ordonné** à **un état désordonné.** L'état désordonné est toujours **plus probable.**

Tu ne sais pas ce que c'est l'entropie ? Attends deux secondes il y a une définition juste en dessous.

Ces principes sont vraiment à apprendre par cœur au mot près !!!

Et les définitions d'après également :

Définitions :

Energie : Toute forme de travail ou de chaleur

Entropie : Degré de désordre ou de hasard.

B) Relation de Gibbs

La relation de GIBBS relie la **variation d'énergie libre, l'enthalpie et l'entropie**. Elle permet de faciliter l'utilisation des 2 principes de la thermodynamique. La variation de l'énergie libre permet de définir **la direction** et l'**importance** de la réaction chimique.

Enthalpie totale **(H)** en kJ /mol : énergie totale contenue dans un composé brulé entièrement dans un calorimètre.

Energie libre **(G)** en kJ/mol : quantité d'énergie susceptible de fournir un travail au cours d'une réaction à température et pression constante.

Energie entropique **(S)** en kJ /mol/T : énergie du désordre du système. (différence entre H et G corrigée par T) *pas super important cette parenthèse mais c'est dans la diapo du professeur dons j'ai fait mes recherches et ça veut juste dire que ΔST = ΔH -ΔG*

La relation de WILLARD Gibbs :

$$\Delta G = \Delta H - T\,\Delta S$$

Le signe Δ signifie une variation donc par exemple ΔG signifie la variation d'énergie libre.

Et dans cette formule T désigne la température en kelvin.

On retient cette formule c'est ++

Seul ΔG permet de prédire le **sens de la réaction** la plus favorable d'un point de vue énergétique *(pas le ΔS ou le ΔH isolés)*

Tous les systèmes tendent spontanément vers un **état d'équilibre** car cet état est le + stable.

La capacité d'un système à fournir de l'énergie utile pour réaliser un travail diminue au fur et à mesure que ce système se rapproche de son état d'équilibre.

Ainsi, on différencie 3 états du système :

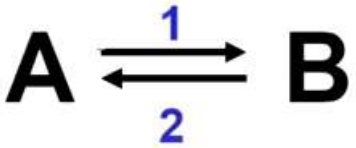
Equilibre : ΔG=O : Le système ne peut pas fournir de travail

Instable : ΔG<0 : Réaction spontanée du système libérant de l'énergie (réaction exergonique.) Elle peut donc fournir un travail.

Necessitant un apport d'énergie : ΔG>0 : réaction endergonique nécessitant un apport d'énergie extérieur pour se produire.

Je vais vous expliquer cette notion pour que vous compreniez bien tout :

La réactions réversibles (inverse d'une réaction totale) peuvent se produire dans les deux sens voir en dessous dans le sens 1 ou dans le sens 2. Un sens est le sens spontané et un autre est le sens non spontané.



Quand il y a autant de réactions spontanée et non spontanée dans un milieu on dit que le système est à l'équilibre.

Comment on connaît le sens de la réaction le plus favorable au système ? (la réaction spontanée)

Grâce au signe de ΔG uniquement.

Pour savoir si le sens 1 est le sens spontané on étudie le signe de ΔG :

ΔG = G fin-Gini = GB-GA

-Si ΔG < 0 cela signifie que GB < GA donc la réaction a libérée de l'énergie car le produit B a moins d'énergie libre que le produit A c'est une réaction exergonique donc la réaction spontanée est donc la réaction 1.

-Si ΔG > 0 GB > GA l'énergie libre du produit B est plus importante que du réactif A donc pour se transformer en produit les réactifs doivent prendre de l'énergie. Donc cette réaction est endergonique et non spontanée. Ainsi dans ce cas là la réaction spontanée serait la réaction 2.

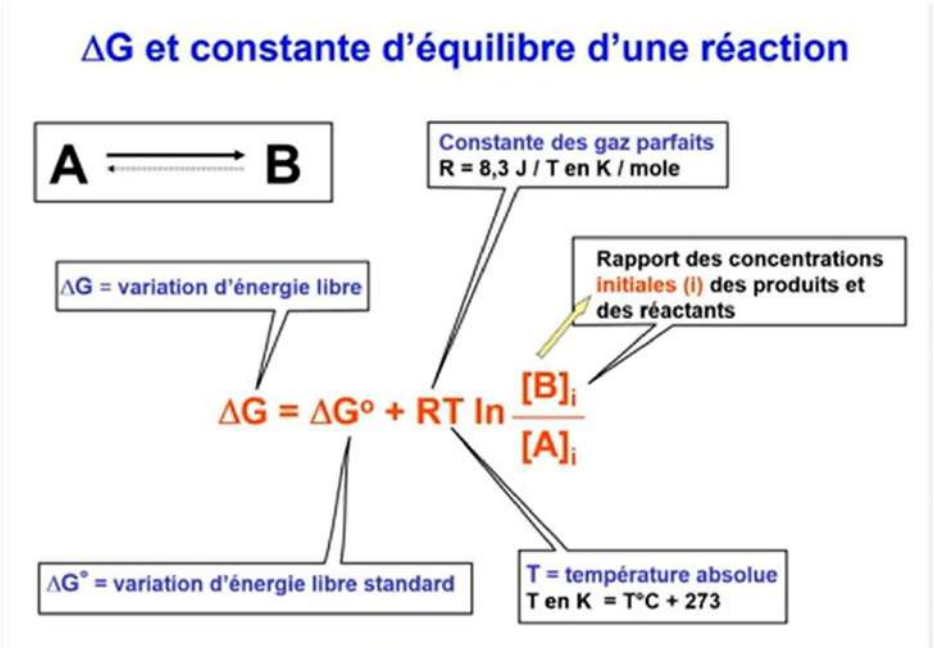
Si ΔG = 0, GA = GB l'énergie au début et à la fin de la réaction sont égales et donc le système n'a ni capté de l'énergie pour se réaliser ni libéré de l'énergie. La réaction est à l'équilibre. Aucun sens n'est privilégié et l'énergie libérée par les réactions exergoniques est égale à celle captée par les réactions endergoniques donc il n'en reste plus à libérer dans le milieu (c'est pourquoi il ne peut plus produire de travail.)

C'est vraiment juste pour votre compréhension si vous ne comprenez pas c'est pas grave apprenez par cœur c'est pas très compliqué.

C) Notion d'Etat standard

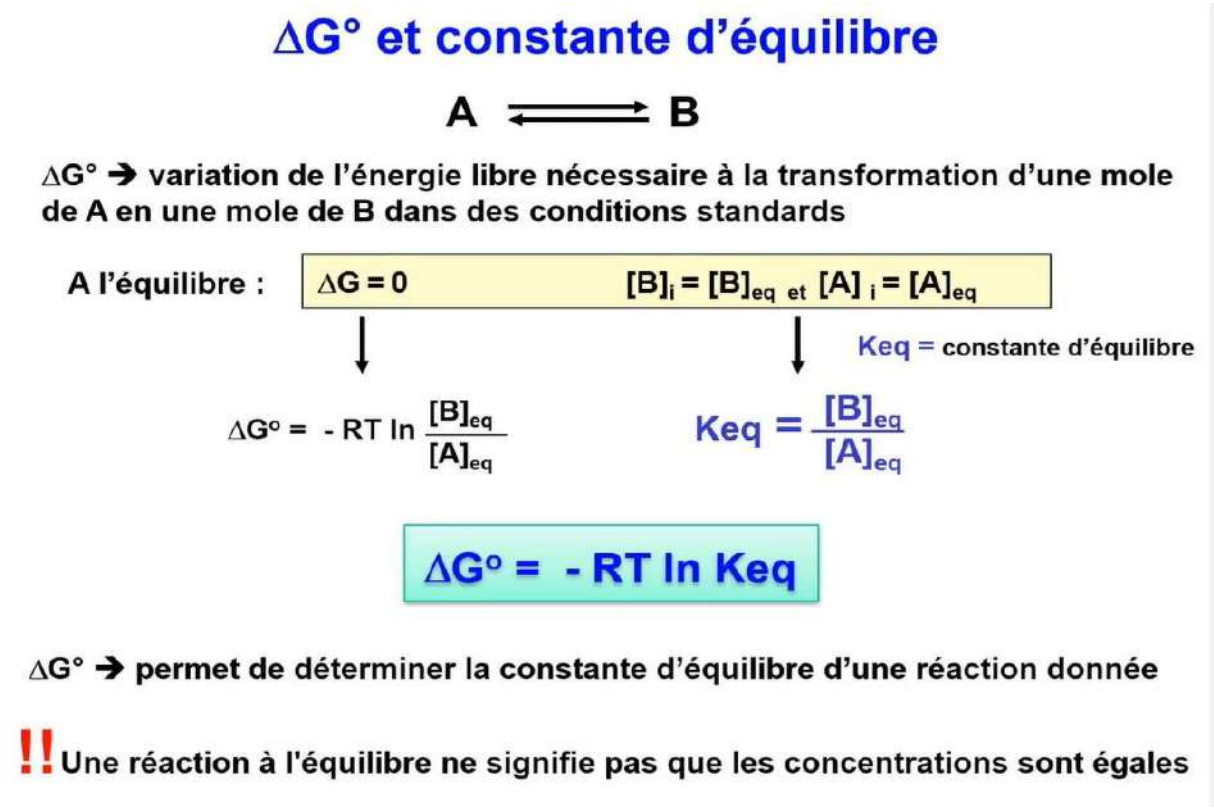
Pour pouvoir comparer différentes situations dans lesquelles on veut mesurer l'énergie libre de Gibbs d'un système, il faut définir **un état standard** ou dit de référence. L'énergie libre d'un système dans son état standard se note **ΔG°.**

Cet **état standard** est celui dans lequel un élément ou un composé est **le plus stable à température et pression ordinaires** *(vu juste après).*



Je vous mets cette formule parce qu'elle est sur la diapo du professeur ce n'est pas la formule la plus importante mais si vous pouvez retenez-la.

Idem pour celle qui suit :



Attention !!: Une réaction à l'équilibre ne signifie pas que les concentrations sont égales cela signifie juste que la concentration de B a atteint son état d'équilibre et pareil pour A.

Peut importe la valeur de ΔG°ou des concentrations initiales de A et de B :

-le système évolue toujours vers l'état d'équilibre

-les conditions de l'équilibre sont indépendantes du sens de la réaction

- D) Conditions physiologiques de l'état standard

Jusqu'à maintenant on considérait l'état standard en chime avec un pH de 7.

-Milieu aqueux à un **pH = 7** (seule différence des conditions standard en chimie où pH = 0)

-Concentration initiale de tous les composants de **1.0 M** (M = molaire) (sauf H+) et concentration de l'eau qui n'est pas prise en compte.

-Température de **25°C**

-Pression constante de **1 atm**

On note l'énergie libre dans des conditions physiologiques **ΔG°'** (*ΔG° c'était pour le pH de 0 (conditions standard en chimie))*

III-Bioénergétique et métabolisme

Le métabolisme regroupe l'ensemble des **réactions biochimiques** permettant aux êtres de vivre, de se développer et de se reproduire.

Une **voie métabolique** est une suite de réaction biochimique. Le substrat s'une enzyme devient ensuite produit qui sera le substrat de l'enzyme de la réaction suivante. coucou thoraxel (qui vous fait le cours sur les enzymes). C'est assez logique ça juste pour dire que les produits d'une réaction au sein d'une voie métabolique deviennent réactifs de la réaction suivante.

$$A \xrightarrow[\Delta G'_{AB}]{E_A} B \xrightarrow[\Delta G'_{BC}]{E_B} C \xrightarrow[\Delta G'_{CD}]{E_C} D$$

- **Variation globale de ΔG :**

La réaction globale est :

$$A \xrightarrow[\Delta G'_{AD}]{} D$$

$$\Delta G'_{AD} = \Delta G'_{AB} + \Delta G'_{BC} + \Delta G'_{CD}$$

Et du coup la variation d'énergie libre de la voie métabolique correspond à la somme des variations d'énergie libres des réactions chimiques qui composent cette voie.

L'activité de ces enzymes est régulée pour maintenir l'homéostasie (l'équilibre) en fonction des molécules dont l'organisme a besoin on ne va pas faire fonctionner les mêmes réactions et donc les mêmes enzymes.

A)Les réactions couplées

Les **réactions endergoniques** n'ont pas lieu spontanément et ont besoin d'un apport en énergie pour se dérouler. On émet l'hypothèse que cette énergie est fournie par le **couplage direct à une réaction exergonique**. L'énergie dégagée par la réaction exergonique doit, en valeur absolue, être **≥** *(supérieure ou égale)* **à l'énergie requise par la réaction endergonique**. *C'est logique parce que si elle est inférieure elle ne libèrera pas assez d'énergie pour permettre à la réaction endergonique de se faire.*

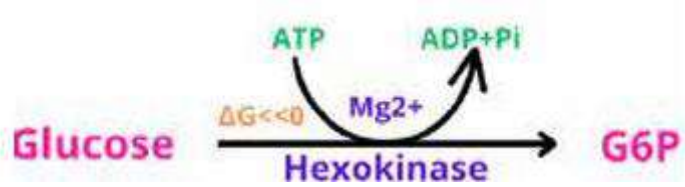
Exemple de ma vieille : Phosphorylation du glucose en G6P

L'hydrolyse de l'ATP en ADP + Pi est une réaction fortement **exergonique** avec un **ΔG'<0** elle a lieu **spontanément** *on va revoir cette réaction juste après et plus la détailler*

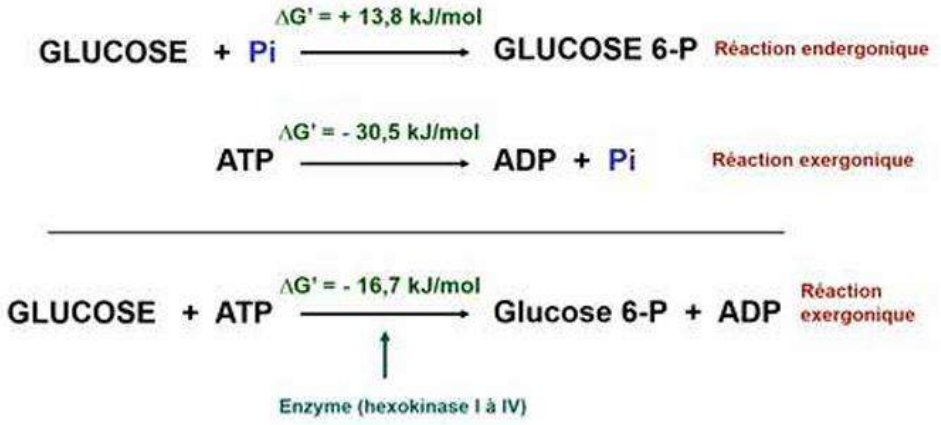
L'ajout d'un phosphate sur le glucose pour former du glucose-6-P est **endergonique** avec un **ΔG'>0** : elle n'a **PAS lieu spontanément.**

Pourtant la réaction de phosphorylation du glucose est possible **par couplage direct** à l'hydrolyse de l'ATP sachant que le **ΔG' cumulé est négatif (<0)**

Le schéma suivant c'est juste pour illustrer la réaction il ne faut pas le connaître pour ce cours là mais pour les autres cours de métabo vaut mieux la connaître haha sinon mes co-tuts vont pas être contents.



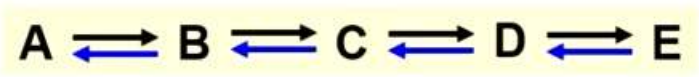
Avec le schéma ci-dessous on retrouve bien l'idée de ΔG cumulé et de couplage des réactions. Si on ajoute les ΔG des deux réactions qui ont lieu simultanément on se retrouve avec un ΔG négatif et donc la réaction finale est exergonique (libère de l'énergie) et donc possible (spontanée).



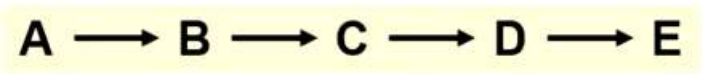
B)Etat d'équilibre stationnaire

Une voie métabolique correspond à un ensemble de réactions biochimiques dont chacune a pour substrat la production de la réaction précédente. *On se répète beaucoup donc c'est bien pour vous ça rentre plus facilement.* Ainsi différents états sont possibles :

- **Etat d'équilibre** : les concentrations **A,B,C,D et E sont constantes**



- **Etat stationnaire :** seules les concentrations de **B,C,D sont constantes** tandis que celle de **A diminue et celle de E augmente**



A est simplement consommé (donc diminue) B C E et D sont produits et consommé à la même vitesse donc constants et E est simplement produit donc augmente.

Les voies métaboliques dans les cellules de notre corps s'éloignent de l'état d'équilibre et sont surtout à l'**état stationnaire**. En s'éloignant de l'état d'équilibre elles s'ordonnent et diminuent l'entropie. (puisque l'état d'équilibre favorise l'entropie/ le désordre.)

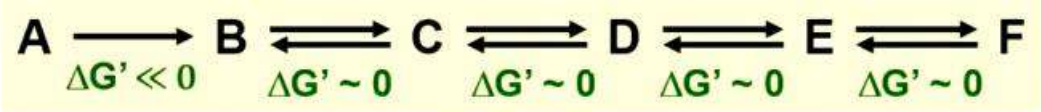
Loi de Lechatelier : « Toute modification d'un facteur d'un équilibre chimique réversible provoque, si elle se produit seule, un déplacement de l'équilibre dans un sens qui tend à s'opposer à la variation du facteur considéré » +++

On va prendre des exemples pour illustrer cette phrase assez difficile à comprendre.

En résumé, la Loi de Le Chatelier dit que si un facteur d'un système chimique en équilibre est modifié, le système réagit en se déplaçant dans la direction qui tend à annuler cette modification.

Analogie avec la fièvre→ la température normale du corps humain est de +37°C (à l'équilibre), si elle augmente de +1°C alors l'équilibre sera déplacé et mon corps se défendra pour ramener la température à 37°C.

Analogie avec l'élastique ->un élastique est à l'équilibre dans son état de repos, mais si je l'étire (= modification du facteur d'équilibre) alors il fera tout pour revenir dans sa position de repos (= déplacement dans le sens opposé).



A-->B est une réaction irréversible due au ΔG'<<0 *si le ΔG est très éloigné de 0 réaction irréversible (totale) (elle ne se fait que dans un seul sens) mais si il est juste un peu inférieur à 0 elle est réversible et évolue dans le sens spontané (ça c'est ce qu'on a vu tout à l'heure avec les réactions exergoniques).*

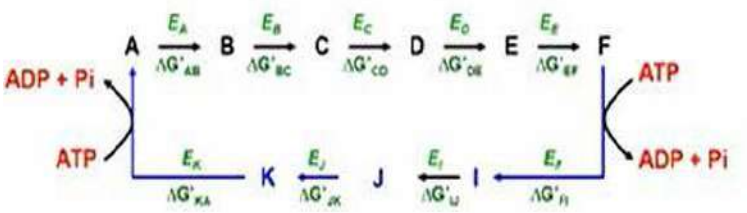
Les réactions suivantes ont un ΔG' autour de 0 et sont donc réversibles.

Si A augmente, la réaction évolue dans le sens de la production irréversible de B, cette augmentation de B induit une cascade de réactions en aval permettant au final la production du produit F.

Le fonctionnement ou non de la voie métabolique dépend de la réaction irréversible qui est l'étape limitante et essentielle pour la régulation de la voie considérée.

D'un point de vue thermodynamique, les voies métaboliques ne sont pas réversibles. D'un point de vue physiologique, elles le sont. ++

Puisque dans le corps les réactions non spontanées / endergoniques peuvent avoir lieu par couplage avec une réaction exergonique (hydrolyse ATP par exemple).



Ici, la voie F-->A est physiologiquement possible mais elle nécessite un apport d'énergie.

Afin d'avoir au même moment qu'une seule voie active et pas toutes les voies qui fonctionnent dans tous les sens, les enzymes de chacune des voies sont régulées de façon opposée. (Si A->F activée impose F->A inhibée).

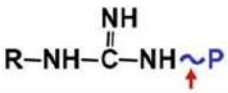
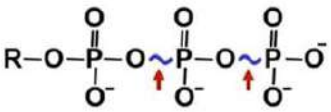
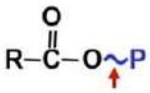
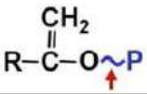
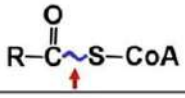
IV-Molécules implqués dans la bioénergétique

L'énergie est stockée dans **les liaisons entre 2 atomes**. Pour libérer cette énergie, il faudra **casser ces liaisons.** Les liaisons riches en énergie sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

Celles qu'on retrouve le + sont les **liaisons phosphoanhydrides** entre 2 phosphates. Les liaisons riches en énergie sont pointées par les flèches.

Dans le tableau page suivante je vous conseille d'apprendre quel type de liaison va avec quelle molécule (mais n'apprenez pas par cœur la formule chimique)

Molécules contenant des liaisons riches en énergie

LIAISONS	FORMULES	EXEMPLES
AMIDINE-PHOSPHATES		Créatine Phosphate
PHOSPHOANHYDRES		XTP et XDP (X = A, G, C, U)
ACYL-PHOSPHATES		1,3 diphosphoglycérate
ENOL-PHOSPHATES		Phosphoénolpyruvate
ACYL-THIOESTERS		Acétyl-CoA

Exemple : Nucléotides triphosphates (TP) qui possèdent 3 phosphates mais seulement 2 liaisons riches en énergie comme l'ATP , l'UTP ou encore le Diphosphatequi n'en n'a qu'une.

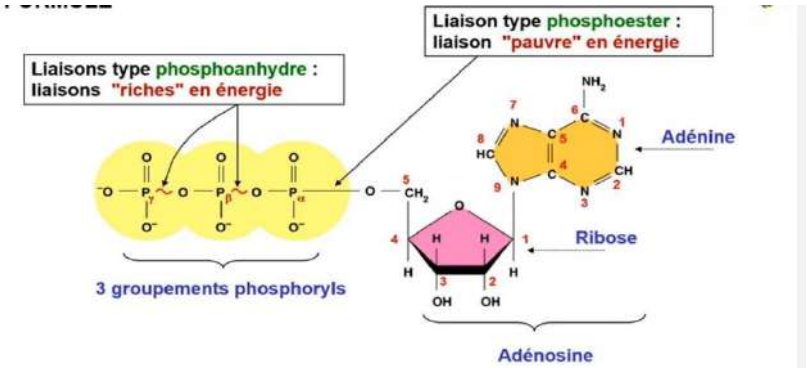
A) Généralités sur l'ATP (adénosine triphosphate)

L'ATP est constitué de :

-une adénine (base azotée)

-un sucre (ribose)

-3 phosphates (alpha bêta gamma)



Vous voyez bien que le groupement phosphate alpha est celui relié au ribose.

Dans l'ATP, on retrouve :

- Une liaison du **phosphate alpha** sur le **ribose** de type **phosphoester**, **pauvre en énergie.**

La liaison entre le ribose et le phosphate alpha n'est pas une liaison phosphoanhydre (entre deux phosphates) donc elle est faible en énergie.

- Deux liaisons au niveau des **phosphates distaux** : *(la liaison entre le phosphate alpha et bêta) (la liaison entre le phosphate bêta et gamma) : des liaisons* ***phosphoanhydrides*****, riches en énergie.**

C'est l'hydrolyse de l'ATP au niveau des groupes phosphates béta et gamma qui libère de l'énergie.++ (on casse les liaisons avec à l'aide de molécules d'eau)

Chiffres importants à connaître +++ :

Concentration cellulaire d'ATP dans le corps : 1 à 10 mmol/kg de tissu.

Répartition cellulaire à l'état basal : 10 ATP pour 1 ADP. (*on va voir tout de suite ce que c'est l'ADP)*

Teneur dans l'organisme : 75g mais synthèse de 45 Kg par jour.

B) Hydrolyse de l'ATP

L'ATP contient 2 liaisons phosphanhydrides riches en énergie (β et γ) qui peuvent être hydrolysées *(on vient de le voir).*

L'hydrolyse de l'ATP au niveau **du phosphate γ** libère une molécule d'ADP et du phosphate inorganique*.(=pi =phosphate tout seul)*

Qu'est ce que l'ADP (adénosine diphosphates) ? c'est juste l'ATP mais avec seulement deux phosphates et non pas trois. On enlève le phosphate gamma en coupant sur la liaison gamma.(celle entre le phosphate gamma et bêta)

Ensuite l'**ADP** peut être **hydrolysé** pour donner de l'**AMP** et du phosphate inorganique. *Et même principe l'AMP (adénosine monophosphate) est la molécule d'ATP avec une seule molécule de phosphate. On enlève le phosphate bêta en coupant la liaison bêta. (celle entre le phosphate alpha et bêta)*

L'hydrolyse de la première liaison phosphoanhydride (γ) de l'**ATP** et de la deuxième à partir de l'**ADP** (β) libère la même énergie soit : **-32 kJ.mol-1**

L**'ATP** peut être aussi **hydrolysé** au niveau du phosphate β directement libérant de l**'AMP** et du **pyrophosphate libérant une énergie de -45 kJ.mol-1** (2 phosphates = pyrophosphate = Ppi). Ce processus est moins fréquent que celui qu'on a décrit avant *(quand on casse une liaison pour former l'ADP puis on recasse pour former l'ADP)*

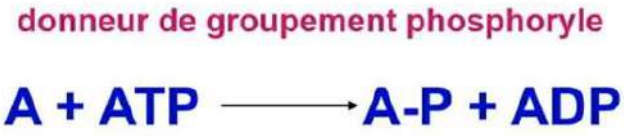
Si on hydrolyse le pyrophosphate et qu'on le sépare en deux phosphates inorganiques on libère une énergie de **-19 kJ.mol-1**.

L'association d'un cation divalent **Mg2+** à une molécule d'ATP le stabilise et facilite la **libération/le transfert d'énergie.**

L'ATP est thermodynamiquement instable. Ainsi il possède une grande aptitude à s'hydrolyser en ADP ou en AMP .

Cette instabilité lui permet à la fois d'être :





Il permet de rendre les réactions **endergoniques** possibles en libérant de l'énergie.

Ce cours n'est pas complet dans la prochaine partie on va voir qu'il y a d'autres molécules énergétiques en plus de l'ATP.

Dédis dans la prochaine partie.