

BIOENERGETIQUE

I- GENERALITES

L'organisme vivant a 2 missions essentielles :

- Se conserver : pour se conserver et vivre, l'organisme a besoin de matière et d'énergie.
- Se perpétuer

A) L'énergie c'est la vie

Pour se conserver, la cellule a des **besoins continus en énergie**. Elle va donc pour cela réaliser les réactions indispensables à sa survie. L'énergie cellulaire représente la capacité à réaliser un travail.

Le travail peut être **mécanique** (mouvements d'organites, contractions musculaires) ou être représenté par un **transport transmembranaire** (molécules qui rentrent ou sortent de la cellule).

La cellule **capte** (substrats carbonés pour les mammifères), **cède** (sous forme de chaleur) **et utilise** de l'énergie (pour les travaux cellulaires).

Il existe deux types de réaction :

- ✚ **ENDERgonique** : qui nécessite de l'énergie, qui en consomme
- ✚ **EXERgonique** : qui libère de l'énergie

B) Les différents systèmes

Système ouvert	Système fermé	Système isolé
Echange d'énergie et/ou de matière avec le milieu/environnement extérieur.	Echanges d'énergie mais pas de matière avec le milieu/environnement extérieur.	Aucun échange d'énergie et de matière avec le milieu/environnement extérieur.

⚠ Ne pas confondre système fermé et système isolé ++

La cellule est un système **isotherme ouvert**.

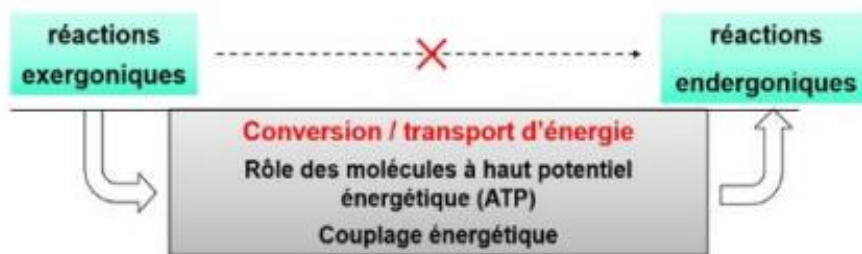
C) Définition de la bioénergétique

- ✚ La bioénergétique, c'est l'étude de l'approvisionnement, du transfert et de l'utilisation de l'énergie par la cellule.
- ✚ C'est l'étude de la dégradation des aliments → **CATABOLISME**
- ✚ C'est l'étude de la conversion de l'énergie notamment de l'**ATP** (qui joue un rôle essentiel).
- ✚ C'est l'étude de l'utilisation de l'énergie → **ANABOLISME**

D) Le couplage énergétique

Les réactions exergoniques produisent de l'énergie permettant le déroulement des réactions endergoniques. Cela implique des phénomènes de conversion et de transport d'énergie.

Il existe donc un couplage énergétique entre les deux types de réactions. Ces réactions ne sont possibles que grâce aux molécules à haut potentiel énergétique comme l'ATP.



E) METABOLISME + ANABOLISME + CATABOLISME



L'énergie nécessaire aux animaux provient de l'alimentation contenant des macromolécules. Ces macromolécules sont dégradées en unité de base, elles-mêmes dégradées en intermédiaires métaboliques et énergétiques. Au final, sont produits de l'eau, du CO₂ et de l'ammoniac 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, correspond à l'**ANABOLISME**.

Remarque : les acides nucléiques contribuent très peu au bilan énergétique ! ++

II- BIOENERGETIQUE ET THERMODYNAMIQUE

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 même.

La bioénergétique est l'application de ces lois au sein de réactions biochimiques.

Energie = travail et chaleur

Entropie = désordre ou hasard

A) Premier principe de la thermodynamie

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

- Elle ne peut jamais être créée ou détruite.
- Mais elle peut être transférée et déformée.

B) Second principe

« L'entropie de l'univers augmente »

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

C) Relation de GIBBS

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

- ✚ Permet de faciliter l'utilisation des 2 principes
- ✚ Relie la variation d'énergie libre, l'enthalpie et l'entropie
- ✚ La variation de l'énergie libre permet de définir la direction et l'importance de la réaction chimique

Tous les systèmes tendent spontanément vers un état d'équilibre car cet état est plus 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.

En conséquence :

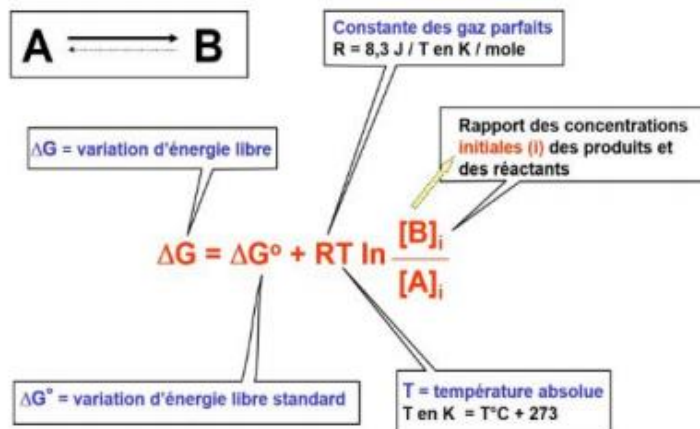
Equilibre	Le système ne peut plus fournir de travail : $\Delta G = 0$
Système instable	Réaction spontanée : $\Delta G < 0 \rightarrow$ réaction exergonique
Système nécessitant un apport d'énergie	Lors d'une réaction endergonique : $\Delta G > 0 \rightarrow$ on veut rendre ce terme globalement négatif pour que la réaction ait lieu et que le processus se déclenche donc apport d'énergie venant du milieu extérieur

D) L'état 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. Cet état standard est celui dans lequel un élément ou un composé est le plus stable à température et pression ordinaires.

- ✚ Permet de calculer la constante d'équilibre **Keq**
- ✚ ΔG caractérise l'état d'équilibre ; existe quand la concentration initiale de A atteint sa concentration à l'équilibre, et de même pour B.

Remarque +++ : une réaction à l'équilibre ne signifie pas que les concentrations sont égale



E) Conditions physiologiques de l'état standard

- ✚ Milieu aqueux à un **pH 7** (ATTENTION différent des chimistes qui considèrent le pH à 0 !)
- ✚ Concentration initiale de tous les composants de **1.0 M**
- ✚ Température de **25°**
- ✚ Pression constante de **1 atm**

Tout ceci nécessite une nouvelle définition du ΔG° qu'on écrira dorénavant $\Delta G'^\circ$ pour les conditions physiologiques.

Dans la cellule, aucune réaction n'est isolée : on a alors la formation de voies métaboliques. Il existe une séquence de réactions où chaque étape possède une enzyme et son $\Delta G'$ correspondant.

Pour une réaction globale de A vers D, le $\Delta G'$ total correspond à la somme des $\Delta G'$ individuels.

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

III- BIOENERGETIQUE ET METABOLISME

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

Rappels :

- ✓ Les voies cataboliques produisent de l'énergie
- ✓ Les voies anaboliques utilisent cette énergie produite par le catabolisme
- ✓ On a un couplage énergétique entre les deux types de voies

A) Les réactions couplées

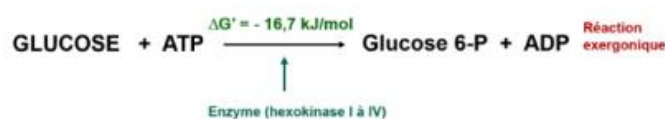
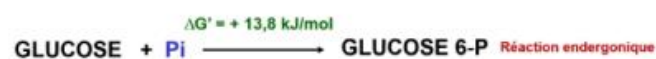
Les réactions endergoniques n'ont pas lieu spontanément et ont besoin d'un apport en énergie pour se dérouler.

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 \geq à l'énergie requise par la réaction endergonique.

Par exemple :

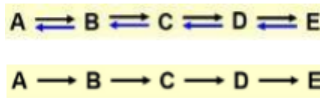
- ➔ L'hydrolyse de l'ATP en ADP + Pi est une réaction fortement exergonique avec un $\Delta G' < 0$: elle a lieu spontanément.
- ➔ L'ajout d'un phosphate sur le glucose pour former du glucose 6-P est endergonique avec un $\Delta G' > 0$: **elle n'a PAS lieu spontanément.**
- ➔ Mais thermodynamiquement, la phosphorylation du glucose est possible par couplage direct à l'hydrolyse de l'ATP étant que le $\Delta G'$ cumulé < 0 .



B) Etat d'équilibre et état stationnaire

Une voie métabolique correspond à un ensemble de réactions biochimiques dont chacune a pour substrat le produit de la réaction précédente.

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

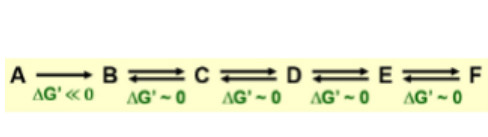


Dans les cellules, les voies métaboliques s'éloignent de l'état d'équilibre et sont plutôt à l'état stationnaire.

C) Réactions irréversibles

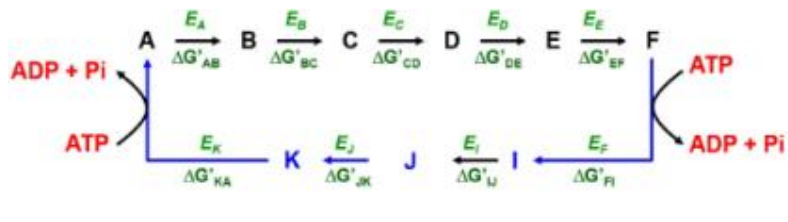
Loi de Lechatelier : « Toute modification d'un facteur d'un équilibre chimique réversible provoque, si elle se produit seule, un déplacement de l'équilibre dans un sens qui tend à s'opposer à la variation du facteur considéré » +++

- ✚ A → B est une réaction irréversible dû au $\Delta G' \ll 0$
- ✚ Les réactions suivantes ont un $\Delta G'$ autour de 0 et sont donc réversibles
- ✚ Si A augmente, la réaction évolue dans le sens de la production irréversible de B



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 physiologiques, elles le sont. +++



Ici la voie réverse $F \rightarrow A$ est physiologiquement possible mais elle nécessite un apport d'énergie.

Afin de n'avoir au même moment qu'une seule voie active, les enzymes de chacune des voies sont régulées de façon opposée.

IV- MOLECULES IMPLIQUEES DANS LA BIOENERGETIQUE

Molécules contenant des liaisons riches en énergie

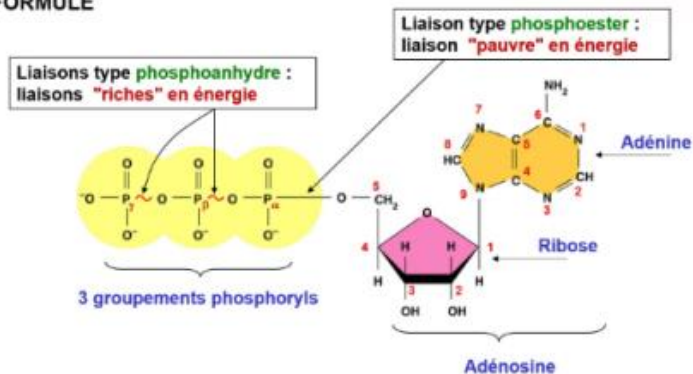
LIAISONS	FORMULES	EXEMPLES
AMIDINE-PHOSPHATES	$\begin{array}{c} \text{NH} \\ \\ \text{R}-\text{NH}-\text{C}-\text{NH}-\text{P} \\ \\ \text{P} \end{array}$	Créatine Phosphate
PHOSPHOANHYDRES	$\text{R}-\text{O}-\text{P}(=\text{O})(\text{O}^-)-\text{O}-\text{P}(=\text{O})(\text{O}^-)-\text{O}-\text{P}(=\text{O})(\text{O}^-)-\text{O}^-$	XTP et XDP (X = A, G, C, U)
ACYL-PHOSPHATES	$\text{R}-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{P}(=\text{O})(\text{O}^-)-\text{O}^-$	1,3 diphosphoglycérate
ENOL-PHOSPHATES	$\text{R}-\text{C}(\text{CH}_2)=\text{C}(\text{O}^-)-\text{O}-\text{P}(=\text{O})(\text{O}^-)-\text{O}^-$	Phosphoénolpyruvate
ACYL-THIOESTERS	$\text{R}-\text{C}(=\text{O})-\text{S}-\text{CoA}$	Acétyl-CoA

A = Adénosine
G = Guanine
C = Cytosine
U = Uracile

❖ Liaisons **phosphoanhydres** :
entre 2 phosphates
Exemple des nucléotides triphosphates
qui possèdent 3 phosphates mais
seulement 2 liaisons riches en énergie.

A) Généralités sur l'adénosine triphosphate (ATP)

FORMULE



- ✓ Concentration cellulaire allant de **1 à 10 mmole/kg** de tissu
- ✓ **10 ATP pour 1 ADP**
- ✓ Teneur dans l'organisme humain de **75g** mais synthèse de 45kg par jour !!

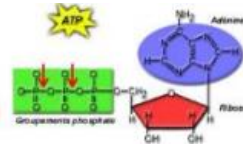
L'ATP et ses dérivés :

• L'ATP et ses dérivés :

ATP : forme triphosphate de l'adénosine (2~)

ADP : forme diphosphate de l'adénosine (1~)

AMP : forme monophosphate de l'adénosine (0~)



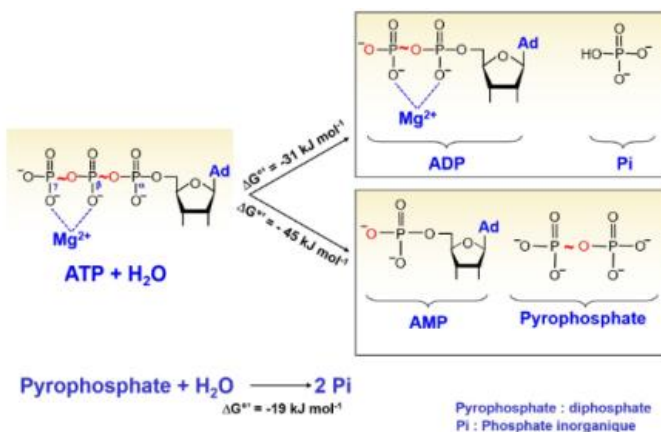
B) Hydrolyse de l'ATP

L'ATP contient 2 liaisons **phosphoanhydres riches en énergie (γ et β)** qui peuvent être hydrolysées.

L'hydrolyse de l'ATP au niveau du phosphate γ libère une molécule d'ADP et du phosphate inorganique. Ensuite l'ADP peut être hydrolysé pour donner de l'AMP. L'hydrolyse de la première liaison phosphoanhydre (γ) de l'AP et de la deuxième à partir de l'ADP (β) libère la même énergie soit **-32kJ.mol⁻¹**.

L'ATP peut être aussi hydrolysé au niveau du phosphate (libérant de l'AMP et du pyrophosphate. Dans les cellules, ce scénario est moins fréquent que le premier.

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








C) Formation de l'ATP

Via l'hydrolyse de l'ATP, il y a un apport d'énergie nécessaire aux réactions endergoniques. De part sa très grande quantité produite par jour, l'ATP a un rôle crucial.

Sa synthèse peut se faire de plusieurs façons :

Synthèse de novo à partir d'acides puriques	Synthèse à partir de la transformation de l'ADP en ATP
<p>Le ribose 5-P contribue à la synthèse de l'Inosine TriPhosphate (IMP), précurseur de l'AMP et du GMP.</p> <p>L'AMP est ensuite converti en ADP puis en ATP, de même pour le GMP.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Par phosphorylation oxydatives : au sein de la membrane interne mitochondriale → synthèse d'ATP à partir d'un gradient électrochimique, cela représente 90% de la production d'ATP chez l'Homme - Par phosphorylation liée au substrat (cellules exprimant la CPK) - Par l'adénylate kinase → réactions essentiellement utilisée par le muscle strié

D) D'autres molécules riches en énergie

-  Créatine phosphate (CP)
-  Créatine phosphokinase (CPK)
-  Adénylate kinase (AK)
-  Acétyl-CoA
-  Phosphoénolpyruvate

Je m'arrête là pour cette première fiche, je vous posterai après la tut rentrée toutes les fiches complètes de tous les cours don't worry. Le but de la tut est d'avoir de bonnes bases donc j'ai préféré me consacrer à l'essentiel sur mes cours. En ce qui concerne la bioénergétique il manque toute la partie de description de chaque molécule riche en énergie mais vous verrez c'est pratiquement que du par cœur pour cette partie.

Voili-voilou j'espère que les diapos et les fiches de cours vous conviennent, n'hésitez pas à m'écrire sur le fofo Lorethanol ou en MP sur messenger Loretta Alsina si vous avez des remarques, ça pourrait m'aider pour les futures fiches. Si vous avez des questions sur n'importe quoi même organisation/gestion de l'année/stress n'hésitez pas non plus, je suis tutrice mais aussi surtout une ancienne P1 !

La bioch ça demande beaucoup de travail mais à force ça finit par rentrer et ça peut vous rapporter beaucoup au concours donc bossez la !

Courage pour la suite de vos révisions et de votre tut rentrée, la bioch vous aime <3