
Bioénergétique

I. Généralités

Un organisme a 2 missions essentielles :

- Se **conserver/vivre** (l'organisme a besoin de matière et d'énergie)
- Se **perpétuer**

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

- **Le CATABOLISME +++** : dégradation
- **L'ANABOLISME +++** : biosynthèse

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

- **EXERGONIQUE** : libère de l'énergie dans le milieu
- **ENDERGONIQUE** : a besoin d'énergie pour avoir lieu

Rmq : Il faut de l'énergie libre pour faire un travail utile

1- 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.**

Au niveau cellulaire, l'énergie correspond à la capacité de réaliser un travail. Celui-ci peut prendre différentes formes :

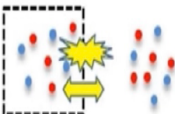
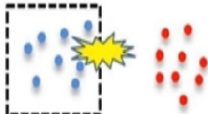
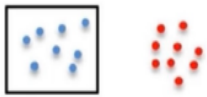
- Mécanique (mouvements d'organites, contraction musculaire)
- Transport transmembranaire (de molécules qui rentrent ou sortent de la cellule)

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 de la matière et de l'énergie avec son milieu environnant** grâce à différents systèmes que nous allons maintenant étudier »

2- Différents systèmes appliqués à la bioénergétique +++

| Système ouvert | Système fermé | Système isolé |
|---|--|---|
| Échange d'énergie et/ou de matière avec le milieu/ environnement extérieur | Échange 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 ISOLÉ +++

La cellule est un système isotherme ouvert qui fonctionne à température et pression

3- 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...)

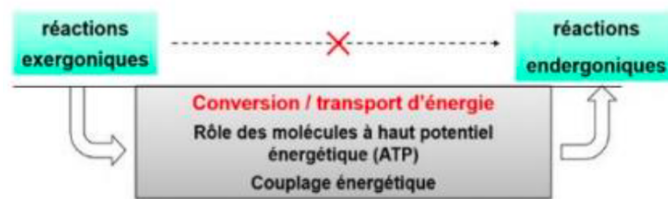
Les réactions exergoniques produisent de l'énergie permettant le déroulement des réactions endergoniques.

- Cela implique des phénomènes de conversion et de transport d'énergie.
- Il existe 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

4- 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 (ENCORE OUI).



5- MÉTABOLISME = ANABOLISME + CATABOLISME

L'énergie nécessaire aux animaux provient de l'alimentation contenant des macromolécules.

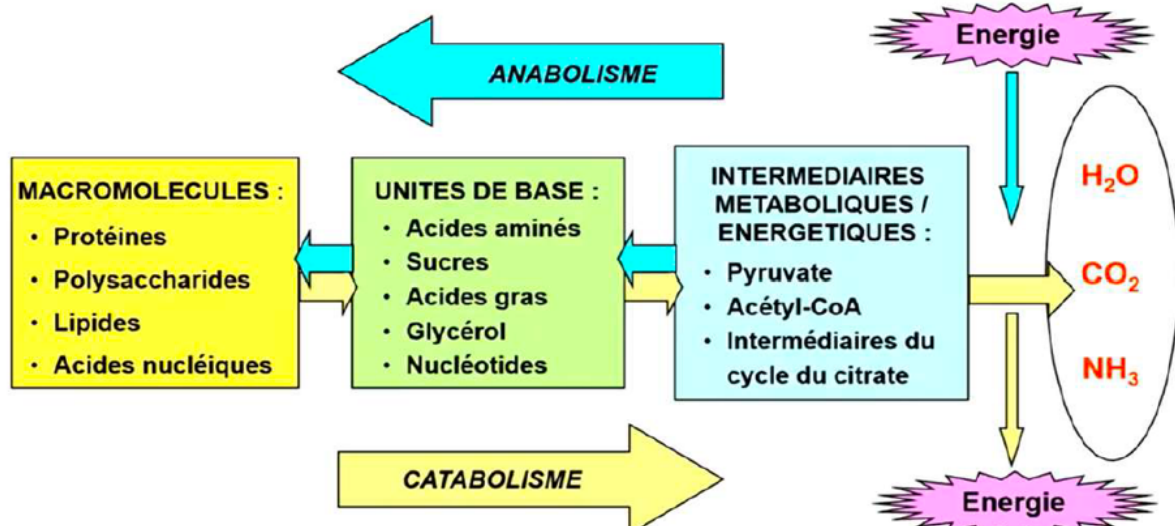
- Ces macromolécules sont dégradées en unités de base, elles-mêmes dégradées en intermédiaire métaboliques et énergétiques.
- Au final, sont produits de **l'eau (H₂O)**, du **CO₂** et de **l'ammoniac (NH₃)**, avec **libération d'énergie**.
 - L'ensemble correspond au **CATABOLISME**

Dans le sens inverse, la production de macromolécules à partir de molécules simples, en utilisant l'énergie libérée, correspond à **l'ANABOLISME**

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

Rmq HYPER importante : les acides nucléiques contribuent très peu au bilan énergétique
+++

Métabolisme = Anabolisme + Catabolisme



II. Bioénergétique et thermodynamique

1- Généralités et définitions

Pour comprendre les voies de fonctionnement des voies « métaboliques, il faut donc les relier aux lois de la 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 mêmes.
- La bioénergétique n'est rien d'autre que l'application de ces lois aux réactions biochimiques

⇒ **Énergie : toute forme de travail et de chaleur.**

⇒ **Entropie : degré de désordre ou de hasard.**

++++

- 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 ou déformée**

- 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+++**

2- Relation de GIBBS

- Relie la variation d'énergie libre, l'enthalpie et l'entropie
- Permet de faciliter l'utilisation des 2 principes de la thermodynamie
- 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 le 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.

Ainsi, on différencie 3 états du système :

| | |
|---------------------------------|--|
| Équilibre | Le système ne peut plus fournir de travail : $DG = 0$ |
| Instable | Réaction spontanée : $DG < 0$: réaction exergonique |
| Nécessitant un apport d'énergie | Lors d'une réaction endergonique : $DG > 0$: Nécessite un apport d'énergie pour réagir |

3- Notion d'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 (sera revu juste après).

- Permet de calculer la constante d'équilibre K_{eq}
- ΔG caractérise l'état d'équilibre : existe quand la concentration initiale de A atteint sa concentration à l'équilibre, et de même pour B

Rmq ultra importante : Une réaction à l'équilibre ne signifie pas que les concentrations sont égales +++

4- Conditions physiologiques de l'état standard

- Milieu aqueux à un **PH = 7** (différent des conditions standard en chimie où $\text{PH} = 0$)
- Concentration initiale de tous les composants de **1.0 M**
- Température de **25°**
- Pression constante de **1 atm**

III. Bioénergétique et métabolisme

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

1- Les réactions couplées

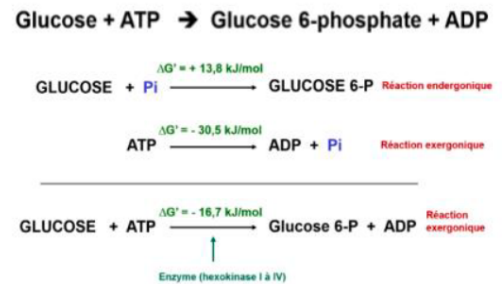
Les réactions endergoniques n'ont pas lieu spontanément et ont besoin d'un apport en énergie pour se dérouler. On émet l'hypothèse que cette énergie est fournie par le couplage direct à une réaction exergonique.

L'énergie dégagée par la réaction exergonique doit en valeur absolue \geq à l'énergie requise par la réaction endergonique

Par exemple :

- L'hydrolyse de l'ATP en ADP + P_i est une réaction fortement exergonique avec un $\Delta G' < 0$: elle a lieu spontanément

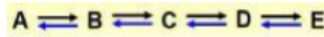
- L'ajout d'un phosphate sur le glucose pour former du glucose-6-P est endergonique avec un $\Delta G' > 0$: elle n'a PAS lieu spontanément
- Pourtant la réaction de phosphorylation du glucose est possible par couplage direct à l'hydrolyse de l'ATP étant que le $\Delta G'$ cumulé est négatif (< 0)



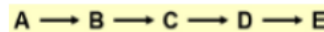
2- État d'équilibre et état stationnaire

Une voie métabolique correspond à un ensemble de réactions biochimiques dont chacune a pour substrat la production de la réaction précédente. Ainsi différents états sont possibles :

- État d'équilibre : les concentrations A,B,C,D et E sont constantes (plus de réactions)



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

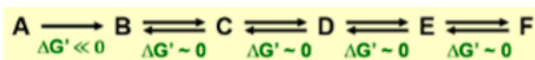


On rappelle que dans les cellules, les voies métaboliques s'éloignent de l'état d'équilibre et sont plutôt à l'état stationnaire

3- Réactions irréversibles

« «

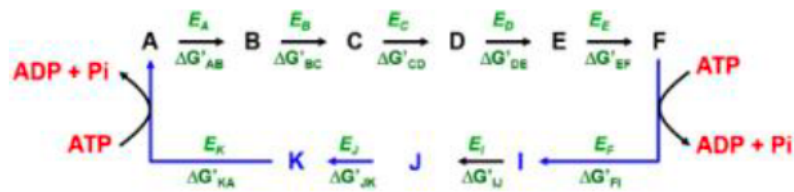
Loi de Lechatelier : « Toute modification d'un facteur d'un équilibre chimique réversible provoque, si elle se produit seule, un déplacement de l'équilibre dans un sens qui tend à s'opposer à la variation du facteur considéré » +++ (phrase un peu chiant à apprendre mais ultra important) » +++



- 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, 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 physiologiques, elles le sont. +++



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

Afin de n'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.

IV. Molécules impliquées dans la bioénergétique

L'énergie est stockée dans les liaisons entre deux atomes.

Pour libérer cette énergie il faudra casser ces liaisons.

Les liaisons riches en énergies sont regroupées dans le tableau.

Celles qu'on retrouve le plus sont les **liaisons phosphoanhydres entre 2 phosphates**

Les liaisons riches en énergies sont représentées par : ~

Exemple : nucléotides triphosphates (TP) qui possèdent 3 phosphates mais seulement 2 liaisons riches en énergie comme **l'ATP** (ENCOOOOORE **OUI**), l'UTP ou encore DiPhosphates qui n'en ont qu'une.

Molécules contenant des liaisons riches en énergie

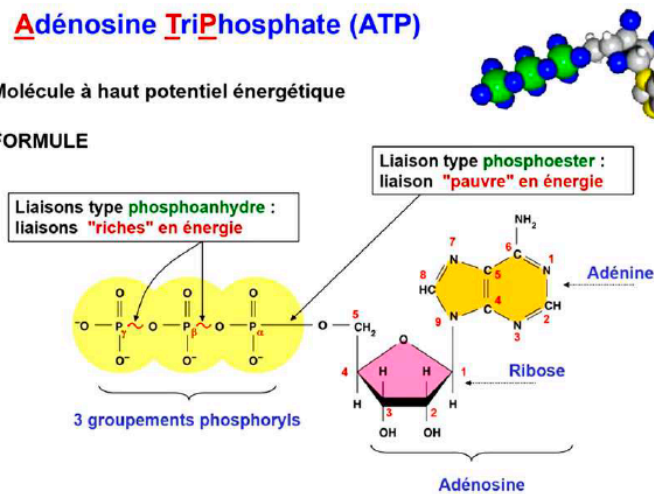
| LIAISONS | FORMULES | EXEMPLES |
|--------------------|--|--------------------------------|
| AMIDINE-PHOSPHATES | $\text{R}-\text{NH}-\overset{\text{NH}}{\underset{\text{NH}}{\text{C}}}-\text{NH}\sim\text{P}$ | Créatine Phosphate |
| PHOSPHOANHYDRES | $\text{R}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}^-}{\text{P}}}-\text{O}\sim\overset{\text{O}}{\unders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

1- Généralités sur l'ATP

Adénosine TriPhosphate (ATP)

Molécule à haut potentiel énergétique

FORMULE



Dans l'ATP, on retrouve :

- Une liaison du phosphate α sur le ribose de type phosphoester, pauvre en énergie
- Deux liaisons au niveau des phosphates distaux, β pour le deuxième et γ pour le troisième : des liaisons phosphoanhydres, riches en énergie

C'est l'hydrolyse de l'ATP au niveau des groupes phosphates β et γ qui libère de l'énergie

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**
- Teneur dans l'organisme : **75g mais synthèse de 45kg par jour**

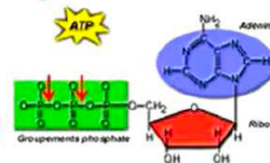
L'ATP: adénosine triphosphate

• 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 ~)



2- Hydrolyse de l'ATP (je vous promets c'est bientôt terminé)

L'ATP contient 2 liaisons phosphoanhydres riches en énergie (G et B) qui peuvent être hydrolysées.

L'hydrolyse de l'ATP au niveau du phosphate G libère une molécule d'ADP et du phosphate inorganique. Ensuite l'ADP peut être hydrolysée pour donner de l'AMP.

L'hydrolyse de la première liaison phosphoanhydride (G) de l'AP et de la deuxième à partir de l'ADP (B) 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 (2 phosphates = pyrophosphate=P_{pi})

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

3- Formation de l'ATP

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. (vous verrez ça plus tard hehe)</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, 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 |

4- D'autres molécules riches en énergie :

- Créatine Phosphate (CP)
- Créatine Phosphokinase (CPK)
- Adénylate kinase (AK)
- Acétyl-CoA
- Phosphoénolpyruvate

La fiche complète sortira après votre premier examen blanc

Vous disposez cependant ici de bases solides pour le cours !

Je suis en train de faire cette fiche dans l'avion personne ne comprends ce que je suis en train de faire, c'était un enfer avec les turbulences

Petite dédicace à la bioch

