

LA BIOENERGETIQUE

Définition :

La bioénergétique est la science qui étudie et explique les mécanismes des transformations et des échanges de l'énergie dans les tissus vivants, elle a pour objet l'étude des mécanismes impliqués dans la capture de l'énergie et dans son interconversion.

En règle générale, l'énergie n'est jamais produite ni détruite, elle est convertie sous diverses formes.

Les organismes utilisent essentiellement deux sources d'énergie:

-l'énergie lumineuse (photosynthèse)

-l'énergie d'oxydation des substrats (respiration)

Les organismes hétérotrophes extraient l'énergie à partir de molécules organiques produites par les autotrophes. Ces phénomènes bioénergétiques sont réalisés à température ambiante sauf pour les mammifères et les oiseaux qui perdent une partie de l'énergie sous forme de chaleur.

Pour ses besoins courants, l'être vivant fractionne l'énergie dégagée et la stocke grâce à des molécules particulières qui comportent des liaisons riches en énergie. La plus courante de ces liaisons est la liaison ester phosphorique contenue dans les pyrophosphates organiques. On la trouve dans des molécules tel l'ATP (adénosine triphosphate), le GTP (guanosine triphosphate)...

Cycle énergétique :

Chez les êtres vivants, la source ultime de l'énergie vient du soleil, l'énergie transportée par les photons est captée par la chlorophylle, et s'accumule sous forme d'énergie chimique dans les différents aliments.

Pour vivre les organismes doivent extraire de l'énergie et la convertir en d'autres formes propres à leur existence. Les organismes peuvent être divisés en deux classes étroitement liées suivant le mécanisme utilisé pour extraire de l'énergie nécessaire à leur propre métabolisme :

1. Les autotrophes ou phototrophes: c'est les plantes vertes, ces organismes utilisent la photosynthèse pour transformer le CO_2 et l' H_2O en une molécule organique élémentaire, le glucose, à partir de laquelle ils fabriquent des molécules plus complexes.
2. Les hétérotrophes ou chimiotrophes: ou cellules animales qui sont incapables d'utiliser les minéraux de leur environnement comme source d'énergie et obtiennent cette dernière à partir des divers aliments (les glucides, les lipides et les protéines) synthétisés par les organismes autotrophes. L'énergie contenue dans ces molécules organiques est libérée surtout par combustion en présence d'oxygène atmosphérique (oxydation) par un

processus appelé respiration aérobie. La libération de H_2O et de CO_2 par les organismes hétérotrophes complète ce cycle énergétique. Il existe un petit groupe de bactéries capables d'obtenir de l'énergie à partir des molécules inorganiques.

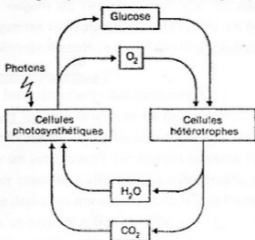


Figure 1 : Digramme du cycle énergétique

Lois de la thermodynamique :

La thermodynamique traite les mouvements d'énergie, par exemple des changements d'énergie d'un milieu réactionnel au cours d'une réaction chimique. Les observations expérimentales concernant l'énergie ont été résumées dans des lois ou principes. Mais avant de parler des transformations énergétiques et les lois de la thermodynamique, il est utile de donner les définitions suivantes :

- ✓ a) Système : une partie de l'univers circonscrite dans des limites bien définies, par exemple : l'organisme, la cellule ou l'éprouvette de verre dans laquelle se produit la réaction chimique. L'univers, moins le système en question, est l'environnement de ce dernier.
- ✓ b) Système ouvert : système qui peut échanger de la matière et de la chaleur avec l'environnement. Les êtres vivants sont des systèmes ouverts, c'est-à-dire qu'en plus de l'énergie, ils échangent aussi de la matière avec leur environnement. Ils restent cependant soumis aux mêmes lois physiques que tous les objets dans l'univers, y compris les lois de la thermodynamique.
- ✓ c) Système fermé : système qui ne peut échanger que de la chaleur avec l'environnement.
- ✓ d) Système isolé : système qui ne peut échanger ni matière ni chaleur avec l'environnement
- e) fonctions d'état : propriétés qui se rapportent aux changements dans un système, mais qui ne dépendent que de l'état initial et de l'état final de celui-ci : énergie interne, enthalpie, entropie, énergie libre de Gibbs.

✓ La première loi de la thermodynamique :

La première loi de la thermodynamique est la conservation de l'énergie. Elle dit que l'énergie ne se crée et ne se détruit pas. L'énergie peut cependant être convertie d'une forme en une autre. L'énergie électrique peut être convertie en une énergie mécanique, l'énergie chimique peut être transformée ou convertie vers une énergie thermique. Les cellules sont

aussi capables de transformer l'énergie. L'énergie chimique présente dans les polysaccharides et graisses de réserve est utilisée en premier lieu pour effectuer les réactions chimiques qui exigent de l'énergie, mais elle est aussi convertie en énergie mécanique quand des organites se déplacent dans la cellule, en énergie thermique si de la chaleur est libérée ou en énergie électrique quand des ions traversent la membrane.

La deuxième loi de la thermodynamique :

Selon cette seconde loi, les événements qui surviennent dans l'univers sont orientés, ils progressent toujours « vers le bas », d'un état de haute énergie vers un état de moindre énergie. Ainsi, toute transformation énergétique entraîne une diminution de la quantité de d'énergie disponible pour un autre travail. Les rochers tombent de la falaise au sol et, une fois qu'ils sont en bas leur capacité à effectuer un autre travail est limitée. De même, les charges de sens opposé se déplacent normalement l'une vers l'autre, elles ne s'écartent pas, et la chaleur s'écoule vers un corps plus froid, pas l'inverse. On dit que ces événements sont spontanés, ce qui veut dire qu'ils sont thermodynamiquement favorisés et peuvent se produire sans consommation d'énergie externe.

Dépenses d'énergie par les cellules

Une cellule vivante est pleine d'activité :

- assemblage des macromolécules à partir des matières premières
- des déchets sont produits et excrétés
- des instructions génétiques vont du noyau vers le cytoplasme
- des ions sont pompés au travers des membranes cellulaires
- des vésicules s'éloignent du complexe de Golgi en direction de la membrane plasmique....

Pour maintenir un tel niveau d'activité, la cellule a besoin d'énergie.

On définit l'énergie comme la capacité de réaliser un travail, c'est à dire la capacité de modifier ou de déplacer quelque chose.

L'énergie libre :

La première et la seconde lois de la thermodynamique montrent que l'énergie de l'univers est constante, mais que l'entropie continue à s'accroître vers un maximum.

L'énergie cellulaire est stockée dans la cellule sous forme d'énergie chimique dans les liaisons riches en énergie. La cellule n'utilise qu'une partie de l'énergie totale (H) appelée aussi enthalpie, contenue dans un composé chimique. Cette portion de l'énergie totale, l'énergie libre (G), ne se dissipe pas sous forme de chaleur. Exprimée sous forme de variation énergétique : $\Delta H = \Delta G + T\Delta S$

Cette équation montre que la variation de l'énergie totale (ΔH) est égale à la variation de l'énergie libre ou disponible (ΔG) plus l'énergie non disponible ($T\Delta S$). T : est la température absolue ($^{\circ}K = ^{\circ}C + 273$) ; ΔS : est la variation d'entropie du système.

Après transformation, $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ permet d'évaluer la spontanéité d'un processus particulier. Toutes les transformations spontanées d'énergie doivent avoir un ΔG négatif,

c'est-à-dire que le processus doit aller d'un état d'énergie élevé vers un état d'énergie libre moindre.

Les activités qui sont capables de se produire spontanément, c'est-à-dire les activités qui sont thermodynamiquement privilégiées sont dites exergoniques. Ces activités ont un ΔG négatif. Par contre si le ΔG d'un processus est positif, il ne peut être spontané. Ces processus sont thermodynamiquement défavorisés ils sont endergoniques. Les réactions endergoniques sont possibles si elles couplées à des activités qui libèrent de l'énergie.

Notion d'entropie :

L'entropie mesure le degré de désordre d'un système au niveau microscopique. Plus l'entropie du système est élevée, moins ses éléments sont ordonnés, liés entre eux, capables de produire des effets mécaniques, et plus grande est la part de l'énergie inutilisée pour l'obtention d'un travail.

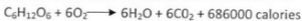
La perte d'énergie disponible au cours d'une activité est la conséquence de la tendance de l'univers à progresser dans le sens d'une augmentation du hasard, ou du désordre, à chaque transfert d'énergie. L'entropie permet de mesurer ce désordre ; il est associé aux mouvements aléatoires des particules de matière qui, parce qu'ils sont aléatoires, ne peuvent contraindre d'effectuer un travail orienté. Selon la seconde loi de la thermodynamique, toute activité s'accompagne d'une augmentation d'entropie dans l'univers. Par exemple, quand on trompe un morceau de sucre dans une tasse d'eau chaude, les molécules qui étaient organisées dans le cristal se répartissent spontanément de façon beaucoup plus aléatoire quand elles se répandent dans la solution. Quand les molécules du morceau de sucre se dissolvent, leur liberté de mouvement s'accroît, en même temps que l'entropie du système.

La libération de chaleur produite, par exemple, lors de l'oxydation du glucose dans une cellule ou de la friction engendrée par le flux sanguin dans un vaisseau, est un autre exemple de l'augmentation d'entropie.

Les organismes vivants peuvent réduire leur propre entropie en augmentant celle de leur environnement. L'entropie diminue chez un organisme lorsque des molécules relativement simples, comme les acides aminés, s'organisent en molécules plus complexes, comme la myoglobine dans une cellule musculaire

Relation entre les différentes formes d'énergie :

Les cellules utilisent l'énergie chimique ou potentielle des aliments qui est enfermée dans les différentes liaisons covalentes entre les atomes d'une molécule. Par exemple, durant l'hydrolyse d'une liaison chimique (liaison peptidique ou liaison ester), il y a libération d'environ 3000 calories par mole. Dans le glucose, entre les atomes de C, H et O, une quantité d'énergie potentielle d'environ 686000 calories par mole (par 180 grammes de glucose) peut être libérée par combustion, selon la réaction suivante :



Dans la cellule vivante, la libération d'énergie se fait par étapes et de façon contrôlée. Elle requiert des douzaines d'enzymes oxydatives qui transforment finalement le combustible en

CO₂ et en H₂O. Dans la cellule, seulement une partie de l'énergie libérée à partir des aliments est dissipée sous forme de chaleur; le reste est récupéré sous forme d'une nouvelle énergie chimique. L'énergie libérée dans les réactions exergoniques au cours de l'oxydation des aliments est utilisée dans les différentes fonctions cellulaires. L'énergie peut être utilisée pour:

1. synthétiser de nouvelles molécules (des protéines, des glucides et des lipides) au moyen de réactions endergoniques (ces molécules peuvent servir à remplacer d'autres molécules ou à la croissance naturelle de la cellule)
2. accomplir un travail tel que la division cellulaire, la contraction musculaire...
3. le transport actif contre un gradient osmotique ou ionique
4. maintenir le potentiel membranaire comme dans la transmission et la conduction nerveuses ou pour produire des décharges électriques (les poissons électriques)
5. la sécrétion cellulaire
6. produire de l'énergie radiante comme dans la bioluminescence.

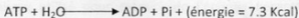
C'est dans les seules réactions du groupe (1) que l'énergie fournie par les aliments est transformée en énergie chimique. Dans toutes les autres réactions, l'énergie chimique est transformée en d'autres formes d'énergie.

La transformation d'énergie la plus importante dans le monde biologique est la conversion de la lumière solaire en énergie chimique : le processus de photosynthèse, source de carburant qui alimente directement ou indirectement les activités de presque toutes les formes de la vie.

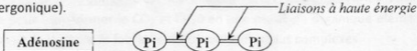
Rôle de l'ATP :

L'ATP (adénosine triphosphate) est le transporteur d'énergie cellulaire le plus important et sert de réserve pratique et polyvalente pour fournir l'énergie à de nombreuses pompes et faire fonctionner diverses réactions chimiques cellulaires comme la digestion, la contraction musculaire, la transmission nerveuse, la sécrétion glandulaire, la production de tissus et la circulation, l'ATP est la « devise énergétique » pour toutes les formes de travail biologique.

Dans la cellule, une des plus importantes réactions chimiques est l'hydrolyse de l'ATP :



La variation d'énergie libre standard entre les produits et les réactifs vaut -7.3 kcal. Il est donc évident qu'en conditions standard, l'hydrolyse de l'ATP est une réaction fortement privilégiée (exergonique).



L'ATP donne son énergie par une hydrolyse énergétiquement favorable qui donne de l'ADP et du phosphate inorganique. La réaction énergétiquement favorable de l'hydrolyse de l'ATP est couplée à de nombreuses autres réactions autrement défavorables qui permettent la synthèse d'autres molécules.