

# Chapitre 1 - Nature et mesure des différentes formes d'énergie

Avant d'aborder l'étude de la bioénergétique, il convient de préciser clairement la finalité et la spécificité de cette science qui est trop souvent mise en avant sans pour autant être correctement définie.

**Définition de la bioénergétique** : la bioénergétique peut être définie comme étant l'étude de la gestion de la quantité d'énergie transformée par un organisme vivant pour satisfaire aux besoins de sa survie (maintien de ses structures, entretien) et à l'accomplissement d'un travail (effort physique, synthèse, etc.)

Dans un premier temps l'organisme va être considéré **dans sa totalité** en relation avec son environnement. Cet organisme sera, bien entendu, l'être humain.

Placé dans son milieu de vie, l'être humain est soumis à de **multiples situations favorables et défavorables** dont il pourra profiter ou au contraire combattre. Il devra néanmoins veiller de pouvoir y puiser constamment **l'énergie** dont il aura besoin pour :

- **assurer l'entretien courant de ses structures biologiques**, renouvellement cellulaire, régulation de ses fonctions, croissance, synthèses, développement. En langage thermodynamique ce serait freiner l'augmentation de l'entropie (mesure du désordre moléculaire).
- **effectuer des mouvements physiques** par le travail musculaire. Et il pourra ainsi par l'énergie mécanique qu'il aura produite à partir d'autres formes d'énergie agir pour communiquer et modeler son environnement.
- **maintenir sa température centrale constante** pour s'affranchir autant que possible des contraintes thermiques du milieu dans lequel il évolue.

# I. Energie rayonnante, chimique, mécanique et thermique

## 1. Les sources d'énergie de l'Homme

On peut s'interroger de quelles sources d'énergie dispose l'Homme ?

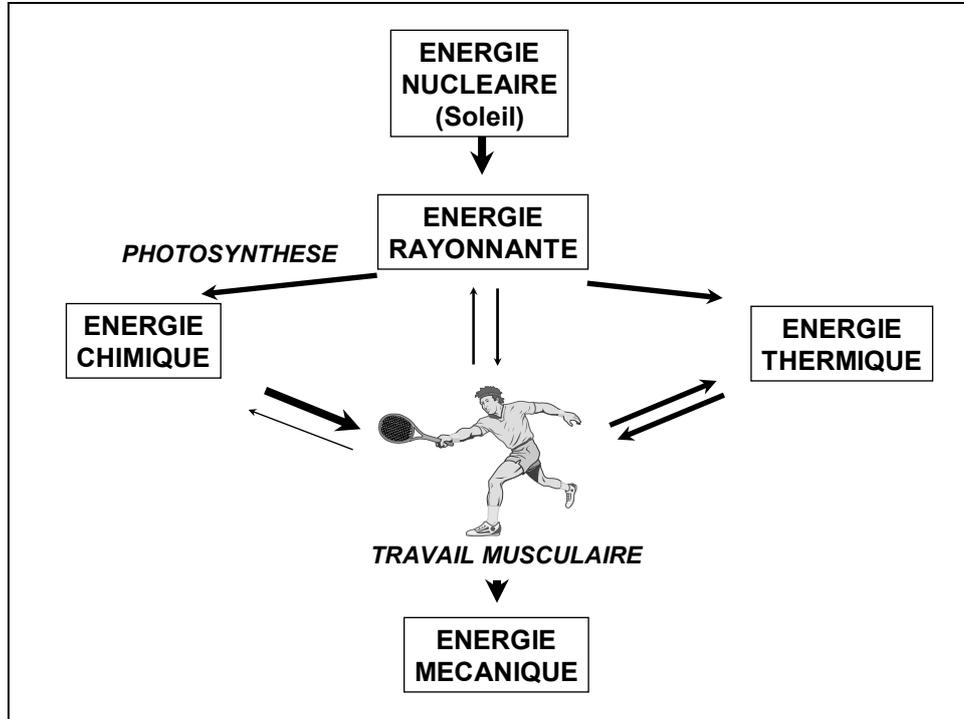


Figure 1 - Origine de l'énergie utilisée par l'Homme.

Pratiquement toutes les formes d'énergie disponibles sur terre nous viennent indirectement de **l'énergie nucléaire** du soleil. La relation entre matière et énergie d'EINSTEIN :  $E = m c^2$  où  $m$  est la masse,  $c$  la vitesse de la lumière (300 000 km/sec), entraîne que par l'émission d'énergie, la masse du soleil est en constante diminution.

Sur terre nous arrivons actuellement à produire une partie de cette énergie par fission nucléaire, mais nous ne maîtrisons pas encore la fusion nucléaire comme c'est le cas du soleil.

Une partie de cette énergie traverse le cosmos pour atteindre la terre sous forme de rayons.

C'est **l'énergie rayonnante** (rayons cosmiques, électromagnétiques, lumière UV, IR, etc.)

Cette forme d'énergie dès qu'elle pénètre dans l'atmosphère se transforme soit en **énergie thermique** et elle réchauffe l'air, la terre et tous les organismes, soit en **énergie chimique** car par la photosynthèse les plantes peuvent convertir la lumière en énergie chimique sous forme de matière vivante qui servira de substrat énergétique ou nutriment aux organismes supérieurs.

L'énergie est dans ce cas contenue dans les molécules que les autres êtres vivants pourront à nouveau utiliser pour produire de la chaleur ou de l'énergie mécanique.

### **Et l'homme dans tout cela que va-t-il utiliser ?**

- Il reçoit de **l'énergie rayonnante** du soleil mais, à part se réchauffer ou bronzer lorsque les rayons entrent en contact avec sa peau, il ne peut pas en faire grande chose. Si les conditions lui sont défavorables il peut aussi émettre des rayons et perdre de l'énergie en en fournissant au milieu.
- Il reçoit de **l'énergie thermique** si son environnement est plus chaud que son organisme ou il en cède si c'est le contraire. Mais comme pour l'énergie rayonnante il ne pourra s'en servir que pour se réchauffer.
- Il recherche et utilise au contraire **l'énergie chimique** sous forme de nutriments pour faire face à l'importante demande énergétique de son corps. Que ce soit pour l'anabolisme et l'entretien, le travail musculaire ou la thermogénèse, l'homme et les animaux supérieurs ont besoin de l'énergie chimique on dit qu'ils sont *chimiotrophes*.

Il est important de noter que :

A partir de l'énergie chimique contenue dans les aliments, l'organisme humain pourra produire soit de l'énergie mécanique (muscles) soit de l'énergie thermique ou même chimique (synthèses). Mais quelle que soit la manière dont il utilisera cette énergie, il va finir par la restituer au milieu externe sous la même forme ou sous une autre. Généralement sous forme d'énergie thermique et mécanique mais cela peut également être de l'énergie rayonnante ou chimique.

**L'organisme est parcouru continuellement par un flux d'énergie qu'il transforme.**

La loi de Lavoisier « *rien ne se crée, rien ne se perd* » s'applique pleinement.

Ce qui va nous intéresser en bioénergétique est la mesure de la **quantité totale d'énergie transformée**.

***Mais d'abord quelles sont les unités physiques utilisées pour quantifier l'énergie ?***

## 2. Les unités d'énergie utilisées

**L'énergie thermique** ou quantité de chaleur est souvent exprimée en calories ou kilocalories.

La calorie étant l'énergie qu'il faut apporter à 1 gramme d'eau liquide pour augmenter sa température de 1 ° C. (pour 1 litre d'eau qui augmente de 1° C il faudra 1kcal).

**L'énergie mécanique** s'exprime en unité de travail : le joule. Le joule étant le travail fourni par une force de 1 newton pour déplacer son point d'application de 1 m.

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} * \text{ m}$$

Mais par souci de **simplification** et de cohérence, on exprime toutes les énergies en joules sachant que **1 cal = 4,18 joules ou J** ; Et **1 kcal = 4,18 kJ**.

Les autres unités utilisées en énergétique sont celle de **puissance** : le Watt qui correspond à un travail de 1 Joule effectué en 1 sec. L'utilisation de la puissance permet souvent de s'affranchir de la dimension « temps ».

Mais à l'énergie thermique est aussi associée la notion de température qui mesure l'agitation moléculaire. Cette dernière serait nulle pour 0° K

Les unités de température sont les degrés absolus Kelvin.  $T^{\circ}\text{K} = T^{\circ}\text{C} + 273,15$ .

Les degrés Celsius sont également utilisés :  $T^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273,15$ .

**Comment allons-nous mesurer l'énergie chimique contenue dans un aliment?**

## 3. Mesure de l'énergie chimique contenue dans un aliment.

Tous les mécanismes conduisant à la libération d'énergie chimique correspondent à des oxydations de substrats selon l'équation générale la plus simple possible :



Dans l'**éprouvette** on parle de combustion, la réaction est rapide et dégage de la chaleur.

Dans l'**organisme vivant**, les conditions sont tout à fait différentes, l'énergie est dégagée lentement par une succession d'étapes qui permettent de générer soit de la chaleur soit de l'énergie mécanique. Par exemple pour le glucose les voies métaboliques suivies sont la glycolyse, le cycle de Krebs, les chaînes de cytochromes etc. L'analyse et la description de toutes ces étapes relèvent des cours de biochimie et ne seront que très peu abordées ici.

Mais quelle que soit la voie suivie **le bilan global est le même**, aussi allons-nous nous contenter de l'équation globale qui résume grossièrement l'ensemble.

Aussi, pour connaître le contenu énergétique d'un substrat nous allons nous contenter de le faire brûler avec de l'oxygène et de déterminer la chaleur dégagée.

Cette technique a pour nom la **calorimétrie directe**.  
(mesure directe de chaleur dégagée)

## II. Calorimétrie directe

Dans le cas où on détermine directement l'énergie thermique ou de la chaleur dégagée, il y a lieu de distinguer entre deux formes de chaleur, la chaleur sensible et la chaleur latente.

### 1. La chaleur sensible

C'est la chaleur contenue dans une quantité de matière que l'on peut ressentir et calculer en déterminant sa masse et sa température. C'est la chaleur que l'on peut détecter en mettant la main ou toute autre partie du corps en contact avec cette matière qui peut être solide, liquide ou gazeuse.

Soit une matière  $x$ , la quantité de chaleur contenue dans cette masse  $H_{s,x}$  sera égale à :

$$H_{s,x} = m_x \cdot c_x \cdot T_x \quad \text{avec}$$

$m_x$  = masse de  $x$

$c_x$  = chaleur massique de  $x$  en kJ/kg. °K

$T_x$  = température de  $x$  en °K

### 2. La chaleur latente

Représente la chaleur ou l'énergie nécessaire pour faire changer d'état une masse de matière sans que la température ne change. C'est l'énergie qu'il faut apporter ou qui se dégage pour faire changer d'état une masse de matière, par exemple :

- de l'état solide à l'état liquide = chaleur latente de fusion  $L_{f(x)}$  en kJ par kg ;
- de l'état liquide à l'état gazeux = chaleur de vaporisation  $L_{v(x)}$  en kJ par kg.

$$H_{L(x)} = m_{(x)} * L_{v(x)} \quad (\text{si } x \text{ est de l'eau, } H_{L(x)} \text{ sera la quantité de chaleur utile pour faire passer cette masse de l'état liquide à l'état gazeux).}$$

Il existe plusieurs types de calorimètres qui mettent à profit, soit la mesure de la chaleur latente (calorimètre à glace), soit la mesure de la chaleur sensible (calorimètre à eau) soit les deux (calorimètre à circulation d'eau et d'air).

### 3. Le calorimètre à glace

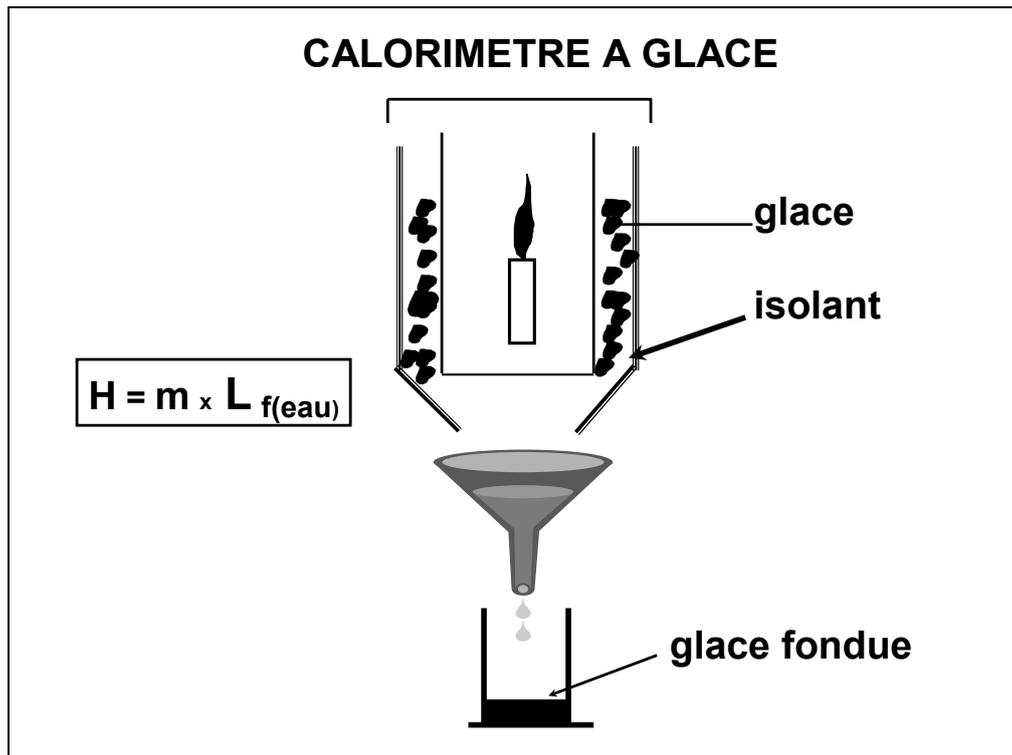


Figure 2 - Schéma de principe du calorimètre à glace.

Avec le **calorimètre à glace** (Fig 2), on met à profit le passage de l'état solide à liquide de l'eau pour quantifier la chaleur produite. On mesure la masse d'eau formée ( $m$ ) pour en déduire la quantité de chaleur ayant servi à la glace pour passer de l'état solide à l'état liquide. L'eau et la glace restent à la même température soit  $0^{\circ}\text{C}$ .

La chaleur totale dégagée  $H$  sera :  $H = m * L_{f(\text{eau})}$

Les inconvénients majeurs de cette technique sont d'opérer à  $0^{\circ}\text{C}$ , de ne pas remplacer l'oxygène utilisé et de ne pas évacuer le gaz carbonique formé. Il n'est donc pas possible d'utiliser cette technique avec de la matière vivante.

#### 4. Le calorimètre à eau

La chaleur dégagée sert à réchauffer une masse d'eau qui isole le lieu de réaction du milieu extérieur. Dans ce cas la quantité de chaleur produite sera égale à :

$$H = m_{(\text{eau})} * c_{(\text{eau})} * \Delta T_{(\text{eau})}$$

H = quantité de chaleur

m = masse totale d'eau

c = chaleur spécifique

$\Delta T_{(\text{eau})}$  = variation de température de l'eau

Ici seule la chaleur dite « sensible » est déterminée, l'eau qui se réchauffe ne change pas d'état. Mais attention ici encore le système est clos et confiné et on a une augmentation de la température de l'enceinte qui peut perturber la combustion ou l'oxydation. Il est de ce fait impossible d'appliquer cette méthode à la matière vivante.

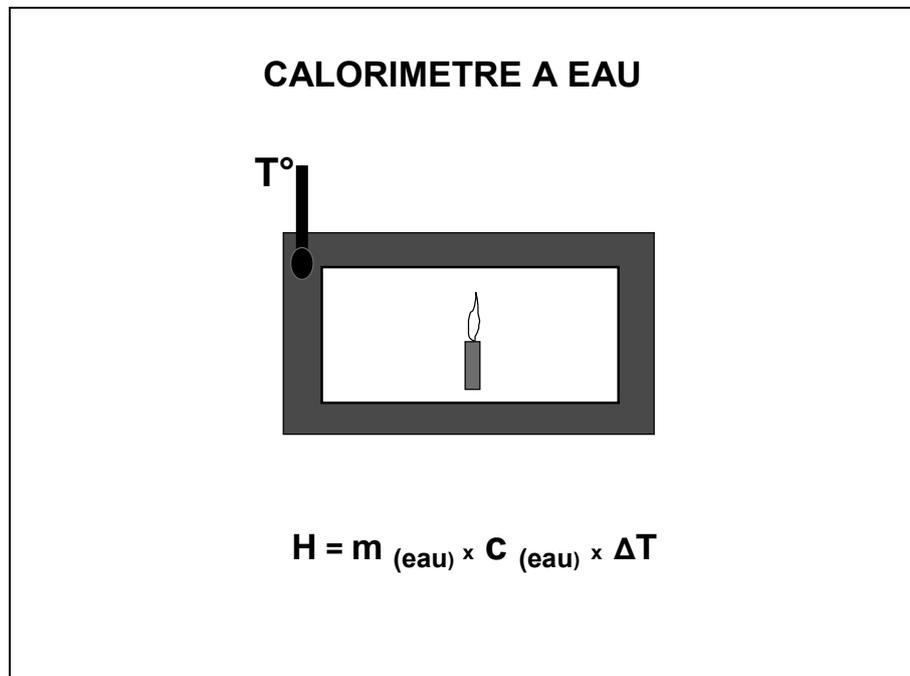


Figure 3 – Schéma de principe du calorimètre à eau.

Ce type de calorimètre, encore appelé la « bombe calorimétrique de Berthelot » a servi de technique de base pour évaluer le contenu calorique de nombreuses substances. La combustion directe entraîne le dégagement de chaleur.