

Bioénergétique

Introduction :

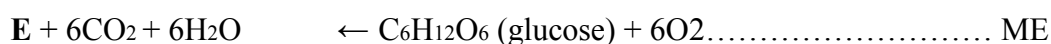
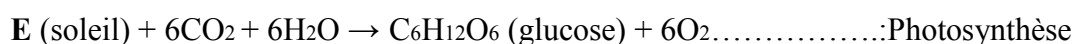
L'être vivant est caractérisé par sa capacité à produire de l'énergie (E), et les manifestations énergétiques extérieures liées à la vie sont évidentes :

- Chaleur animale = E thermique
- Travail (W) musculaire = E mécanique
- Electrogénèse tissulaire = E électrique
- Luisance (vers et insectes) = E lumineuse

Cette capacité de l'être vivant est possible grâce à la transformation des matériaux (nutriments : aliments + oxygène) porteurs d'énergie potentielle chimique et qui sont prélevés du milieu extérieur.

Ainsi la transformation de ces nutriments et leur oxydation pour libérer l'E en rejetant les déchets à l'extérieur constitue **le métabolisme énergétique (ME)**, et toutes les grandes fonctions de l'organisme (respiration, digestion, circulation, sensibilité, motricité....etc.) son comportement même sont orientées à première visée vers la recherche de cette E métabolique (EM).

1. Conservation de l'E :



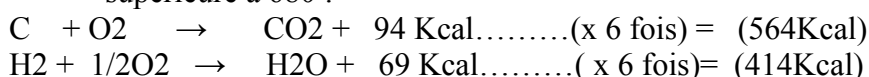
En 1783 Lavoisier a pu apprécier la chaleur produite par l'animal en plaçant un cobaye dans un calorimètre à glace. Le poinds de la glace fondue est proportionnel à la quantité de chaleur dégagée par l'animal.

En laissant son animal dans le calorimètre à glace pendant **10h**, Lavoisier avait fait les constatations suivantes :

- Quantité de la glace fondue = **398g**
- Quantité de CO2 produite = 11.9 g
- La thermogénèse augmente à basse pression
- 11.9 g de CO2 correspond à 3.25g de carbone (C) dont la combustion fait fondre **318 g** de glace au lieu de 398 ! ceci lui a permis de déduire que les produits ne sont pas purs mais complexes et que leur oxydation biologique ne porte pas uniquement sur le carbone mais aussi sur d'autres éléments tel l'hydrogène.



Cependant la formation du CO2 et de l'H2O, éléments constitutifs du glucose libère une E supérieure à 680 :



$$\underline{\underline{= 978\text{Kcal}}}$$

Selon la loi de l'état initial et l'état final, la chaleur de combustion d'une molécule organique (état initial) n'est pas la même que celle de ses éléments ou molécules constitutifs : la différence entre la chaleur de combustion des éléments constitutifs et la chaleur de combustion de la molécule constitue la chaleur de formation de cette dernière. Pour le glucose, la chaleur de formation est de 298 Kcal (978- 680).

Par conséquent la chaleur de combustion d'une molécule organique dans le métabolisme énergétique est la différence entre la chaleur de combustion de ses éléments constitutifs (978) et sa chaleur de formation (298) : $978-278=680$ (pour le glucose).

2. Mesure du métabolisme énergétique ME :

Si pour simplifier on admet que seuls les glucides constituent les matériaux métaboliques énergétiques, et selon les principes de la loi de l'état initial et l'état final ; on peut mesurer l'EM par :

- Mesure de la chaleur produite en plaçant l'être vivant dans calorimètre : **Calorimétrie directe.**
- Calcul de la chaleur produite à partir des éléments métaboliques : **Calorimétrie indirecte :**
 - Soit à partir des ingesta et/ou égésta : c'est la *thermochimie alimentaire*.
 - Soit à partir des échanges gazeux respiratoires (consommation d'O₂, production de CO₂) : *thermochimie respiratoire*.

Dans l'exemple : $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 680\text{kcal}$ et selon toujours la même loi ; on peut calculer la production d'E à partir de l'un ou de l'autre des éléments de l'équation :

- Glucose : l'oxydation de chaque molécule-gramme de glucose donne 680kcal, la combustion donc des aliments ingesta (représentés ici par les glucides source de glucose) donne la valeur de l'EM.
- CO₂ : Chaque molécule-gr de glucose oxydée donne 6molécules-gr de dioxyde de carbone (égésta) : 1 molécule-gr de CO₂ correspond à : $680/6=113.3\text{kcal}$.

Il est donc possible de calculer la production d'EM par la chaleur de formation (EF) des égésta (CO₂ et autres déchets). Dans l'exemple ci-dessus : $EM=EF \text{ du } CO_2 (113.3) \times 6$.

- O₂ : De la même façon ; l'oxydation d'une molécule-gr de glucose nécessite 6molécules-gr d'O₂ ce qui représente 22.4 L x 6 d'O₂. L'énergie thermique liée à la consommation d'1L d'O₂ est donc $=680/22.4 \times 6=5\text{kcal}$. C'est la *valeur calorifique* ou *coefficient thermique* de l'oxygène (à 0C° et 760mmHg de pression).

Les calories résultant de l'oxydation du glucose apparaîtront à l'extérieur sous forme de chaleur (E. Thermique) : en **totalité** en cas où l'organisme **n'effectue aucun travail** (métabolisme de base) ; ou **diminué de l'E liée au travail mécanique (W) en cas d'activité.**

L'E. Thermique reste cependant mesurable par le calorimètre dans toutes les situations.

A. Calorimétrie directe :

C'est la mesure de la chaleur produite par l'organisme en plaçant l'être vivant dans calorimètre approprié. Les principes sur lesquels se base le fonctionnement des différents calorimètres sont :

- Calorimétrie par échauffement d'un corps.
 - Calorimétrie par vaporisation ou fusion d'un corps.
 - Calorimétrie volumétrique ou barométrique.
1. Calorimétrie par échauffement d'un corps : La quantité de chaleur nécessaire pour élever d'1C° la température (T) d'un corps est proportionnelle à sa chaleur spécifique (CS) et à son poids (P). On utilise généralement l'eau dont la CS est = 1.
M : est le P de l'eau du calorimètre en kg.
T₁ : température du calorimètre au début (t₀).
T₂ : température à la fin de mesure.
Q : correspond à la chaleur produite = $M \cdot \Delta T (T_2 - T_1) \cdot CS = M \cdot \Delta T \cdot 1\text{kcal}$.
 2. Calorimétrie par vaporisation ou fusion d'un corps : la chaleur produite par l'animal est utilisée dans ce cas pour faire fondre ou évaporer un corps.

Lorsqu'un corps **liquide** passe à l'état **gazeux (vaporisation)** ou un **corps solide** passe à l'état **liquide (fusion)**, la température demeure constante mais le passage d'un état à un autre nécessite un apport calorifique correspondant à la **chaleur de fusion** ou de **vaporisation**. La chaleur de fusion de la glace est de 79kcal.

La production de chaleur dans le calorimètre de Lavoisier :

$$Q = 79. P \text{ (poids de la glace fondue) kcal}$$

❖ Remarque concernant la calorimétrie directe :

- Non utilisable en pratique ; l'homme étant un être volumineux.

- Les calorimètres sont onéreux et encombrants.

- Toute l'E n'apparaît pas sous forme de chaleur mesurable dans le calorimètre : évaporation de l'eau au niveau des voies respiratoires et la peau nécessitant un apport thermique imperceptible par l'appareil.

- Dans le cas où l'être aura effectué un W mécanique, celui-ci doit être additionné aux mesure pour déterminer l'EM : 1kcal = 425kg mètres :

$$Q \text{ (EM)} = q \text{ (ET du calorimètre)} + K \text{ (nombre de kg mètres sous forme de W/ 425)}$$

- Enfin les conditions du calorimètre ne sont jamais celles naturelles pour le métabolisme biologique.

B. Calorimétrie indirecte :

1. **Thermochimie alimentaire** : En application de la loi de l'état initial et l'état final ; la thermochimie alimentaire peut permettre de calculer la production de l'EM :

- La chaleur de combustion des aliments : INGESTA

- La chaleur de formation des déchets : EGESTA

- Méthode des bilans en tenant compte des deux (INGESTA + EGESTA)

a. **Calcul à partir des ingesta** : Lorsque l'oxydation des aliments est complète jusqu'à formation de CO₂ et H₂O ; la chaleur de combustion de ces aliments représente l'EM.

L' E chimique potentielle surtout des glucides et des lipides est donnée par leur chaleur de combustion dans le calorimètre : 1g de glucides ↔ 4kcal (4.2)

1g de lipides ↔ 9 kcal (9.4)

Pour les protides, leur métabolisme aboutit à des produits éliminés à l'état de déchets mais contenant encore une certaine quantité d'E. La chaleur de combustion d'1g de protides dans le calorimètre est de 5.60 kcal car le métabolisme d'1g de protides donne 0.343g d'urée ; et la combustion d'1g d'urée produit 2.5kcal. Le rendement énergétique en métabolisme d'1g de protide est celui de sa combustion au calorimètre (5.6) diminué de l'E de 1g d'urée (2.5x0.343)= 0.85kcal. Ainsi pour 1g de protides :

Combustion des ingesta	Combustion des égésta	EM
5.6kcal	0.85kcal	4.75

En plus un correctif lié au coefficient d'utilisation digestive

(**CUD = quantité absorbés / la quantité ingérée**) doit être apporté ce qui ramène le rendement combustibles des ingesta dans l'organisme aux valeurs connues pour 1g :

Protides et Glucides : 4.1kcal ; lipides : 9.0 kcal

Ainsi donc l'E potentiel d'un apport alimentaire (ingesta) fait de : P1g de protides, P2g de glucides et de P3g de lipides est égale à :

$$Q = P1 \times 4.1 + P2 \times 4.1 + P3 \times 9$$

- ❖ Remarques concernant la méthode des ingesta : son application en pratique est difficile en raison
 - La composition et le poids de chaque ration doivent être précis ainsi que la proportion de chacun des trois principes (protides, glucides et lipides) doit être connue.
 - L'organisme ne doit pas utiliser l'E des ingesta pour la constitution de réserves(ER) (glycogène, graisses) ; comme il ne doit pas puiser dans ses réserves pour couvrir ses besoins métaboliques dans le cas où celle des ingesta est insuffisante.

b. Calcul à partir des Egésta : Elle permet de calculer la production de l'EM par la chaleur de formation des déchets du métabolisme.

Cette méthode est valable même en l'absence d'équilibre nutritif de l'organisme ; qu'il utilise les ingesta pour la constitution de nouvelles réserves énergétiques ou qu'il puise dans ses propres réserves pour couvrir ses besoins.

L'EThermique liée aux protides par exemple est calculée à partir du poids (P) de l'urée formée : $Q \text{ protides} = 4.75 \times P / 0.343$.

Mais les calculs peuvent être plus difficiles pour estimer l'EM lorsqu'il s'agit de glucides et lipides dont les déchets sont le CO₂ et H₂O.

c. Calcul par méthode des bilans (ingesta + égésta) : Dans la production d'E liée au métabolisme biologique, il faut tenir compte :

- L'E Métabolisable : E_{Met} : qui est mise à la disposition du métabolisme et apportée par les aliments (énergie potentielle chimique), elle est déterminée par la combustion de ces aliments.
- Il n'y a pas d'égalité entre cette EM et l'E Dépensée (ED) qui représente le métabolisme énergétique (EM) que dans un état d'équilibre nutritif parfait c.à.d. que si les apport énergétique est égal exactement au besoins en E.
- En cas où l'organisme constitue de nouvelles réserves (ER),
L'ED (EM) = E_{Met} - ER
En cas l'ED est supérieure à l'E_{met}. (utilisation des réserves),
ED (EM) = E_{Met} + EPR (énergie prise aux réserves).

Dans toutes les circonstances biologiques ; l'être vivant produit une quantité d'E qui est égale à E_{Met}. Des aliments diminuée de la variation de l'E potentielle des réserves qui est positives lors de leur constitution et négative dans le cas de leur utilisation.

La méthode des bilans nécessite donc :

- La connaissance de l' E_{Met}.(ingesta, parfois égésta)
- La détermination de la variation de l'Potentielle des réserves à partir des bilans

biologiques de l'azote (N) et du carbone (C) :

N_g = l'apport d'azote alimentaire

N'_g = déperdition d'azote dans les déchets

$(N - N'_g)$ = représente le bilan d'azote

- Si $N = N'_g$: bilan nul : pas de nouvelles réserves ni leur utilisation (équilibre nutritif)
- Si $N > N'_g$: bilan positif : constitution de réserves à déterminer : 1g de N ↔ 6.25g de protides ↔ à une augmentation de l'E des réserves = $4.75 \times 6.25 = 29.6 \text{ kcal}$.
- Si $N < N'_g$: bilan négatif : utilisation de réserves pour couvrir les besoins (E_{met} < ED) à déterminer également de la même façon.

La méthode des bilans semble être la plus satisfaisante sauf qu'elle est longue et lourde d'application.

2. **Thermochimie respiratoire** : Cette méthode permet de déterminer l'EM à partir de la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation des nutriments au lieu de leur chaleur de combustion.

Sachant que l'oxydation d'une molécule-gr de glucose qui produit 680kcal nécessite la consommation de 134.4L (22.3x6) d'O₂ et que la production d'E liée à la consommation d'1L d'O₂ est de 5.05kcal (680/134.4) ; il est donc très facile de déterminer la valeur de l'EM à partir du volume d'oxygène consommé à partir du coefficient thermique de l'O₂ (CQTO). Qui varie en fonction du type de nutriments consommés. La valeur de 5.05 kcal est spécifique aux glucides ; pour les lipides le CQTO= 4.7kcal, et les protides :CQTO= 4.64kcal.

Les différences constatées entre les CQTO des nutriments ont conduit à la détermination du Quotient Respiratoire : ***QR = le volume CO₂ produit / le volume d'O₂ consommé= 0.82***

Qui varie aussi selon la qualité des nutriments métabolisés :

$$\text{QR glucides} = 1 \quad (6\text{CO}_2 \text{ pour } 6\text{O}_2)$$

$$\text{QR lipides} = 0.7$$

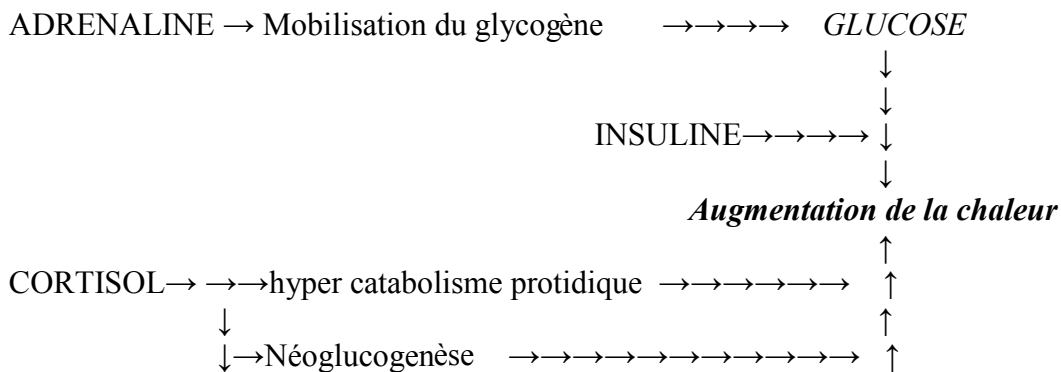
Cette méthode est donc beaucoup plus simple, puisqu'elle se limite à la mesure de la consommation d'O₂ en plus elle est valable dans toutes les circonstances biologiques et nécessitant une durée d'observation très courte.

Notions de THERMOREGULATION

La thermogénèse : ou production de la chaleur : est le fait de tous les tissus organiques consommant de l'oxygène et produisant du CO₂.

Mais ces tissus dégagent la chaleur de façon inégale en fonction de leurs activités :

- Les muscles fournissent 40% de la chaleur au repos ; cette valeur est augmentée par l'exercice physique. Les combustions sont majorées sous l'influence du système nerveux soit volontairement (mouvements actifs) soit par réflexes (frissons).
- Les glandes digestives, surtout le foie produisent 30% de la chaleur avec intervention de l'insuline, l'adrénaline et du cortisol.



Toutes ces réactions sont stimulées par les hormones thyroïdiennes.

A noter également la quantité de chaleur perdue sous l'action spécifique des aliments lors de la digestion.

❖ Propagation de la chaleur :

Elle se fait dans le corps vers la surface par conduction et surtout par convection sanguine.

La propagation vers l'extérieur (**thermolyse**) se fait par :

- Conduction : minime en raison de la faiblesse de la conductivité de l'air, mais peut être très importante dans l'eau froide.
- Convection et réchauffement des couches d'air adjacentes à la peau. N'a aucun rôle si le sujet est dévêtu dans une atmosphère agitée ; elle s'inverse en cas d'une chaleur ambiante dépassant 39°C.
- Radiation : émission de chaleur du corps vers les objets et corps environnants de températures inférieures (vasomotricité).
- Evaporation des muqueuses et de la peau : perspiration cutanée et respiratoire (insensible si T° ambiante < 25°C), transpiration si T° ambiante > 25°C.

❖ Thermorégulation : Homéothermie

Les pertes de chaleurs doivent être égales à la production de chaleur, cette dernière comporte deux parties :

- Une proportion constante correspondant à la chaleur de base (MB) ;
- Une proportion variable : qui est la chaleur réglable, égale à 0 kcal en cas d'équilibre thermique. Elle dépend des oxydations et frissons. Tous les mécanismes de régulation de la température (thermorégulation) consistent donc à faire varier cette proportion selon les

besoins de l'organisme en chaleur en faisant intervenir des moyens physiques, nerveux et hormonaux.

