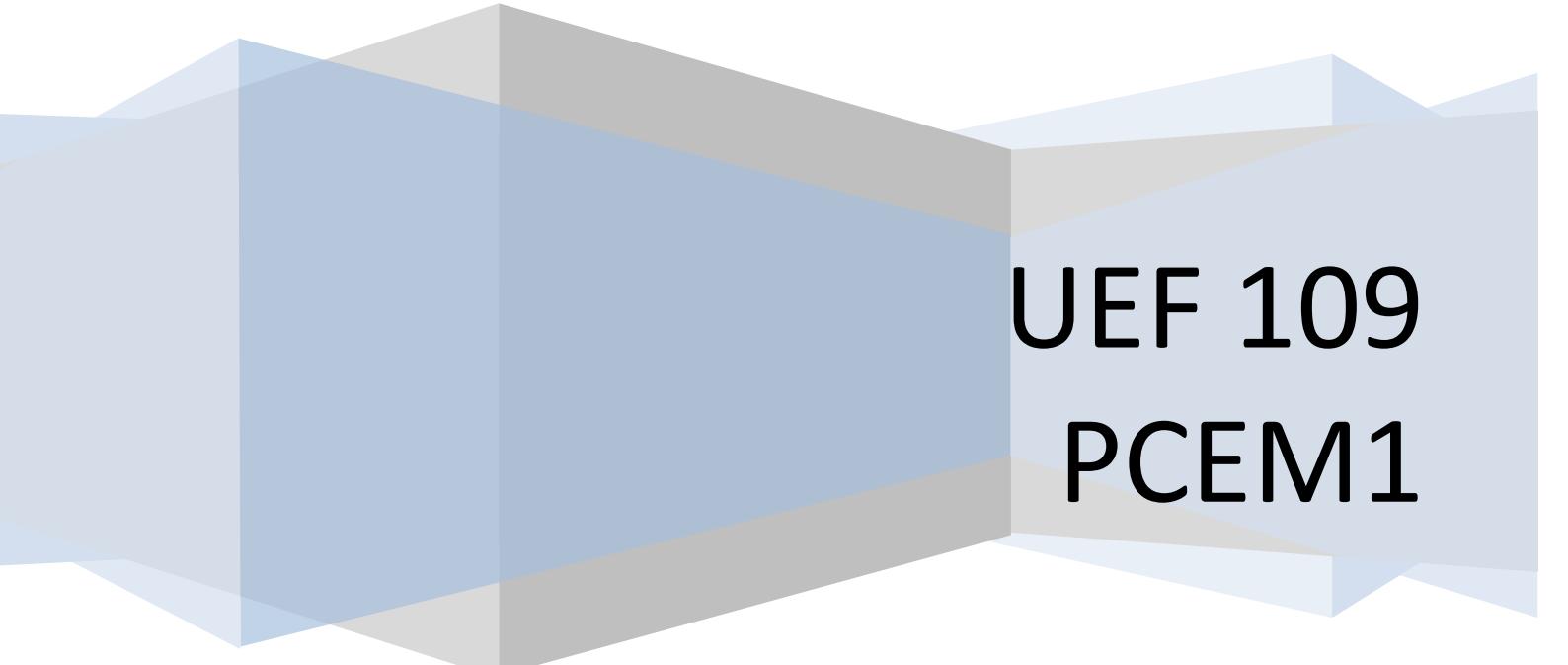


BIOENERGETIQUE

Mini-module d'auto apprentissage

Pr Kaouthar Masmoudi- Frikha



UEF 109
PCEM1

Chapitre 1 : ECHANGES D'ENERGIE

Objectifs

- Expliquer le principe de conservation de masse
- Expliquer le principe de conservation d'énergie
- Identifier les différentes formes d'échanges de matière
- Identifier les différentes formes d'énergie
- Expliquer la notion d'équivalent énergétique des glucides, lipides et protides
- Définir le rendement énergétique
- Décrire les quatre formes d'échanges thermiques

Plan :

1 – INTRODUCTION

2 – PRINCIPES FONDAMENTAUX

2 – 1 – conservation de masse : bilan de matière :

2 – 2 - Conservation de l'énergie : bilan d'énergie :

2 – 3 – Equivalence des différentes formes d'énergie : Unités de mesure :

3 – ECHANGES DE MATIERE

4 – ECHANGES D'ENERGIE

4 – 1 – Energie chimique

4 – 2 – Energie mécanique

4 – 3 – Energie thermique

4 – 3 - 1 – Echanges par radiation

4 – 3 - 2 – Echanges par convection

4 – 3 - 3 - Echanges par conduction

4 – 3 - 4 – Echanges par évaporation

4 – 3 - 5- Echanges thermiques entre le noyau et l'écorce

1 – DEFINITIONS :

Il n'y a pas de vie sans échanges et transformation d'énergie.

Les échanges d'énergie et leur contrôle s'effectuent à l'échelle de l'organisme entier confronté à son environnement.

Les transformations d'énergie se font au niveau cellulaire.

Tous les êtres vivants sont des **systèmes ouverts** c'est-à-dire qu'ils échangent avec leur environnement de la matière et de l'énergie. Alors que les systèmes fermés échangent seulement de l'énergie.

L'équilibre énergétique d'un système est assuré quand l'entrée d'énergie est égale à la production d'énergie.

Les échanges d'énergie se font sous 3 formes principales : chimique, thermique, mécanique.

L'énergie chimique, qui est la plus importante nécessite un support matériel.

Les échanges d'énergie, sont donc, pour un large part, associées aux échanges de matière.

En vue d'une nécessaire qualification, les entrées de matière (M) ou d'énergie (W) sont toujours des gains, positifs pour l'organisme. Alors que les sorties sont toujours des pertes, négatives pour l'organisme.

2 – PRINCIPES FONDAMENTAUX :

2 – 1 – conservation de masse : bilan de matière :

Les organismes vivants, ne créent pas et ne détruisent pas de matière, ce qui permet d'écrire un bilan de matière : $E_M - S_M = B_M$

E_M : entrée de matière (gain)

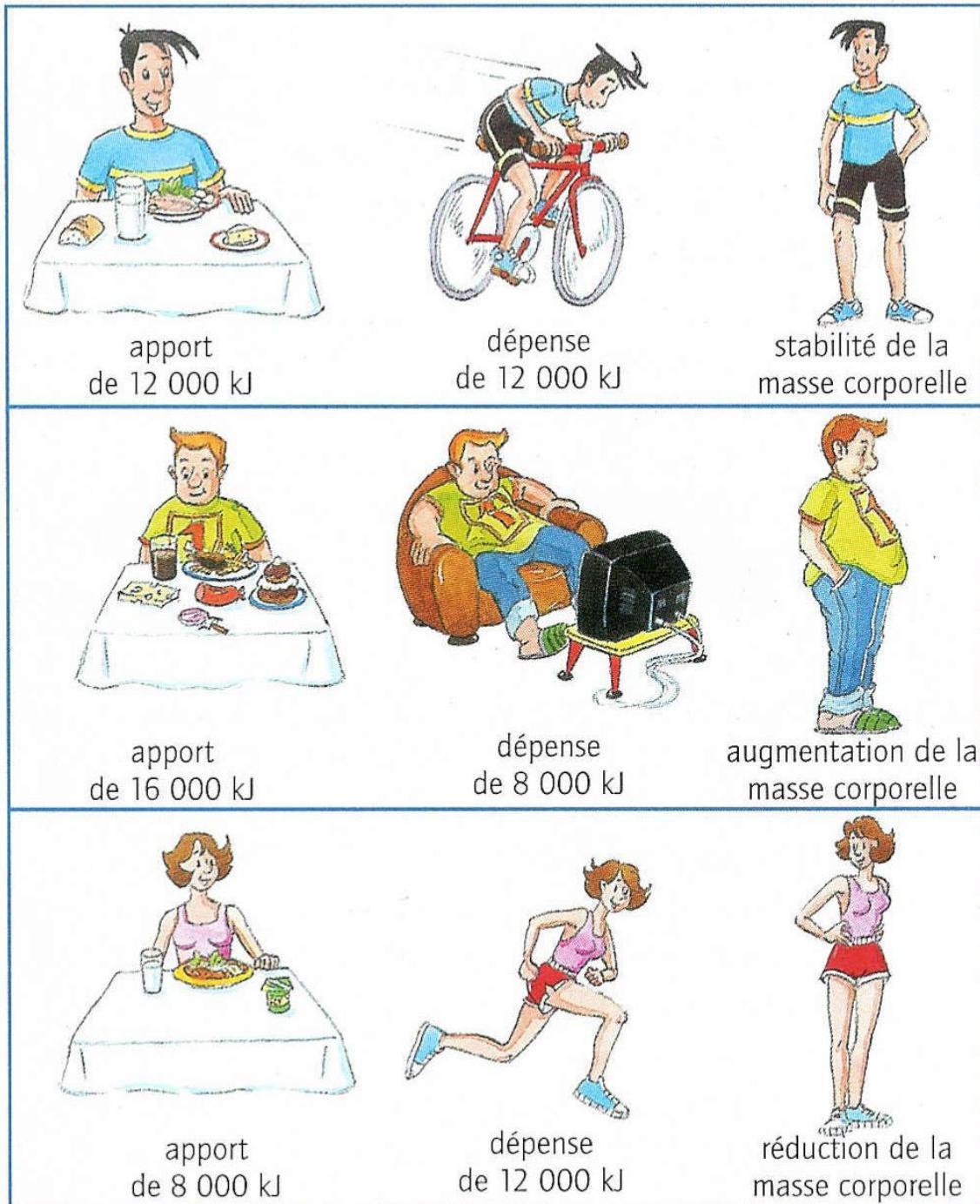
S_M : sortie de matière (perte)

B_M : stocks de matière.

- Si $E_M > S_M \rightarrow B_M (+)$ et les stocks ↗ : c'est le cas des organismes en croissance.

- Si $E_M < S_M \rightarrow B_M (-)$ et les stocks Δ : c'est le cas lors des périodes d'amaigrissement.

- Si $E_M = S_M \rightarrow B_M = 0$: c'est le cas de l'homme adulte normal en bon état de santé (régime stationnaire)



2 – 2 - Conservation de l'énergie : bilan d'énergie :

Les organismes vivants ne créent pas et ne détruisent pas d'énergie.

$$\rightarrow E_E - S_E = B_E$$

E_E : entrées d'énergie (gain)

S_E : sorties d'énergie (perte)

B_E : stocks d'énergie

Si $E_E > S_E \rightarrow B_E (+)$: exemple: organisme en croissance : les stocks \nearrow

Si $E_E < S_E \rightarrow B_E (-)$, les stocks $E \searrow$

Si $E_E = S_E \rightarrow B_E = 0$. Les stocks E sont conservés.

Les variations de masse corporelle, si le bilan hydrique est normal, reflètent les variations du bilan d'énergie.

2 – 3 – Equivalence des différentes formes d'énergie : Unités de mesure :

La transformation d'énergie au niveau cellulaire s'appelle **métabolisme énergétique**

Il y a une équivalence des différentes formes d'E entre elles.

Unités du système international : Joule,

Autres unités : calorie, kilogrammètre

Energie calorique : 1 Kcal : quantité de chaleur nécessaire pour éléver la température de 1 kg d'eau de 15 à 16°C.

Energie mécanique : 1 K joule est la quantité d'énergie que produit une force de 1 Newton dont le point d'application se déplace de 1 m dans le sens de la force

$$1 \text{ K cal} = 4185 \text{ joules} = 4.185 \text{ KJ} = 426 \text{ Kgm}$$

$$1 \text{ KJ} = 0.239 \text{ Kcal} = 102 \text{ Kgm}$$

$$1 \text{ Kgm} = 9.81 \text{ J}$$

a 4.18 kilogram object
moving at 1 meter per
second....

4.18 Joules = 1 calorie

....has enough energy to
heat 1 gram of water from
 15°C to 16°C .

3 – ECHANGES DE MATIERE :

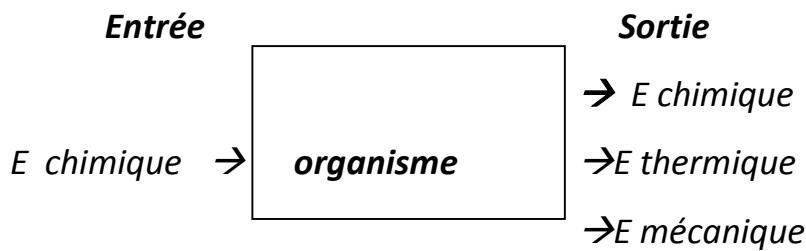
Il y a différentes voies d'échange de matière :

- voie digestive : par l'absorption alimentaire et l'élimination fécale
- voie rénale : par l'excrétion urinaire
- voie cutanée : sécrétion sudorale
- voie respiratoire : fixation d' O_2 et rejet de CO_2 .

La matière échangée a une composition chimique élémentaire simple. Elle est constituée en majeure partie de carbone, hydrogène, oxygène et azote généralement associés dans des structures moléculaires complexes. Les relations intramoléculaires réciproques de ces 4 composants constituent le support essentiel de l'énergie chimique.

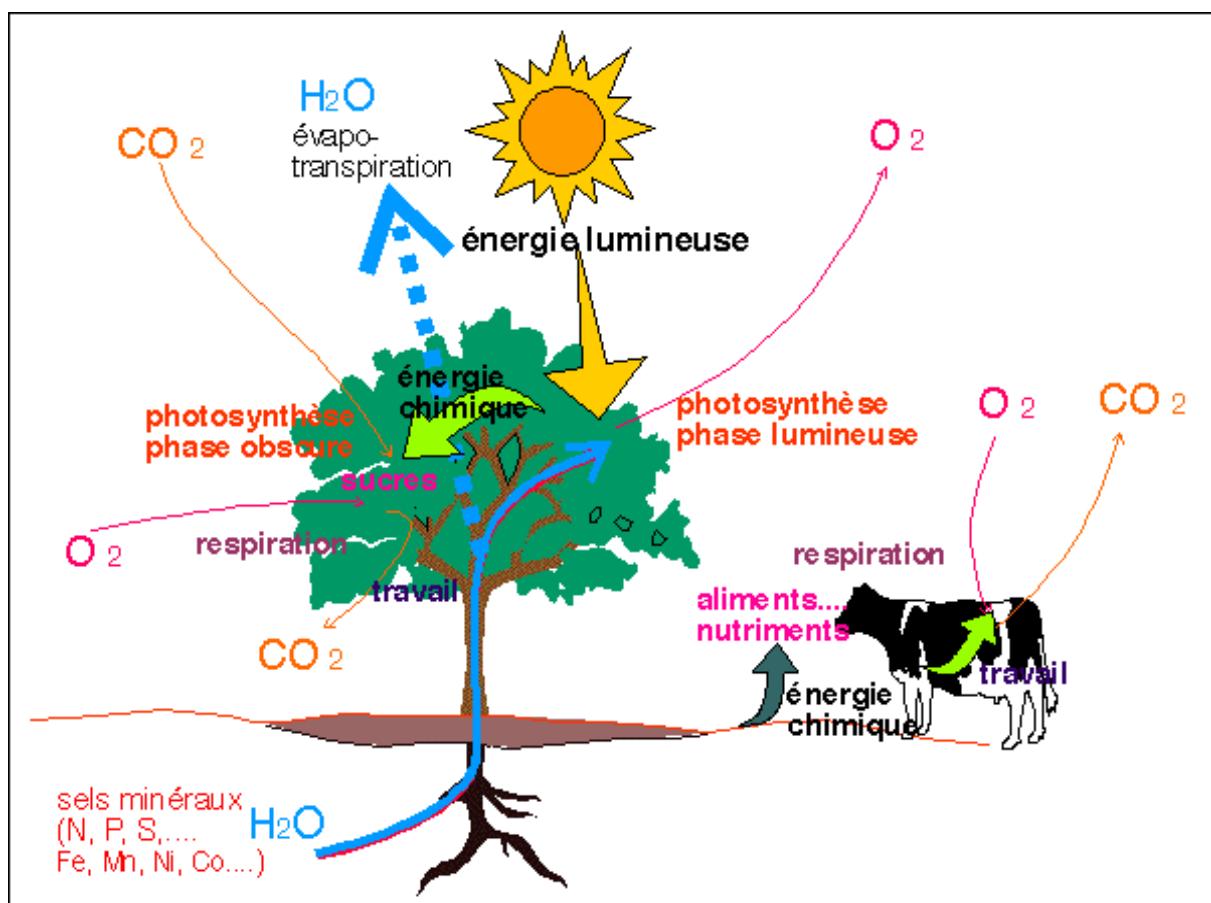
Les échanges de matière, comportent, de plus, un certain nombre de minéraux tel que sodium, potassium, chlore, calcium et phosphore.

4 – ECHANGES D'ENERGIE :



4 – 1 – Energie chimique

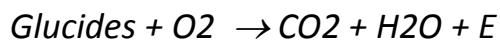
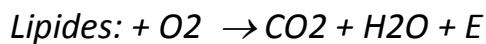
Les organismes animaux sont dits *hétérotrophes* car ils n'utilisent comme source d'énergie, que l'énergie chimique des lipides, des glucides et des protides d'origine animale ou végétale



L'énergie est libérée au profit de l'organisme par la rupture des liaisons carbone-hydrogène de ces molécules complexes et leur oxydation finale en gaz carbonique et en eau.

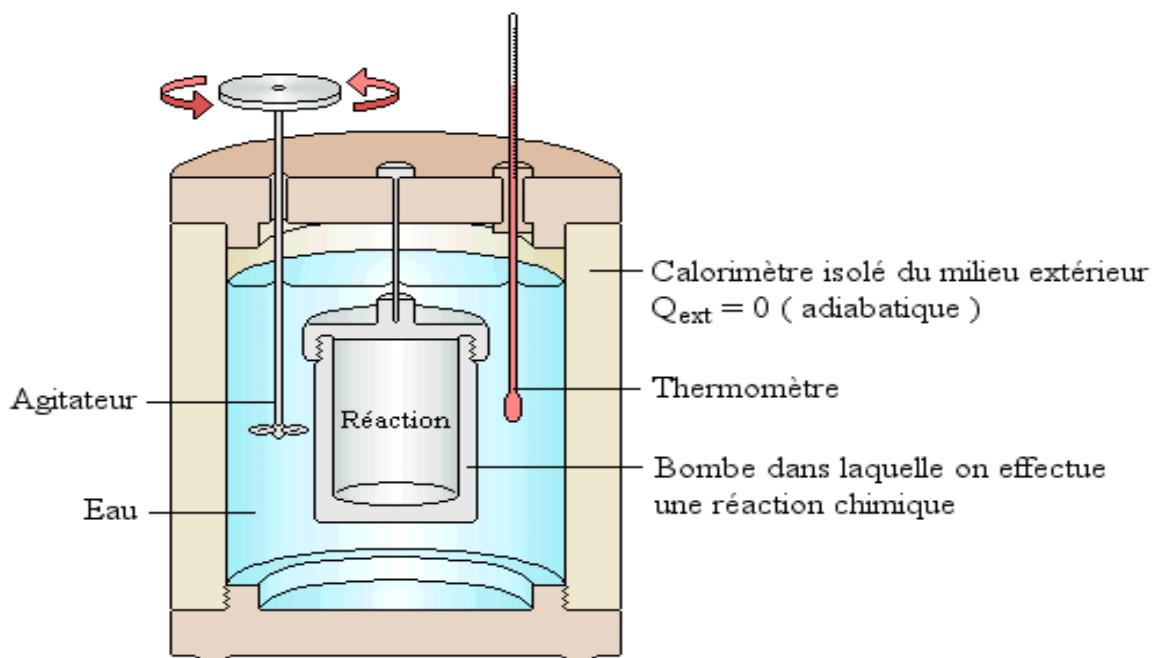
L'énergie libérée est stockée pour une utilisation ultérieure, par les petites molécules phosphorées que sont les adénosines phosphates (ATP, ADP) et la créatine phosphate (CP)

Ces processus énergétiques intracellulaires peuvent être résumés par la réaction :



E: Energie chimique

Il est possible de déterminer la quantité W d'énergie chimique apportée à l'organisme par une substance alimentaire. Pour ce faire, la substance est oxydée, *in vitro*, dans un appareil appelé bombe calorimétrique. Il s'agit en fait de provoquer la combustion de la substance dans une atmosphère d'O₂ pur et de mesurer l'énergie thermique ainsi libérée.



D'après le principe de conservation d'énergie, si les produits d'oxydation finale de substance considérée sont identiques à ceux apparaissant dans l'organisme, les énergies mises en jeu dans la bombe et dans l'organisme sont identiques

quelque soit la succession des réactions chimiques qui fait passer la substance de son état initial à son état final.

L'énergie chimique contenue par une substance est le plus souvent rapportée à son unité de masse (g). Cette quantité (J/g ou cal/g) est appelée équivalent énergétique de cette substance.

Pour les lipides et les glucides composés exclusivement de CO₂, H₂ et O₂, l'application de cette méthode est simple, les produits d'oxydation dans la bombe et dans l'organisme étant identiques (CO₂ et H₂O).

→ *Equivalent énergétique des lipides = 38 KJ / g = 9Kcal/g*

Equivalent énergétique des glucides = 17KJ/g = 4 kcal/g

Dans la bombe calorimétrique :

1g de glucides → 4.1 Kcal → 17.2 KJ

1g de lipides → 9.3 Kcal → 38.9 KJ

1g de protides → 5.7 Kcal → 24 KJ

Dans l'organisme :

Valeur calorique réelle :

1g de glucides → 4.1 Kcal → 17.2 KJ

1g de lipides → 9.3 Kcal → 38.9 KJ

1g de protides → 4.87 Kcal → 20.4 KJ

Valeur calorique pratique (absorption intestinale incomplète):

1g de glucides → 4 Kcal → 16.7 KJ

1g de lipides → 9 Kcal → 37.6 KJ

1g de protides → 4 Kcal → 16.7 KJ

Pour les protides, leur dégradation conduit à CO₂ + H₂O + urée dans l'organisme et à CO₂+H₂O+N₂ dans la bombe où l'urée est totalement oxydée. Pour retrouver la valeur de l'équivalent énergétique des protéines applicable à

l'organisme, il faut soustraire de la quantité d'énergie obtenue à la bombe, celle qui revient à l'oxydation de l'urée.

1 g de protides contient 0.343g d'urée

La combustion de 1g d'urée produit 2.5 Kcal

→ *L'équivalent énergétiques des protides = 17 KJ/g = 4 Kcal/g*

Que devient cette E dans l'organisme ?

Dans un 1^{er} temps, elle est transférée à des petites molécules phosphorées (ATP, ADP) spécialisées dans le transport de l'énergie chimique au sein de l'organisme.

Puis, elle gagne les sites où elle est utilisée :

- elle intervient dans la synthèse de la propre substance de l'organisme : anabolisme
- elle permet de maintenir des différences de concentration d'un point à l'autre de l'organisme. Exemple : de part et d'autre de la membrane cellulaire pour Na⁺ et K⁺ par la pompe Na⁺/K⁺
- elle intervient dans les transports de matière dans l'organisme (exp : progression du bol intestinal, circulation sanguine, ventilation pulmonaire,.....)
- elle est nécessaire à la contraction musculaire (conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique)

Enfin, l'énergie consommée est transformée en énergie thermique(80 %) et en énergie mécanique(20 %).

4 – 2 – Energie mécanique

L'énergie mécanique est la forme de sortie d'énergie la plus apparente chez les organismes animaux. C'est l'énergie consommée pour le maintien de la posture,

la réalisation des gestes et mouvements, le déplacement de l'individu. Elle trouve son origine dans la contraction musculaire liée au raccourcissement du sarcomère. Ce mécanisme s'accompagne de la consommation d'énergie chimique fournie par l'ATP et d'un dégagement de chaleur relativement important, témoin du faible rendement de transformation.

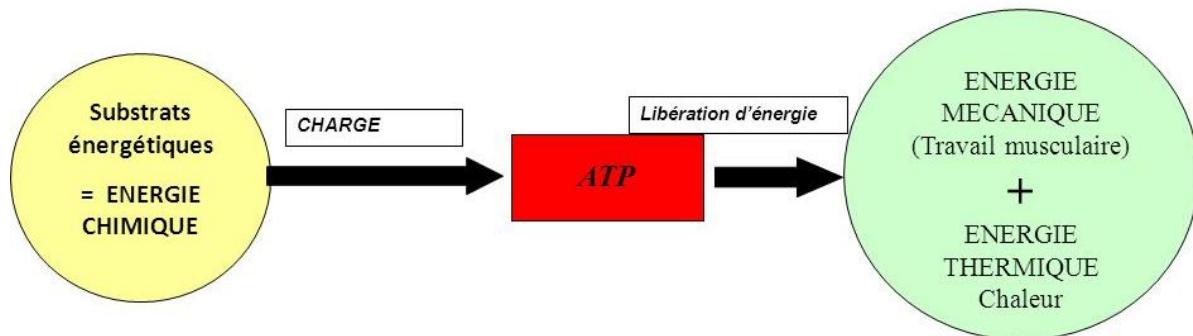
Rendement = Energie mécanique / Energie totale

Par définition : $W \text{ (J)} = F(\text{N}) * L(\text{m})$

W : énergie mécanique mise en jeu par le déplacement

L : longueur du déplacement

F : force nécessaire à la réalisation du déplacement.

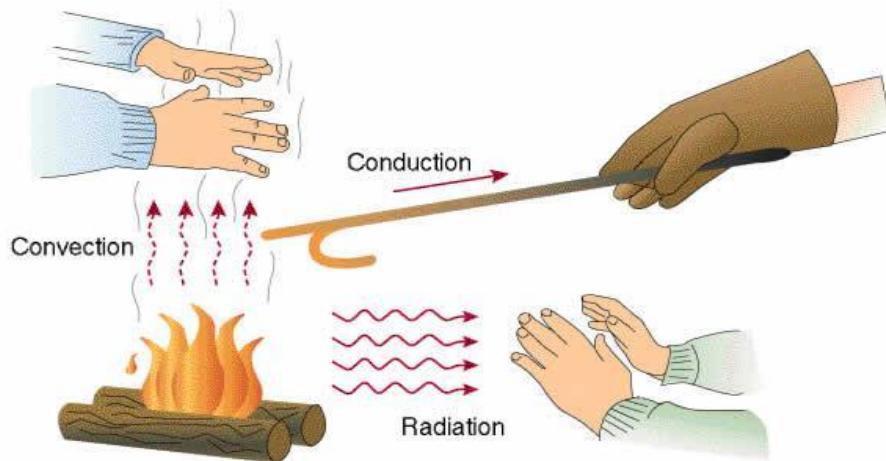


4 – 3 – Energie thermique :

L'énergie thermique est, pour l'organisme, exclusivement une forme de sortie d'énergie. Elle représente quantitativement la part principale. Toutes les transformations énergétiques de l'organisme s'accompagnent du dégagement d'une certaine quantité de chaleur. C'est la source principale de la chaleur animale. La graisse brune est le seul tissu qui permet de transformer l'énergie chimique en énergie thermique (présente chez le nouveau né). L'énergie thermique ne peut pas être transformée *in vivo* en une autre forme d'énergie.

La chaleur ne peut pas être stockée, elle doit être échangée avec l'environnement.

Les échanges thermiques s'effectuent sous 4 formes : radiation, convection, conduction, évaporation.



4 – 3 - 1 – Echanges par radiation :

Ces échanges s'effectuent entre des surfaces à températures différentes. Le rayonnement thermique est un rayonnement électromagnétique émis par les corps en fonction de leur température et reçu par eux selon leurs propriétés de surface. Sa propagation n'exige pas de support matériel mais un milieu transparent. La longueur d'onde du rayonnement est d'autant plus courte que la température du corps émetteur est élevée. La peau humaine émet un rayonnement infra rouge. La peau humaine réfléchit une partie de l'énergie incidente.

4 – 3 - 2 – Echanges par convection :

Ces échanges s'effectuent entre 2 milieux de température différente se déplaçant l'un par rapport à l'autre. Cette convection peut être :

- forcée : *Exemple* : sujet qui s'expose au vent

- spontanée : le déplacement du fluide ne s'effectue que du fait de la variation de la température à proximité de sa surface.

4 – 3 - 3 - Echanges par conduction :

Ces échanges s'effectuent entre 2 milieux de températures différentes mais sans qu'il y ait déplacement de l'un par rapport à l'autre

Exemple : entre la surface cutanée et les solides ou les fluides avec lesquels la peau est en contact sans déplacement.

4 – 3 - 4 – Echanges par évaporation :

C'est-à-dire le passage de l'eau de l'état liquide à l'état de vapeur.

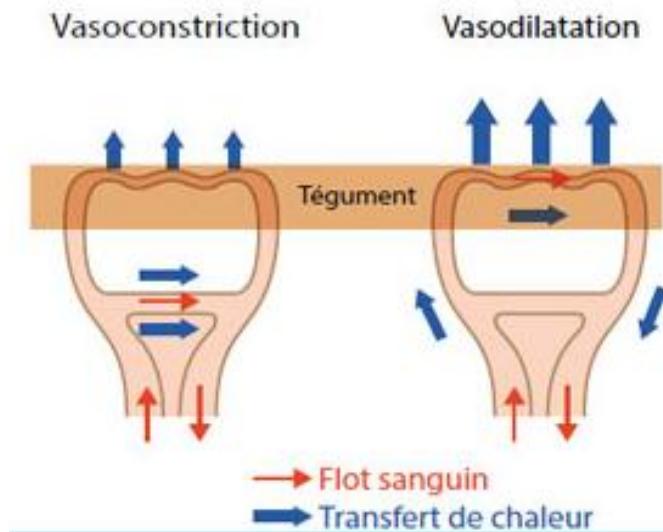
L'évaporation de 1g d'eau permet la dissipation de 0,58 Kcal.

Exemple : évaporation des pertes insensibles de l'eau par la peau et les voies aériennes et des pertes sensibles par la sudation.

4 – 3 - 5- Echanges thermiques

entre le noyau et l'écorce :

Les principaux échanges thermiques se font par convection assurée par la circulation sanguine.



Questions d'autoévaluation

QCM :

Cocher la ou les réponses correctes

1/ Si un individu normalement vêtu et au repos est placé dans un air ambiant à 20°C, 60% de ses pertes thermiques sont faites par :

- A – conduction
- B – convection
- C – radiation
- D – évaporation
- E – conduction, convection, radiation et évaporation

2/ la zone de neutralité thermique pour un homme légèrement vêtu est de :

- A – 10°C
- B – 16°C
- C – 21°C
- D – 25°C
- E – 33°C

3/ Concernant la calorimétrie :

- A - La bombe calorimétrique de Berthelot permet la même dégradation des aliments que dans l'organisme.
- B- La calorimétrie globale est une méthode de calorimétrie directe, contrairement à la calorimétrie fractionnelle qui est une méthode de calorimétrie indirecte.
- C - La calorimétrie fractionnelle mesure toutes les formes de déperditions thermiques (conduction, évaporation, radiation et convection)
- D - La calorimétrie directe est celle utilisée couramment en clinique.
- E - Les valeurs calorimétriques pratiques représentent la quantité de chaleur libérée par la combustion totale des aliments dans la bombe de Berthelot.

4/ La valeur calorique réelle

- A – des protides est égale à 5.4 Kcal/g
- B – des glucides est égale à 9.3 Kcal/g
- C – des lipides est égale à 4.1 Kcal/g
- D – des protides est inférieure à la valeur calorique mesurée par la bombe calorimétrique
- E – des lipides est égale à la valeur calorique mesurée par la bombe calorimétrique

Réponses :

1/ C

2/ C

3/ B – C

4/ D - E

Chapitre 2 :

METHODES DE MESURE

DU METABOLISME ENERGETIQUE DE L'HOMME

METHODES CALORIMETRIQUES.

Objectifs :

- 1- Différencier entre les méthodes de calorimétrie directe et indirecte
- 2- Déterminer l'apport énergétique à partir des données sur la prise alimentaire
- 3- Déterminer la consommation d'énergie à partir de la mesure de la consommation d'oxygène
- 4- Estimer les stocks d'énergie dans l'organisme
- 5- Savoir les méthodes d'estimation de la répartition de la masse grasse dans l'organisme

PLAN :

1 - PRINCIPES GENERAUX

2 – THERMOCHIMIE ALIMENTAIRE

3 - METHODE DES EGESTAS

4 – THERMOCHIMIE RESPIRATOIRE

5 – METHODES DE CALORIMETRIE DIRECTE

5– 1- Calorimétrie directe fractionnelle ou répartitive

5- 2- Calorimétrie directe globale

6 – ESTIMATION DES VARIATIONS DES STOCKS ENERGETIQUES :

6 - 1 - Stocks d'énergie chimique

6 – 1 – 1 - Estimation des stocks en lipides

6 – 1 – 2 - Estimation des stocks en protides

6 – 1 – 3- Estimation des stocks en énergie chimique

6 – 2 - Stocks d'énergie thermique

1 - PRINCIPES GENERAUX :

$$E_E - S_E = B_E$$

E_E = entrée d'énergie S_E = sortie d'énergie B_E = bilan d'énergie

Si on considère le sujet en état stationnaire, $B_E = 0 \rightarrow E_E = S_E$
et donc la mesure de E_E ou S_E suffit.

Méthodes calorimétriques :

- Calorimétrie indirecte.

- Thermochimie alimentaire : méthode des ingestas : mesure les entrées de lipides, protides et glucides ;
- Méthode des égestas : mesure les sorties de gaz carbonique, eau et urée.
- Thermochimie respiratoire : mesure l'O₂ consommé

- Calorimétrie directe : mesure directe de la sortie d'énergie

2 – THERMOCHIMIE ALIMENTAIRE :

Appliquée à un individu, cette méthode consiste à peser les aliments qu'il absorbe et à analyser leur composition en lipides, glucides et protides. Connaissant l'équivalent énergétique et la proportion relative de chacun des 3 nutriments dans la ration alimentaire, il est facile de calculer l'énergie chimique absorbée.

Exemple : l'absorption de 5g de lipides (1 c à s d'huile) fournit $5 \times 9 = 45$ K cal
soit $5 \times 38 = 190$ KJ

Pour obtenir un résultat significatif et indépendant des fluctuations journalières, cette méthode est généralement appliquée pendant plusieurs jours consécutifs. Pour que la mesure des entrées énergétiques au cours de plusieurs jours soit significative, il est nécessaire de vérifier la constance des stocks ($B = 0$). Il suffit pour cela de peser le sujet.

3 - METHODE DES EGESTAS :

Elle consiste à estimer l'énergie chimique libérée à partir de la mesure du gaz carbonique et de l'urée excrétée par l'organisme. C'est une méthode très complexe dans son application au laboratoire, jamais utilisée chez l'homme et rarement chez l'animal

L'application de la méthode après un jeun de 24h permet de réduire le métabolisme énergétique au catabolisme lipidique et protidique, les réserves en glycogène étant rapidement épuisées. Le foie doit produire du glucose (néoglucogenèse) pour les besoins du tissu nerveux uniquement.

- **L'azote : N** : provient du catabolisme protidique.

1g de protides → 0.343g d'urée

1g d'urée → $1/0.343 = 2.915$ g de protides

→ La mesure pondérale de l'azote (N) urinaire permet de déterminer la quantité de protéines catabolisées, donc la production calorique protidique.

Quantité de protéines dégradées = quantité d'urée x 2.915g

La part des protéines dans la dépense énergétique totale = quantité d'urée x $2.915 \times 20.3 \text{ KJ/g}$ (valeur calorique réelle)

- **Le carbone** : provient du catabolisme des protides, lipides (on néglige celui des glucides dans les conditions de jeun)

- Calcul du carbone protéique :

1g de protides → 0.536g de carbone protéique et 0.343g d'urée

→ 1g d'urée → $0.536/0.343 = 1.56$ g de carbone protéique

- Calcul du carbone lipidique :

Jeun de 24 h → carbone glucidique = 0 (car réserves faibles)

Quantité totale de carbone éliminé = carbone protéique et lipidique

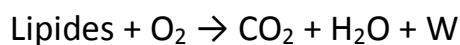
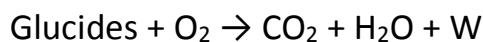
Carbone lipidique = quantité totale de carbone éliminé – carbone protidique
→ Calcul de la quantité de lipides dégradés : 1g de lipides → 0.765g de carbone

4 – THERMOCHIMIE RESPIRATOIRE :

La thermochimie respiratoire consiste à mesurer la consommation d'oxygène (VO_2) d'un sujet et, à partir de cette valeur, à calculer l'énergie mise à la disposition de l'organisme. Ceci suppose que l'équivalent énergétique de la consommation d' O_2 (E_{O_2}) soit connu

$E_{O_2} = E$ libérée / quantité d' O_2 consommée (J/l d' O_2 ou Kcal/l d' O_2).

E_{O_2} est calculé à partir des réactions d'oxydation du type :



Cette valeur n'est pas la même pour chacun des 3 substrats métaboliques.

Sa valeur moyenne E_{O_2} moyenne _{lipides} = 19 KJ / l d' O_2 lipides

E_{O_2} moyenne _{protides} = 20 KJ/l d' O_2 protides

E_{O_2} moyenne _{glucides} = 21 KJ / l' O_2 glucides

En pratique, il est difficile de déterminer au moment de la mesure de VO_2 qu'elle est la participation exacte de chacun des 3 substrats

On utilise une valeur moyenne : **$E_{O_2} = 20 \text{ KJ/l d'}O_2 = 4,8 \text{ Kcal/l d'}O_2$**

Exemples :

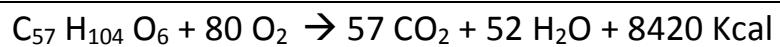
- Glucides : Glucose :



Quotient respiratoire : $QR_{\text{glucose}} = 6CO_2 / 6O_2 = 1$

E_{O_2} glucose = $680 / 6 * 22.4 = 5.05 \text{ Kcal/l d'}O_2 = 21.1 \text{ KJ/l d'}O_2$

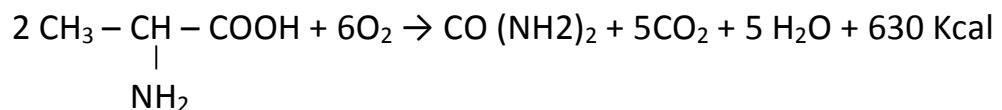
- Lipides : Trioleine :



$$QR_{\text{lipide}} = 57 \text{ CO}_2 / 80 \text{ O}_2 \approx 0.7$$

$$E_{O_2} \text{ lipide} = 8420 / 80 \times 22.4 = 4.7 \text{ Kcal} / \text{l d'O}_2 = 19.6 \text{ KJ} / \text{l d'O}_2$$

- Protides : Alanine



$$QR_{\text{alanine}} = 5CO_2 / 6O_2 \approx 0.8$$

$$E_{O_2} \text{ alanine} = 630 / 6 \times 22.4 \approx 4.65 \text{ K cal / l' d'O}_2 = 19.5 \text{ KJ / l d'O}_2$$

Exemple : VO₂ = 0,250 l / min

(1 watt = 1Joule/seconde)

$$\text{Puissance} = 0.250 \times 20 = 5 \text{ KJ/min} = 5000/60 = 83 \text{ watt}$$



Cette méthode permet d'effectuer des mesures ponctuelles. Quelques minutes seulement sont nécessaires pour la réaliser. C'est la méthode la plus fréquemment utilisée quand on veut connaître le métabolisme d'un sujet à un moment donné. Pour que le résultat obtenu soit représentatif d'un état métabolique moyen, il faudra veiller à stabiliser au préalable cet état métabolique pendant un temps suffisant (15 à 30 min). La mesure proprement dite ne durant que quelques minutes, l'hypothèse d'état stationnaire énergétique. ($B_E=0$) peut être considérée comme toujours vérifiée

5 – METHODES DE CALORIMETRIE DIRECTE :

Elles ont pour but de mesurer directement des sorties énergétiques de l'organisme. Il s'agit initialement de sortie d'énergie thermique uniquement, seule forme de sortie d'énergie pour un sujet au repos. Deux types de calorimétrie directe peuvent être réalisées : la calorimétrie fractionnelle ou répartitive et la calorimétrie globale

5– 1- Calorimétrie directe fractionnelle ou répartitive :

Elle consiste à estimer l'énergie thermique échangée séparément par chacune des voies possibles : radiation, convection, conduction et évaporation et d'en faire la somme. Cette méthode se pratique en général dans une enceinte prévue à cet usage. C'est une méthode de recherche. Pour donner de bons résultats, elle exige plusieurs heures de mesure pendant lesquelles la stationnarité de l'état énergétique doit être vérifiée, en particulier par la stabilité de la température centrale. Elle peut aussi être pratiquée à l'exercice. Dans ce cas, le bilan énergétique devra tenir compte de l'énergie mécanique mise en jeu.

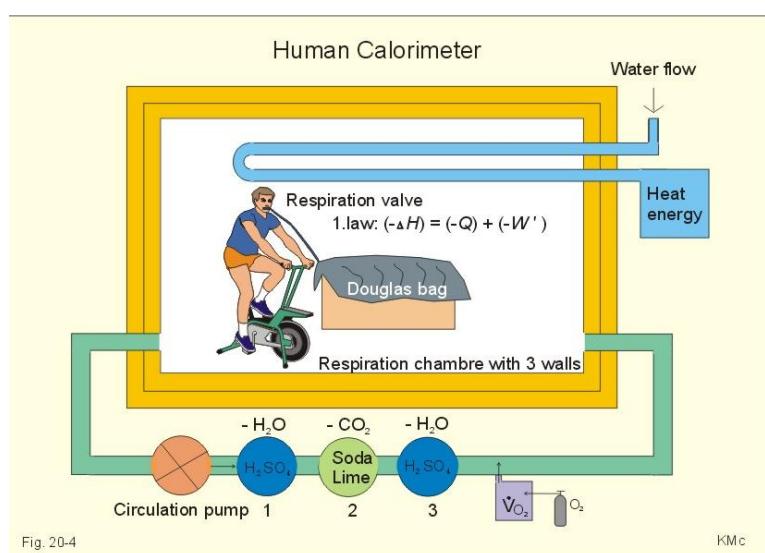
5- 2- Calorimétrie directe globale :

Supposons qu'un sujet soit enfermé dans une enceinte adiabatique, c'est-à-dire ne permettant pas l'échange avec l'environnement. Du fait de la chaleur perdue par ce sujet, par radiation, convection et conduction, la température initialement modérée de l'enceinte va augmenter progressivement.

Supposons maintenant que nous équipions cette enceinte d'un échangeur thermique ayant pour but de maintenir constante de température de l'enceinte. D'après le principe de conservation de l'énergie, la quantité d'énergie soustraite de l'enceinte par l'échangeur est alors égale à la quantité d'énergie fournie par le sujet. Il suffit donc de mesurer l'énergie extraite par l'échangeur. S'il s'agit par exemple, d'un fluide de chaleur volumique spécifique C, traversant l'enceinte avec un débit Q et dont la température d'entrée est T₁ et la température de sortie est T₂, la puissance thermique échangée W est donnée par l'équation :

$$W = Q * C * (T_1 - T_2)$$

C'est une méthode de recherche. Elle a permis en particulier de vérifier que le principe de conservation de l'énergie était parfaitement applicable aux êtres vivants.



6 – ESTIMATION DES VARIATIONS DES STOCKS ENERGETIQUES :

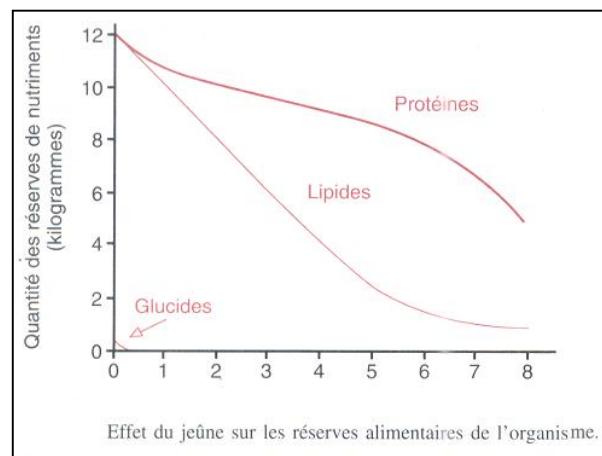
6 - 1 - Stocks d'énergie chimique :

Les stocks d'énergie chimique sont en général les seuls à être pris en compte. Ces stocks sont les lipides, les glucides et les protides constitutifs des tissus de l'organisme.

Pour un adulte moyen de 70kg, il sont estimés à :

- 15kg de lipides → $15000 \times 38 = 570000$ KJ
- 6kg de protides → $6000 \times 17 = 102000$ KJ
- 0.2kg de glucides → $200 \times 17 = 3400$ KJ

La faible valeur des stocks glucidique fait que leur variation éventuelle est négligée.



6 – 1 – 1 - Estimation des stocks en lipides :

- 1ère méthode : Soustraire de la masse corporelle totale la masse maigre. Cette dernière est estimée à partir de la mesure de la masse d'eau totale dont on sait qu'elle représente 70 % de la masse maigre.

- 2ème méthode : Basée sur la mesure de l'épaisseur du pli cutané en sachant



que le tissu cellulaire sous-cutané est un site préférentiel de stockage lipidique

3ème méthode : Repose sur le fait que la densité du tissu adipeux par rapport à l'eau (0.916) est plus faible que celle des tissus maigres (1.123), la mesure de la densité moyenne du corps permet donc d'estimer la masse lipidique et la masse maigre.

- 4ème méthode : Basée sur la capacité des tissus hydratés à conduire l'énergie électrique



6 – 1 – 2 - Estimation des stocks en protides :

Les protides représentent 25% de la masse maigre intracellulaire. Cette masse maigre intracellulaire comprend 75% d'eau qui peuvent être estimés soit par la différence entre la masse d'eau totale de l'organisme et la masse d'eau extracellulaire, soit par la méthode dite de potassium échangeable.

6 – 1 – 3- Estimation des stocks en énergie chimique :

La variation du stock énergétique sera finalement estimée en multipliant les variations des masses lipidiques et protidiques par l'équivalent énergétique

correspondant (38KJ/g et 17KJ/g respectivement) et en faisant la somme algébrique.

Une méthode d'estimation plus grossière consiste à utiliser ***l'équivalent énergétique moyen du tissu vivant qui est égal à 8 KJ/g (2 Kcal/g)*** pour l'homme et donc multiplier cette valeur par la variation de la masse corporelle totale sans détailler les parts respectives des lipides et des protides.

6-2 - Stocks d'énergie thermique :

En général, le contenu thermique du corps est estimé par référence à l'échelle Kelvin des températures absolues. Ce qui est plus intéressant est la variation d'énergie thermique au cours de la mesure qui peut être estimée par l'équation suivante :

$$B_{th} = m * C * \Delta T$$

Avec B_{th} : variation d'énergie thermique, m : masse corporelle (kg), C : chaleur spécifique (pour les tissus humains vivants : $C = 3,5 \text{ KJ / kg/}^{\circ}\text{c}$), ΔT : variation de la température.

Exemple : une variation d'un 1°c de l'ensemble de la masse corporelle d'un homme de 70kg correspond à 1 variation du stock thermique de : $B_{th} = 70\text{kg} * 3,5\text{KJ/ kg/}^{\circ}\text{c} * 1^{\circ}\text{c} = 245 \text{ KJ}$.

245 KJ correspond à une variation du stock lipidique de 6.5g environ. Ceci montre que l'amplitude des variations possibles du stock thermique est beaucoup plus faible que celle des variations du stock chimique. C'est pourquoi les variations du stock thermique sont souvent négligées.

QUESTIONS D'AUTOEVALUATION

1/ Le quotient respiratoire :

- A- Est égal à 0,7 pour les glucides
- B- Est égal à 1 pour les protides
- C- Est égal à 0,7 pour les lipides
- D- Peut se calculer sans la mesure de la production de gaz carbonique
- E- Augmente au cours de l'exercice

2/ Un sujet consomme 0.5L/min d'O₂. Quelle est sa dépense énergétique journalière.

- A- 3456 kcal.
- B- 40 kcal.
- C- 2880 kcal.
- D- 14600 kJ.
- E- 10050 kJ.

3/ sachant que 1g d'urée provient de la dégradation de 2.915g de protéines, quelle est la part des protéines dans la dépense énergétique d'un sujet qui élimine 30g d'urée en 24heures

- A- 350 Kcal
- B- 426 Kcal
- C- 1784 Kcal
- D- 4300 Kcal
- E- 800 Kcal

4/ Parmi les méthodes suivantes, lesquelles sont des méthodes de calorimétrie directe :

- A- calorimétrie globale
- B- calorimétrie fractionnelle
- C- méthode des ingesta
- D- méthode des égesta
- E- thermochimie respiratoire

Réponses :

1/ C-E 2/ A 3/ B 4/ A -B

Chapitre 3 :

RESULTATS DES MESURES DES ECHANGES ENERGETIQUES

LA DEPENSE ENERGETIQUE

Objectifs :

- 1- Différencier entre les dépenses énergétiques de fond et de fonctionnement
- 2- Expliquer la relation entre l'augmentation de la consommation d'oxygène et l'activité physique
- 3- Définir le rendement mécanique
- 4- Décrire la dépense énergétique pour la lutte contre la chaleur et le froid
- 5- Expliquer la thermogénèse postprandiale
- 6- Déterminer les conditions de mesure de la dépense énergétique de fond
- 7- Définir le métabolisme de base
- 8- Enumérer les causes de variation du métabolisme de base

PLAN :

1 - INTRODUCTION

2 - DEPENSES ENERGETIQUES DE FONCTIONNEMENT :

- 2 – 1 - Contraction musculaire
- 2 – 2 - Homéothermie
- 2 – 3 - Prise alimentaire

3 – DEPENSE ENERGETIQUE DE FOND :

- 3 – 1 - Dépense énergétique de fond
- 3 – 2 - Le métabolisme de base : MB
 - 3 – 2 – 1 - *Variations du MB*
 - 3 – 2 – 2 - *La détermination du MB*

1 - INTRODUCTION :

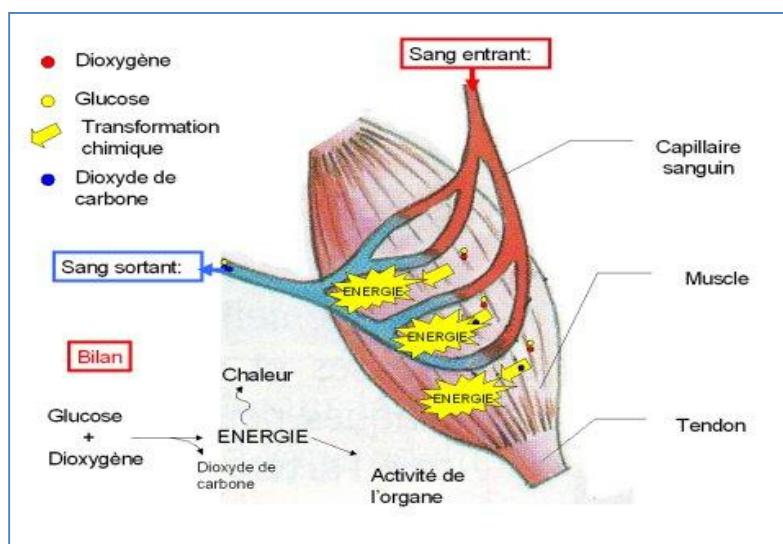
La dépense énergétique d'un sujet varie en fonction de la situation physiologique. 3 situations physiologiques sont responsables des principales fluctuations des échanges énergétiques : l'exercice musculaire, l'absorption alimentaire, l'exposition à différentes températures ambiantes. Elles sont à l'origine de *dépenses de fonctionnement*.

Par opposition, les dépenses énergétiques minimales, incompressibles sont appelées *dépenses de fond*, qui sont constantes pour un individu donné mais varient d'un individu à l'autre

2 - DEPENSES ENERGETIQUES DE FONCTIONNEMENT :

2 – 1 - Contraction musculaire :

Lors de sa contraction, le muscle transforme l'énergie chimique (ATP) en énergie mécanique. Il consomme donc de l'énergie chimique. Cette consommation peut être estimée en imposant à un sujet différentes charges mécaniques et en mesurant simultanément sa dépense énergétique, en particulier par la thermochimie respiratoire.



Exemple :

Lors d'un exercice sur bicyclette ergométrique à une charge musculaire modérée, on constate que VO₂ augmente. L'augmentation de VO₂ correspond à une augmentation de la dépense énergétique (Energie chimique)



$$\begin{aligned}\text{Energie chimique} &= \Delta \text{VO}_2 * \text{Equivalent énergétique moyen de l'O}_2 (\text{E}_{\text{O}_2}) \\ &= \Delta \text{VO}_2 * 20 \text{ KJ / l}\end{aligned}$$

Exemple : $\Delta \text{VO}_2 = 650 \text{ l / min}$ pour une charge mécanique de 50 watt

$$\text{W chimique} = 0,650 \times 20 = 13 \text{ KJ / min} = 217 \text{ watt}$$

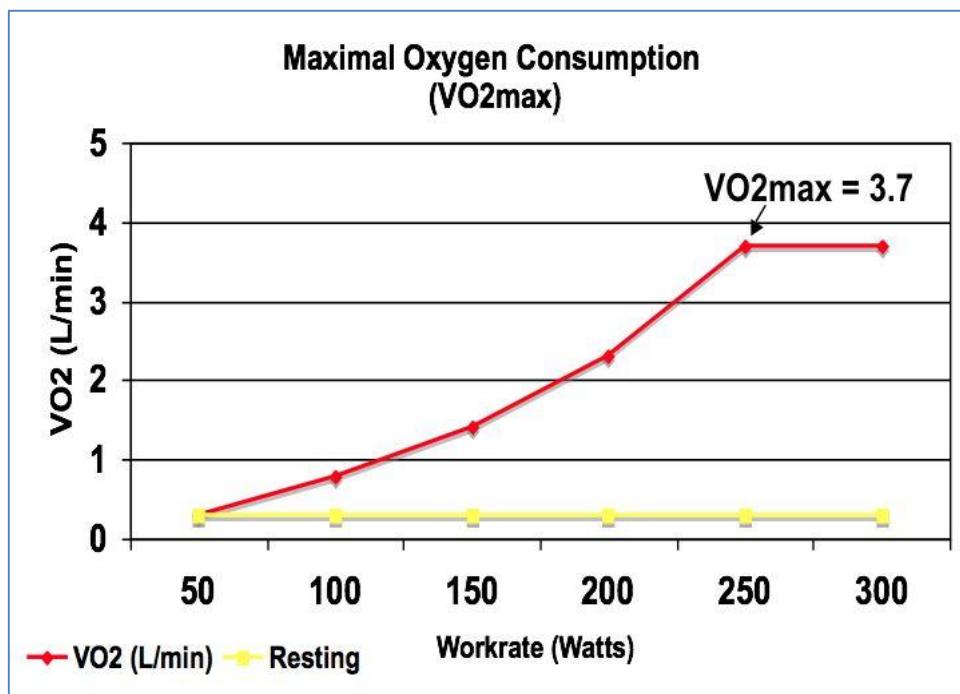
\Rightarrow 217 Watt d'énergie chimique ont été dépensés pour fournir 50 Watt d'énergie mécanique

$$\Rightarrow \text{Rendement} = 50 / 217 = 0,23$$

$$\Rightarrow \quad 23 \% : \text{énergie mécanique} \quad \quad \quad 77 \% \text{ énergie thermique}$$

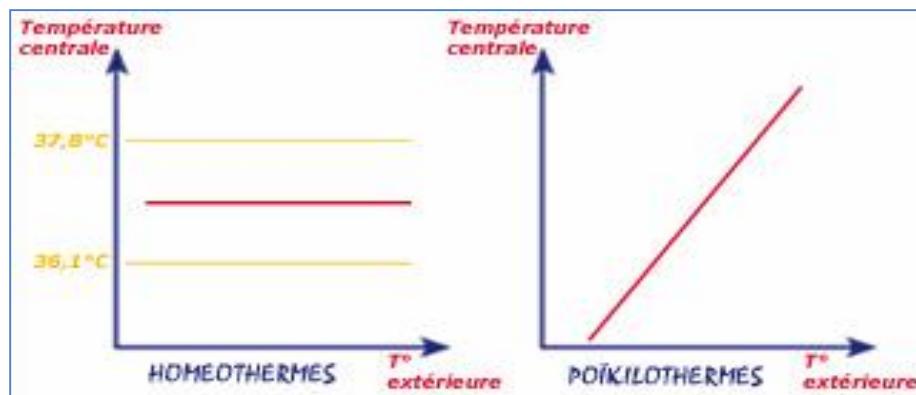
D'autres mesures similaires montrent que ce rendement varie d'un groupe musculaire à l'autre et un sujet à l'autre.

Si on répète la même expérience en faisant varier la puissance mécanique imposée, nous constatons que, à partir de sa valeur de repos, la VO₂ augmente avec la puissance mécanique imposée jusqu'à une valeur maximale, VO₂ max. La puissance mécanique correspondante est la puissance maximale que peut le sujet supporter.

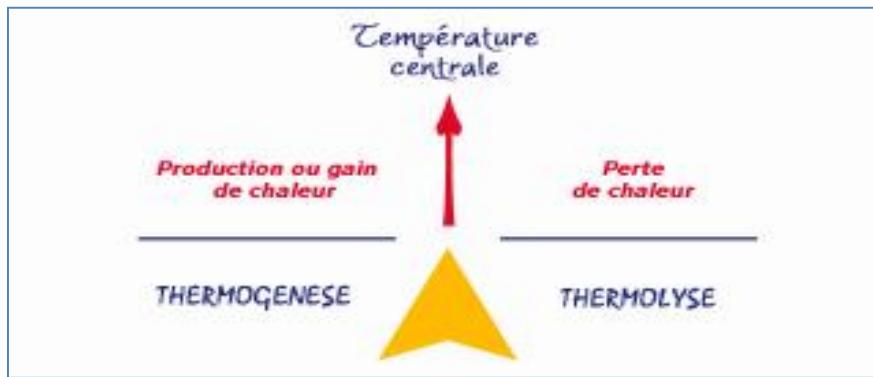


2 – 2 - Homéothermie :

Les animaux homéothermes, comme l'homme, maintiennent leur température centrale constante alors que la température ambiante est variable. Par opposition, les animaux poïkilothermes voient leur température centrale varier comme la température ambiante.



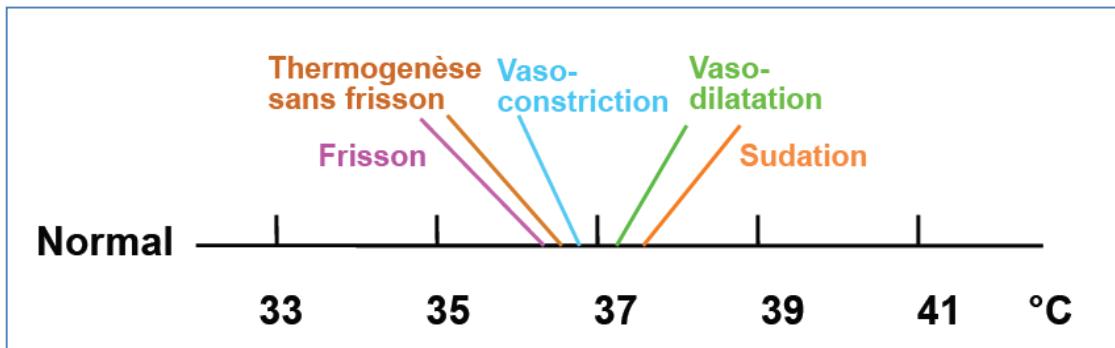
Cette homéothermie nécessite la dépense d'une certaine quantité d'énergie, aussi bien en zone froide, dépense de *thermogenèse*, qu'en zone chaude, dépense de *thermolyse*.



Cette dépense est minimale en zone thermo neutre. Cette zone de neutralité thermique se situe à des températures ambiantes différentes selon le milieu : 25° pour l'homme nu dans l'air, 33° pour l'homme nu dans l'eau.

La dépense énergétique de la thermogenèse est due au frisson, le frisson thermique est une contraction musculaire incoordonnée, sans signification mécanique précise, touchant la majorité des muscles. Cette contraction n'entraîne aucun déplacement sensible. La totalité de l'énergie chimique consommée par le muscle est transformée en énergie thermique.

La dépense énergétique de la thermolyse peut être due à la sudation.

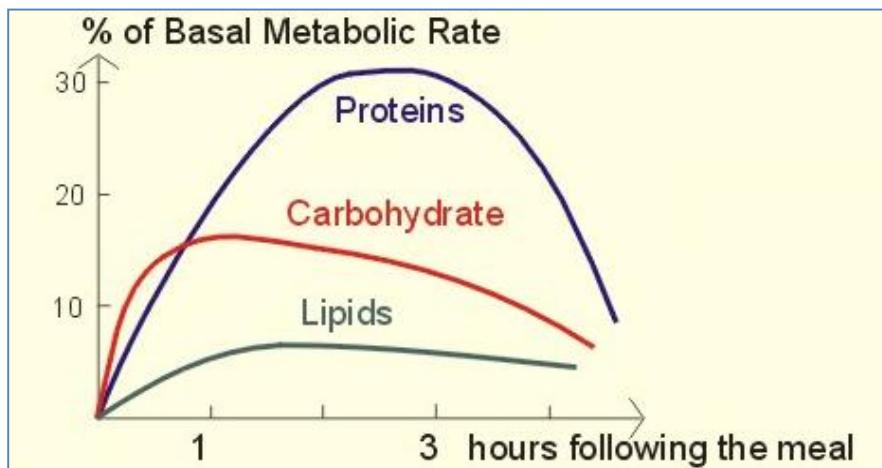


2 – 3 - Prise alimentaire :

La prise d'un repas est suivie en général d'une augmentation de VO₂, donc de la dépense énergétique, apparaissant sous forme de chaleur, d'où son nom de *thermogenèse post-prandiale*. Celle-ci débute dans les minutes qui suivent le début du repas, augmente progressivement jusqu'à une valeur max pour diminuer ensuite lentement et se termine plusieurs heures après la fin du repas.

Sa durée et sa valeur sont variables d'un sujet à l'autre, mais surtout selon l'importance du repas et sa composition. Cette thermogenèse post-prandiale est d'autant plus élevée que le repas est plus abondant et plus riche en protides. Elle peut parfois atteindre 30 % de l'énergie chimique ingérée au cours du repas. Elle est plus faible pour un repas lipidique ou glucidique, surtout si ce repas n'est pas surabondant par rapport aux besoins de l'organisme.

Parfois appelée *action dynamique spécifique*, la *thermogenèse post-prandiale* paraît essentiellement liée aux transformations chimiques contemporaines des l'assimilation des aliments. Celles-ci sont plus importantes pour les protides que pour les autres nutriments. Le but de la thermogenèse est d'adapter les sorties énergétiques aux entrées pour maintenir l'adulte dans un état énergétique stationnaire.



3 – DEPENSE ENERGETIQUE DE FOND :

3 – 1 - Dépense énergétique de fond :

Sa mesure, réalisée à plusieurs reprises sur un même sujet au repos, à jeun et dans une ambiance thermo neutre, donne des chiffres reproductibles : 80 à 180 Watt pour un adulte jeune, de corpulence moyenne et en bonne santé.

D'un sujet à un autre, le résultat varie selon le poids, la taille l'âge, le sexe.....

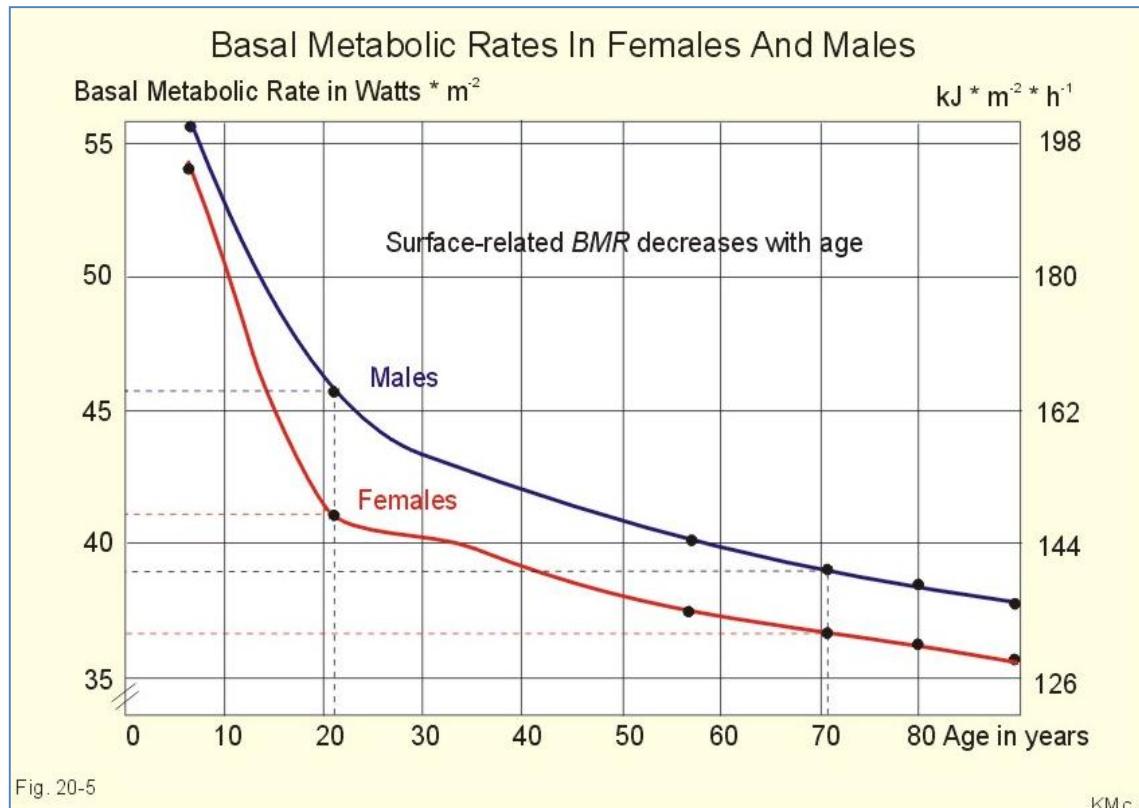
3 – 2 - Le métabolisme de base : MB

Par définition, le métabolisme de base d'un sujet est sa dépense énergétique de fond rapportée à sa surface corporelle et à l'unité de temps. (Watt/m² , Kcal/h/m²) ;

Chez l'adulte jeune

Homme : MB = 45 Watt / m² = 40 Kcal / h / m²

Femme : MB = 42 Watt/m² = 38 Kcal/h/m²



3 – 2 – 1 - Variations du MB

Plusieurs facteurs peuvent modifier le MB :

- L'âge :
 - 5 à 6 ans : MB = 60 Watt/m²
 - 10 à 12 ans : MB = 55 Watt/m²
 - 20 à 30 ans : MB = 45 Watt/m²
 - 70 ans : MB = 40 Watt/m²

- La vie en climat froid ↗ MB
- Le travail physique intense et prolongé ↗ MB

- La grossesse après le 7ème mois ↗ MB.
- Certaines drogues telles que la caféine et les amphétamines ↗ MB
- la fumée du tabac ↗ MB
- La fièvre ↗ MB de 13 % par 1°C

3 – 2 – 2 - La détermination du MB

En pratique, la détermination du MB d'un sujet consiste à mesurer sa dépense de fond et à diviser la valeur obtenue par sa surface corporelle.

La dépense de fond est mesurée par la technique de thermochimie respiratoire pour un sujet à jeun depuis au moins 6 h, au repos depuis au moins 30 min et dans un milieu ambiant thermo neutre, 26°C pour un sujet nu, 21°C pour un sujet légèrement vêtue.

Si MB diffère de plus que 15 % du MB théorique, il est considéré comme pathologique. Ceci s'observe en particulier au cours d'affections de la glande thyroïde.

Questions d'autoévaluation

1/ Parmi les affirmations suivantes, quelles sont celles qui caractérisent les conditions de mesure du métabolisme de base?

- A- La nuit
- B- À jeun depuis 12 à 16 heures
- C- Au repos depuis au moins 30 min et en état de relaxation
- D- Modérément vêtu dans une salle d'examen à une température de confort de 26°C
- E- Sujet endormi depuis au moins deux heures

2/ Le métabolisme de base

- A- est la dépense énergétique de fond rapportée à la surface corporelle
- B- est plus élevé chez la femme comparé à l'homme
- C- s'élève lors de la poussée de croissance pubertaire
- D- augmente lors de la grossesse et de l'allaitement
- E- est indépendant des conditions climatiques et des habitudes alimentaires

3/ Le métabolisme d'un sujet est influencé par :

- A- l'exercice musculaire
- B- la température ambiante
- C- l'activité intellectuelle
- D- les hormones thyroïdiennes
- E- la surface corporelle

4/ Le métabolisme de base :

- A- est la dépense énergétique de fond rapportée à la surface corporelle
- B- est réduit en cas d'hyperthyroïdie
- C- s'élève lors de la poussée de croissance pubertaire
- D- augmente lors de la grossesse et de l'allaitement
- E- est indépendant des conditions climatiques et des habitudes alimentaires

17/ la thermogenèse post-prandiale est :

- A – plus élevée pour les lipides que les protides car la valeur énergétique des lipides est supérieure
- B – principalement la traduction du travail métabolique nécessaire à l'assimilation des aliments
- C – un moyen efficace de lutte contre le chaud car elle permet d'éliminer la chaleur
- D – est de l'ordre de 1000KJ par 24 heures
- E – Est plus élevée quand le repas est abondant

R : B - D – E

Réponses :

1/ B – C

2/ A – C – D

3/ A – B – D – E

4/ A – C – D

Chapitre 4 :

COUVERTURE DES DEPENSES ENERGETIQUES

RATION ALIMENTAIRE

Objectifs :

- Savoir calculer les besoins énergétiques en fonction de l'activité et de l'âge du sujet.
- Connaître la répartition idéale de la ration alimentaire en glucides, lipides et protides
- Décrire la répartition de l'apport alimentaire dans la journée
- Expliquer pourquoi il faut un apport minimum de glucides, de lipides et de protides.
- Définir la loi de l'isodynamie
- Déterminer les besoins en oxygène, en eau, en éléments minéraux et en vitamines dans l'organisme
-

PLAN :

1 - INTRODUCTION

2 - BESOINS ENERGETIQUES :

2 – 1 -Estimation des besoins énergétiques

 2 – 1 – 1 - *Ration d'entretien de l'adulte*

 2 – 1 – 2 - *Ration de croissance de l'enfant*

2 – 2 - Couverture des besoins énergétiques

3 - BESOIN SPECIFIQUES

3 – 1 - Besoin en oxygène

3– 2 -Besoins protidiques

3– 3 -Besoins glucidiques

3– 4 - Besoins lipidiques

4 – BESOINS EN MATERIAUX NON ENERGETIQUES :

4 – 1 - Besoins en eau

4– 2 - Besoins en éléments minéraux

4– 3 - Besoins en vitamines

1 - INTRODUCTION

Chez l'animal, les pertes d'énergie ne se font pratiquement que sous forme thermique et mécanique, et les gains, sous forme chimique. Ces gains sont assurés par la ration alimentaire en lipides, glucides et protides.

Buts de la ration alimentaire :

- couvrir les besoins énergétiques
- couvrir les besoins de matière consécutifs, soit à la construction de la matière vivante pour les organismes en croissance, soit au renouvellement permanent des composants tissulaires pour les organismes à l'état stationnaire.
- apporter à l'organisme des molécules complexes qu'il n'est pas capable de synthétiser mais sont indispensables à la vie tel que les vitamines.

Tout ceci entre en compte dans la composition de la ration.

On distingue 2 types de besoins :

- besoin de matière : très spécifique : un élément chimique ne peut pas être remplacé par un autre.
- Besoin énergétique : moins spécifique : un substrat énergétique peut être substitué par un autre.

Diverses méthodes permettent de juger de l'adéquation du régime alimentaire aux besoins.

Exemple : Le régime d'épreuve : il consiste à fournir à un sujet un régime connu et à vérifier que ce régime permet, chez l'adulte, le maintien de l'état stationnaire et, chez le jeune une croissance normale.

2 - BESOINS ENERGETIQUES :

2 – 1 -Estimation des besoins énergétiques :

Les méthodes calorimétriques, permettent d'estimer ces besoins. En ce qui concerne l'établissement de la ration alimentaire, ils sont calculés pour une période de 24 h.

2 – 1 – 1 - Ration d'entretien de l'adulte :

Elle est calculée en additionnant, pendant 24 heures, les dépenses correspondant à chaque type d'activité.

Pour un adulte normal de sexe masculin, la ration d'entretien doit apporter quotidiennement :

- de 11000 à 12500 KJ en cas d'activité modérée
- de 12500 à 14500 KJ en cas d'activité moyenne
- de 14500 à 16500 KJ en cas d'activité intense.

Exemple de calcul de la ration d'entretien :

-10 h de dépense de fond : 80 Watt *10 h x 3600 s = 2900 KJ

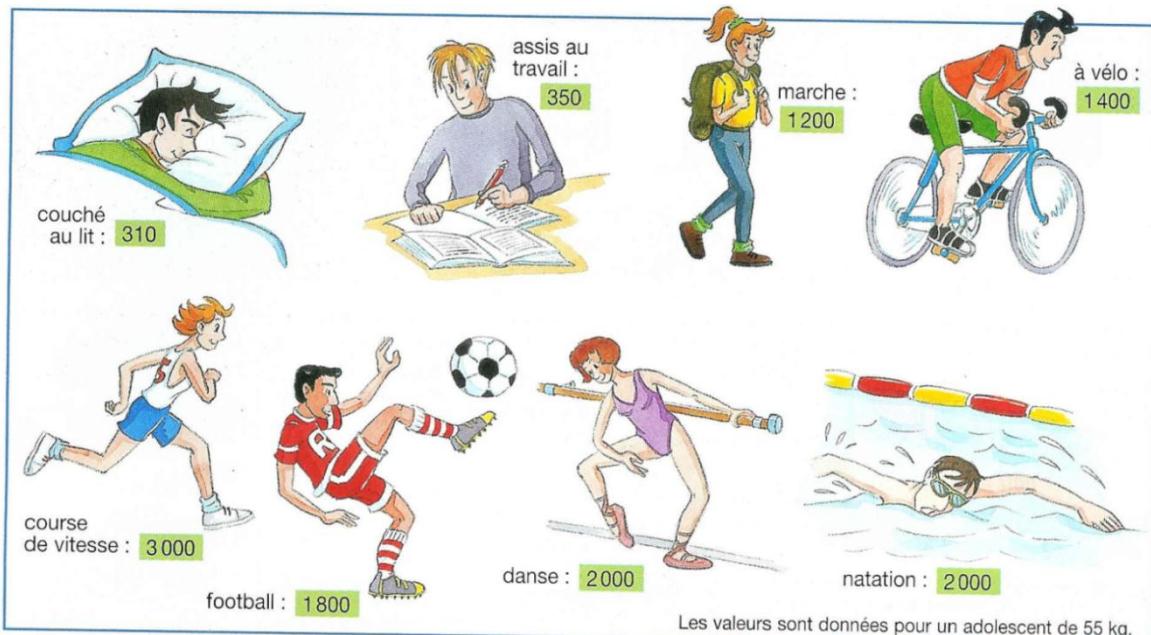
- 8 h de travail léger : 150 Watt * 8 * 3600 = 4300 KJ

- 6 h d'activités diverses : 120 Watt * 6 *3600 = 2600KJ

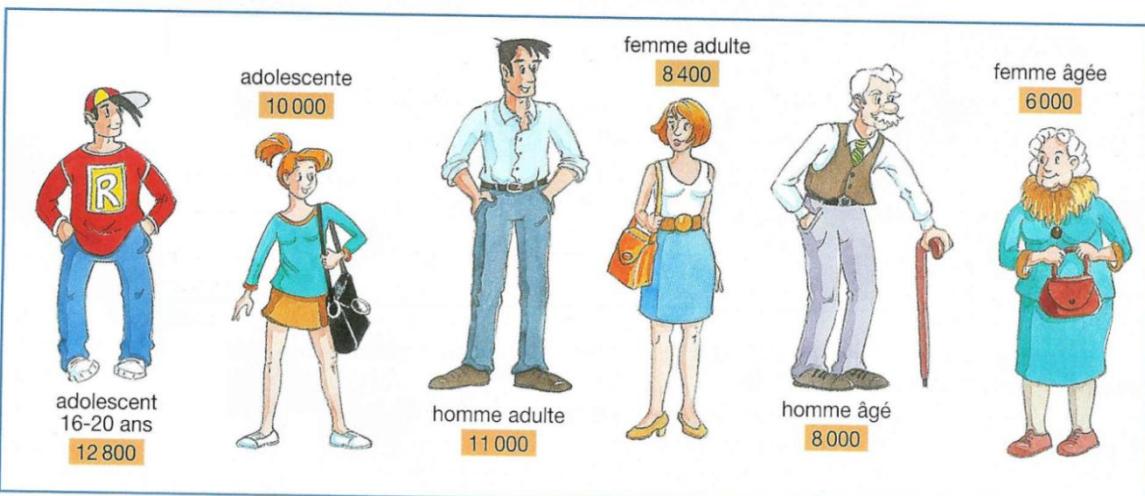
- thermogenèse post prandiale : 1000 KJ

- thermorégulation : 1000 KJ

Total *11800 KJ*



a A chaque activité, un coût énergétique différent (exprimé ici en kilojoules par heure).



b Besoins énergétiques quotidiens (exprimés en kilojoules par 24 heures).

2 – 1 – 2 - Ration de croissance de l'enfant :

Le bilan énergétique doit estimer :

- la sortie énergétique
- la variation des stocks énergétiques correspondant à l'accroissement pondéral.

Exemple :

- Nourrisson :

Poids = 4kg, dépense énergétique : 1850 KJ/j, accroissement pondéral : 40 g/j.

L'équivalent énergétique moyen de 1g de tissu animal (par la bombe calorimétrique) = 8KJ/g.

$$\Rightarrow \text{Besoins énergétiques} = 1850 + (40 \times 8) = 2170 \text{ KJ/j}$$

- Mère allaitante de ce nourrisson :

1 litre de lait de femme correspond à 3000 KJ

Ce nourrisson devra absorber quotidiennement $2170 / 3000 = 0,712$ l de lait

La fourniture de ce lait correspond pour la mère à une sortie énergétique (chimique) qu'il faudra ajouter à l'estimation de ses propres besoins.

De plus, la synthèse du lait maternel nécessite la dépense d'une énergie supplémentaire.

Le rendement de cette synthèse $\approx 60\%$

→ L'allaitement de ce nourrisson correspondra pour la mère à une dépense énergétique supplémentaire de $2170 / 0,6 = 3620$ KJ, supplément qui devra être couvert par sa ration d'entretien

• Grossesse :

2 – 2 - Couverture des besoins énergétiques :

La couverture des besoins énergétiques sera assurée au mieux par une ration comprenant :

- 12 % protides (14% pour une ration de croissance)
- 30 à 35 % de lipides
- 50 à 60 % de glucides

L'apport lipidique doit assurer à l'organisme la fourniture de parts égales d'acides gras saturés, mono insaturés et poly-insaturés.

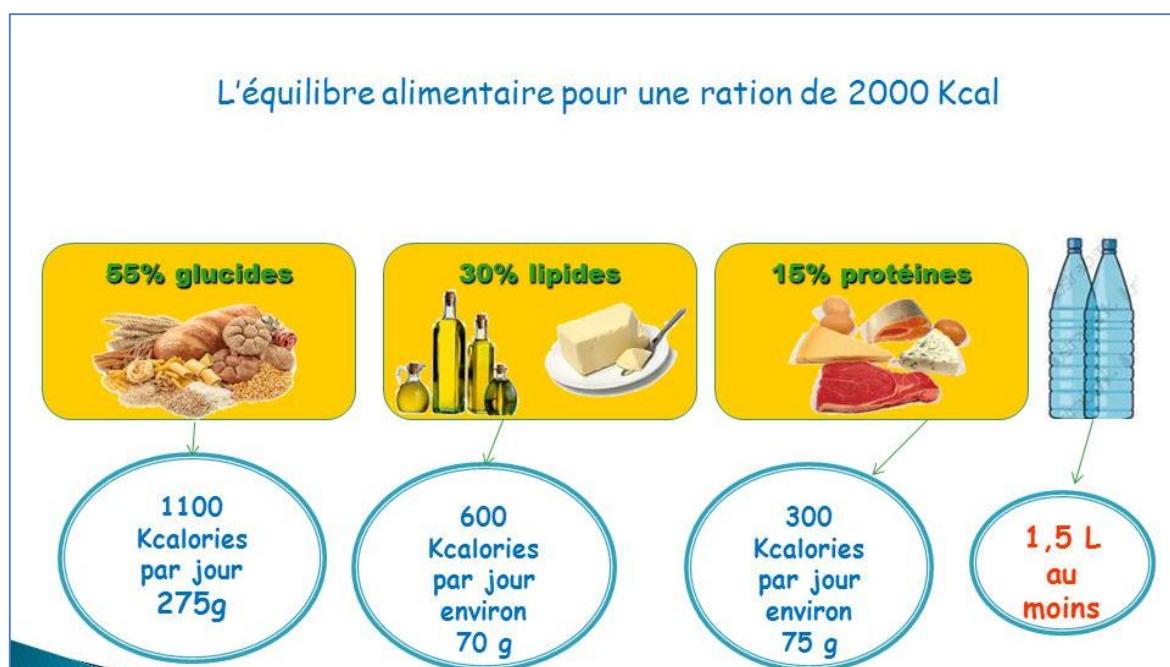
L'apport glucidique d'être assuré :

- à 75 % par des sucres lents : assimilation lente des sucres à molécules complexes telle que l'amidon

- à 25 % par des sucres rapide : assimilation rapide des sucres à molécule simple –telle que le glucose et le saccharose.

Données pondérales de la ration alimentaire :

- Pour une ration d'entretien 12000KJ/j
 - Apport de protides (17 KJ /g) : $(12000 \times 0,12) / 17 = 85\text{g protides}$
 - Apport de lipides (38 KJ/g) : $(12000 \times 0,30) / 38 = 95\text{g lipides}$
 - Apport de glucides (17 KJ/g) : $(12000 \times 0,58) / 17 = 410\text{g glucides.}$



Il n'est pas indispensable que la ration alimentaire respecte très strictement les pourcentages des lipides, protides et glucides, mais un apport quotidien minimal de chacun des 3 nutriments est nécessaire, à condition de combler la différence par l'un des autres. Ces valeurs minimales indispensables sont, pour la ration d'entretien 5 à 6 % de protides, 3 à 4 % de lipides, 30 à 35 % de glucides soit 40% de la ration. Les 60 % restants pourront être couverts par l'un des 3 nutriments. Dans cette limite de 60 % de la ration : $1/17\text{g Glucides} = 1/17\text{g Protides} = 1/38\text{ g Lipides sur le plan énergétique : C'est la loi de l'isodynamie.}$



Répartition de l'apport énergétique durant une journée

3 - BESOIN SPECIFIQUES

3 – 1 - Besoin en oxygène :

Il ne s'agit pas proprement dit d'un composant de la ration alimentaire. Mais l'individu doit être alimenté en O₂ de façon permanente pour satisfaire les besoins du métabolisme cellulaire.

L'homme ne stocke pas l'O₂ et quelques minutes de privation suffisent pour entraîner sa mort. La masse d'O₂ consommée/j par un individu est proportionnelle à la masse des aliments absorbés.

Pour une dépense énergétique de 12000KJ /24h, avec EO₂ = 20 KJ/l, Volume d'O₂ consommée = $12000/20 = 600\text{l}$ soit une masse de $(600 * 32) / 22.4 = 857\text{g}$

3– 2 -Besoins protidiques :

Les protides alimentaires sont la seule source d'azote. L'absorption d'une ration alimentaire contenant 85g de protides s'accompagne de l'élimination essentiellement urinaire de 14g d'azote. 1g de protides contient 0.16g d'azote. On peut déduire que l'adulte, à l'état stationnaire, élimine autant d'azote qu'il en absorbe. Cet équilibre azoté traduit le renouvellement permanent, destruction et synthèse, des tissus protidiques de l'organisme. Un homme dont la ration alimentaire est suffisante au point de vue énergétique et ne contient pas de protides, élimine 2 à 3g d'azote/j, ce qui correspond au catabolisme de 15 à 20g de protides tissulaires (6.25g de protides/g d'azote). L'apport de 20g de protides dans la ration quotidienne serait donc théoriquement suffisant pour couvrir ce besoin azoté. Il n'en est rien : un tel apport augmente l'élimination d'azote qui dépasse celle observée au cours du jeûne protidique, si bien que l'équilibre n'est pas atteint. En augmentant progressivement l'apport protidique dans la ration alimentaire, l'équilibre azoté est atteint aux environs de 6g d'azote excrété, soit environ 40g de protides ingérés. Cet équilibre est atteint plus rapidement avec les protides d'origine animale (30g) qu'avec les protides d'origine végétale (50g). Les protides d'origine végétale ont donc un *coefficient d'utilisation* appelé encore *valeur biologique*, plus faible que les protides d'origine animale.

Ces phénomènes s'expliquent par la spécificité des besoins protéiques de l'organisme qui, d'une part doit trouver dans la ration protidique les acides aminés indispensables qu'il ne peut synthétiser, d'autre part utiliser d'autant mieux ces acides aminés qu'il les trouve dans des proportions relatives bien déterminées.

Ces deux facteurs, qualitatif (acides aminés indispensables) et quantitatif (proportions respectives entre acides aminés), expliquent à la fois que l'exigence

minimale de l'organisme dépasse le seul remplacement de la masse d'azote éliminé, et que les protides alimentaires puissent satisfaire plus ou moins facilement ce besoin selon leur composition, et donc leur origine animale ou végétale.

L'apport minimal quotidien de 40g de protides d'origine mixte correspond à :

$$(40*17)/12000 = 0,057 \text{ c'est-à-dire } 5,7\% \text{ d'une ration de } 12000 \text{ KJ.}$$

Les acides aminés indispensables sont : tryptophane, phénylalanine, lysine, thréonine, valine, méthionine, leucine, isoleucine.

3– 3 -Besoins glucidiques :

Un apport glucidique minimal est nécessaire vis-à-vis du métabolisme des protides et des lipides.

Pour le métabolisme protidique, le jeûne complet chez l'animal s'accompagne d'une élimination azotée beaucoup plus élevée que le jeûne uniquement protidique (10 à 12 contre 2 à 3g). Cette excrétion azotée diminue au fur et à mesure que les glucides sont réintroduits dans la ration alimentaire. Chez l'homme, au cours du jeûne protidique, un apport de glucides couvrant au moins 30 % du besoin énergétique est nécessaire pour obtenir une excrétion azotée minimale. Au dessous de cette valeur, la relative carence d'apport glucidique est compensée par l'augmentation du catabolisme des acides aminés glucoformateurs d'où l'augmentation de l'excrétion azotée. Simultanément, quand l'apport glucidique est trop faible, le catabolisme lipidique augmente, ce qui conduit à un état d'acidocétose.

3– 4 - Besoins lipidiques

Un apport quotidien minimal de lipides est nécessaire à l'organisme pour 2 raisons :

- Ils fournissent à l'organisme des acides gras indispensables et qu'il ne peut pas synthétiser. Ce sont les acides gras poly insaturés : acide linoléique, acide linoléique, acide arachidonique. Ces acides gras entrent par exemple, dans la composition des phospholipides membranaires.

- Les lipides alimentaires sont les seuls vecteurs de vitamines liposolubles.

Un apport quotidien de 3 à 4 % de la ration énergétique est suffisant pour couvrir ces besoins en lipides.

4 – BESOINS EN MATERIAUX NON ENERGETIQUES :

4 – 1 - Besoins en eau :

Les pertes hydriques, qui sont liés aux nécessités de la thermorégulation, varient largement. Par conséquent, les besoins hydriques quotidiens sont variables chez un même sujet.

Bilan d'eau pour un homme au repos en climat tempéré			
<i>Sorties</i>	<i>ml /24h</i>	<i>Entrées</i>	<i>ml/2hH</i>
- urine	1350	- aliments solides	
- peau	500	eau métabolique	300
- poumon	500	eau d'hydratation	1000
- matières fécales	150	- boissons	1200
<u>Total</u>	2500	<u>Total</u>	2500

4– 2 - Besoins en éléments minéraux :

Notre ration alimentaire fournit :

- 1 à 4 g/j de Cl-, Na+, K+, Ca++, phosphore, souffre.
- 0,001 à 0,1g/j de Magnésium, iodé, fer, zinc et cuivre.
- Traces de nombreux autres éléments.

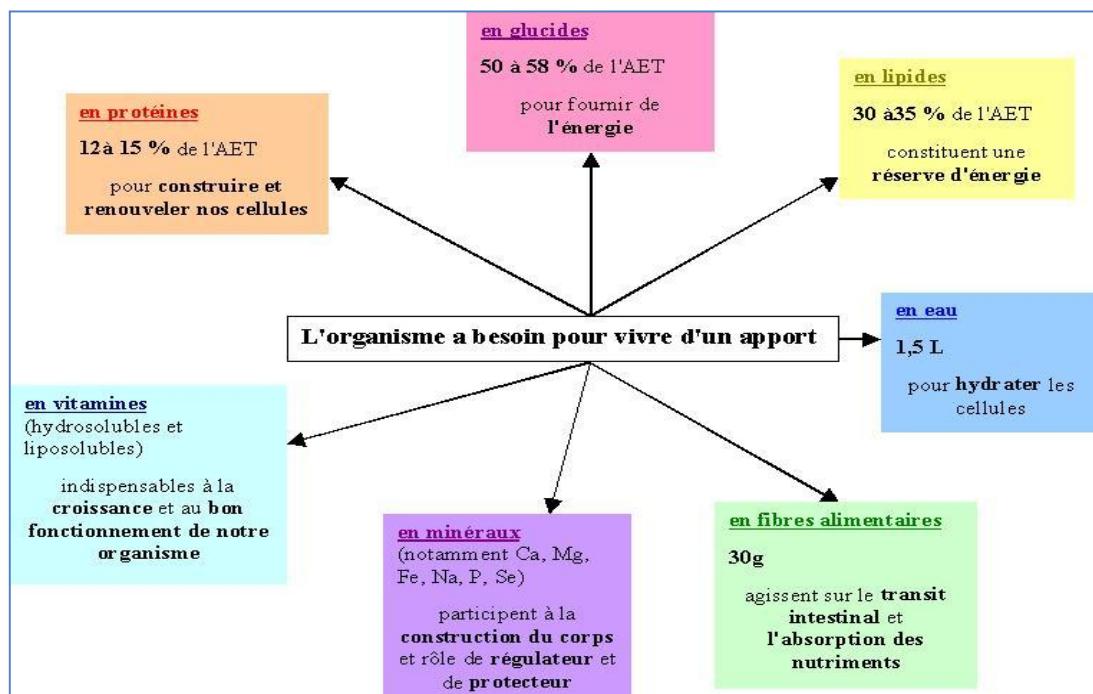
Ces éléments sont indispensables à la construction de l'organisme tel que Ca++ pour le squelette et à son fonctionnement tel que le fer pour la molécule d'hémoglobine. Une ration alimentaire variée couvre largement ces besoins

4– 3 - Besoins en vitamines :

Les vitamines ne peuvent pas être synthétisées par l'organisme. Elles doivent être apportées par la ration alimentaire. Ces molécules entrent dans la composition de certaines enzymes. Leur rôle est uniquement fonctionnel et les besoins quotidiens en sont très faibles (de l'ordre du mg). Elles sont classées en 2 catégories:

- Vitamines liposolubles : A, D, D2, E, K : apportées par les huiles et les graisses alimentaires animales ou végétales.
- Vitamines hydrosolubles : B1, B2, B6, B12, C, PP, acide pantothénique, acide folique, biotine. Elles sont présentes dans de nombreux tissus animaux et végétaux.

Les structures moléculaires complexes des vitamines étant souvent altérées par l'oxydation ou par la chaleur, la source vitaminique principale sera les aliments frais, consommés crus.



13 vitamines indispensables



Vit A

Vision et immunité

Beurre, œufs, produits laitiers, carottes, légumes à feuilles vertes

Vit B

B1

Énergie et influx nerveux

Mandes, volailles, poissons, légumes secs



Vit C

Antioxydant

Fruits & légumes (kiwis, agrumes, etc.)



B2

Énergie & pouvoir antioxydant

Œufs, poissons, laitages



Vit D

Fixation du calcium dans les os

Poissons gras, produits laitiers



B3

Énergie

Levure, viandes, œufs, poissons



Vit E

Antioxydant

Huiles d'olive et de colza, amandes, noisettes, épinards



B6

Énergie & synthèse des protéines

Germes de blé, lentilles, choux fleur, banane



Vit K

Coagulation et croissance cellulaire

Persil, épinards, laitue, viandes



B8

Énergie

Œuf, soja, haricots, maïs



B9

Cerveau & synthèse des protéines

Légumes verts, maïs, pois chiches



B12

Globules rouges & cellules nerveuses

Œufs, viandes

Questions d'autoévaluation

QCM :

Cocher la ou les réponses correctes :

1/ Dans l'alimentation, les protides

- A - sont nécessaires car ils fournissent les acides aminés nécessaires à la synthèse des protéines endogènes
- B - permettent d'apporter des acides animés essentiels
- C - doivent représenter 55 % à 70 % de la ration alimentaire
- D - apportent les vitamines A, D, E et K
- E - peuvent être remplacés en totalité par les lipides qui sont plus énergétiques

2/ Les vitamines suivantes sont apportées à l'organisme par les lipides :

- A – Vitamine A
- B – Vitamine B1
- C – Vitamine C
- D – Vitamine D
- E – Vitamine E

3/ Si un adulte sédentaire souhaite avoir une alimentation équilibrée, il doit ingérer quotidiennement environ :

- A – 200g de protides
- B – 400g de glucides
- C – 90g de lipides
- D – 20g de protides
- E – 150g de glucides, de lipides et de protides

QROC :

En 24 heures, un sujet a consommé 100g de protides, 100g de lipides et 450g de glucides.

a - cette ration est-elle conforme aux standards nutritionnels recommandés?
Justifiez votre réponse.

b - en supposant que ce sujet est en état stationnaire, calculer la quantité d'oxygène consommée dans le même temps.

Réponses :

1/A – B

2/A – D – E

3/B – C

Chapitre 5 :

HOMEOSTASIE BIOENERGETIQUE

Objectifs :

- Expliquer l'adaptation dans l'organisme entre les apports alimentaires intermittents et la dépense énergétique continue et variable dans la journée.
- Expliquer le rôle des hormones de régulation de la glycémie dans la gestion du stock d'énergie.
- Expliquer comment la masse corporelle de l'adulte reste constante pendant plusieurs années

PLAN :

1 – INTRODUCTION

2 – GESTION DES STOCKS D'ENERGIE CHIMIQUE :

2 – 1- Gestion à court terme : au cours du nycthémère

2 – 1 – 1 - phase d'absorption alimentaire

2 – 1 – 2 - Phase de jeûne

2 – 1 - 3 - contrôle hormonal

2 – 2 -Gestion à long terme

1 – INTRODUCTION :

Le terme *d'homéostasie* recouvre toutes les actions qui ont pour but de maintenir les équilibres propres de l'organisme assurant ainsi son indépendance vis-à-vis des contraintes environnementales. L'efficacité de ces actions se traduit par la quasi-constance de certaines grandeurs quelles que soient les situations où se trouve cet organisme dans son milieu telles que la pression artérielle et la température. La variation significative de ces grandeurs ne s'observe que dans les états pathologiques. La constance de chacune de ces grandeurs est assurée par une régulation qui lui est propre.

Les échanges d'énergie existant chez les êtres vivants sont soumis à des règles homéostatiques comme toutes les grandes fonctions de l'organisme.

Exemples :

- Stabilité de la température centrale : bioénergétique thermique
- Stabilité du poids : bioénergétique chimique
- Adaptation du geste volontaire au projet du mouvement : bioénergétique mécanique

2 – GESTION DES STOCKS D'ENERGIE CHIMIQUE :

2 – 1- Gestion à court terme : au cours du nycthémère (de la journée)

Elle permet d'adapter les entrées énergétiques alimentaire, toujours intermittentes, parfois aléatoires, aux sorties énergétiques, variables d'un moment à l'autre, mais permanentes. Elle se confond de façon étroite avec celle de la glycémie.

2 – 1 – 1 - phase d'absorption alimentaire :

En période d'absorption alimentaire, ou immédiatement post-prandiale, durant laquelle les nutriments pénètrent dans le sang à partir du TD, l'organisme couvre ses dépenses énergétiques immédiates grâce aux glucides alimentaires utilisées

en priorité. Le quotient respiratoire QR, voisin de 1 à ce moment, témoigne de ce métabolisme glucidique préférentiel. Les excédents glucidiques sont soit stockés sous forme de glycogène intracellulaire, surtout hépatique ou musculaire, soit transformés en triglycérides de réserve. Cette transformation de glucose en graisse s'effectue soit au niveau du foie, soit au niveau des cellules adipeuses qui en assureront le stockage.

Les acides aminés issus de l'hydrolyse des protides alimentaires sont utilisés en particulier par le muscle, pour le renouvellement permanent des structures cellulaires. L'excédent d'acides aminés participe lui aussi, après transformation hépatique, à la synthèse des triglycérides de réserve.

Les triglycérides issus des graisses alimentaires sont stockés tels quels dans les adipocytes.

2 – 1 – 2 - Phase de jeûne

En période de jeûne, dans l'intervalle des repas, l'essentiel (60 %, QR = 0,8) des besoins d'énergie est couvert par le métabolisme des acides gras en provenance des triglycérides stockés dans le tissu adipeux. Certains tissus comme le tissu nerveux, exigent un substrat énergétique glucidique. Le glucose nécessaire, qui couvre 40 % des besoins énergétiques du sujet à jeun , sera d'abord prélevé sur les stocks glucidiques (15 %), mais, comme ceux-ci sont faibles (200 à 300g), l'organisme devra synthétiser du glucose, soit à partir des restes de glycéról provenant de la dégradation des triglycérides (10%) , soit à partir des acides aminés glucoformateurs (15 %).

Quand le jeûne est prolongé, cette néoglucogenèse protéique prend progressivement une place de plus en plus importante et se traduit extérieurement par une fente musculaire et une augmentation de l'excrétion

azotée. Le foie joue ici un rôle important dans le stockage du glycogène, et dans le néoglucogenèse d'origine lipidique ou protidique.

2 – 1 - 3 - contrôle hormonal :

- L'insuline :

L'insuline favorise la pénétration du glucose et des acides aminés dans les cellules. De ce fait, elle favorise les réactions intra cellulaire faisant intervenir le glucose et les acides aminés (oxydation, synthèse du glycogène et des graisses). Elle favorise aussi la biosynthèse des grosses molécules glucidiques, lipidiques et protéiques.

Globalement, l'insuline favorise l'utilisation du glucose et des petites molécules à des fins d'oxydation immédiate ou de stockage. Elle inhibe leur synthèse à partir des grosses molécules. Elle est de ce fait *hypoglycémiant*.

L'insuline est donc l'hormone de la *période post-prandiale*, l'hormone de stockage énergétique par excellence.

- Hormones hyperglycémiantes :

Face à l'insuline et son action hypoglycémiant, l'organisme dispose de plusieurs hormones hyperglycémiantes. Leur sécrétion est déclenchée par la diminution de la glycémie.

Ce sont les hormones du jeûne dont les principales sont le glucagon, l'adrénaline et l'hormone de croissance GH, ainsi que le cortisol.

- glucagon : stimule la glycogénolyse cellulaire
stimule la néoglucogenèse hépatique
- adrénaline : stimule la glycogénolyse cellulaire
stimule la dégradation des triglycérides stockés dans les tissus adipeux.

- GH :
 - stimule la néoglucogenèse hépatique
 - Stimule la dégradation des TG stockés dans les tissus adipeux
 - Inhibe l'utilisation du glucose par les cellules.

2 – 2 -Gestion à long terme :

A l'exception des périodes de gestation où il y a un stockage temporaire de matière et d'énergie, la masse corporelle de l'adulte reste constante pendant plusieurs années, ce qui suppose l'existence d'un système régulateur maintenant l'individu dans un état énergétique stationnaire, avec $E_E = S_E$ et $B_E = 0$

Les mécanismes de régulation sont divers, complexes et relativement mal connus. Des structures nerveuses contrôlant la prise alimentaire ont été identifiées dans l'hypothalamus :

Centre de la faim dans l'hypothalamus latéral

Centre de la satiété dans l'hypothalamus ventro médian.

Le centre de la faim, dont la stimulation, chez l'animal, déclenche le comportement moteur de recherche et d'absorption alimentaire, aurait une activité spontanée et permanente. Ce fonctionnement permanent serait inhibé par l'activité intermittente du centre de la satiété.

Quels sont les signaux susceptibles de stimuler le centre de la satiété et d'interrompre ainsi la prise alimentaire ?

Plusieurs théories :

- théorie glucostatique : fait intervenir des récepteurs sensibles non seulement à la glycémie, mais aussi à l'insulinémie, et donc à la possibilité d'utilisation cellulaire du glucose.

Après un repas, l'augmentation de la glycémie et de l'insulinémie stimulerait les récepteurs qui, à leur tour, activeraient le centre de la satiété, inhibant le centre de la faim et suspendant ainsi la prise alimentaire.

- théorie lipostatique : cette théorie a été confirmée par la mise en évidence d'une hormone, la leptine, libérée quand la lipogenèse est déclenchée. La leptine qui possède des récepteurs au niveau des centres de la satiété inhibe la sensation de faim.

- Théorie thermostatique : suggère que l'augmentation de la température centrale provoquée par la thermogenèse post prandiale stimulerait également le centre de la satiété.

- D'autres facteurs interviennent tel que

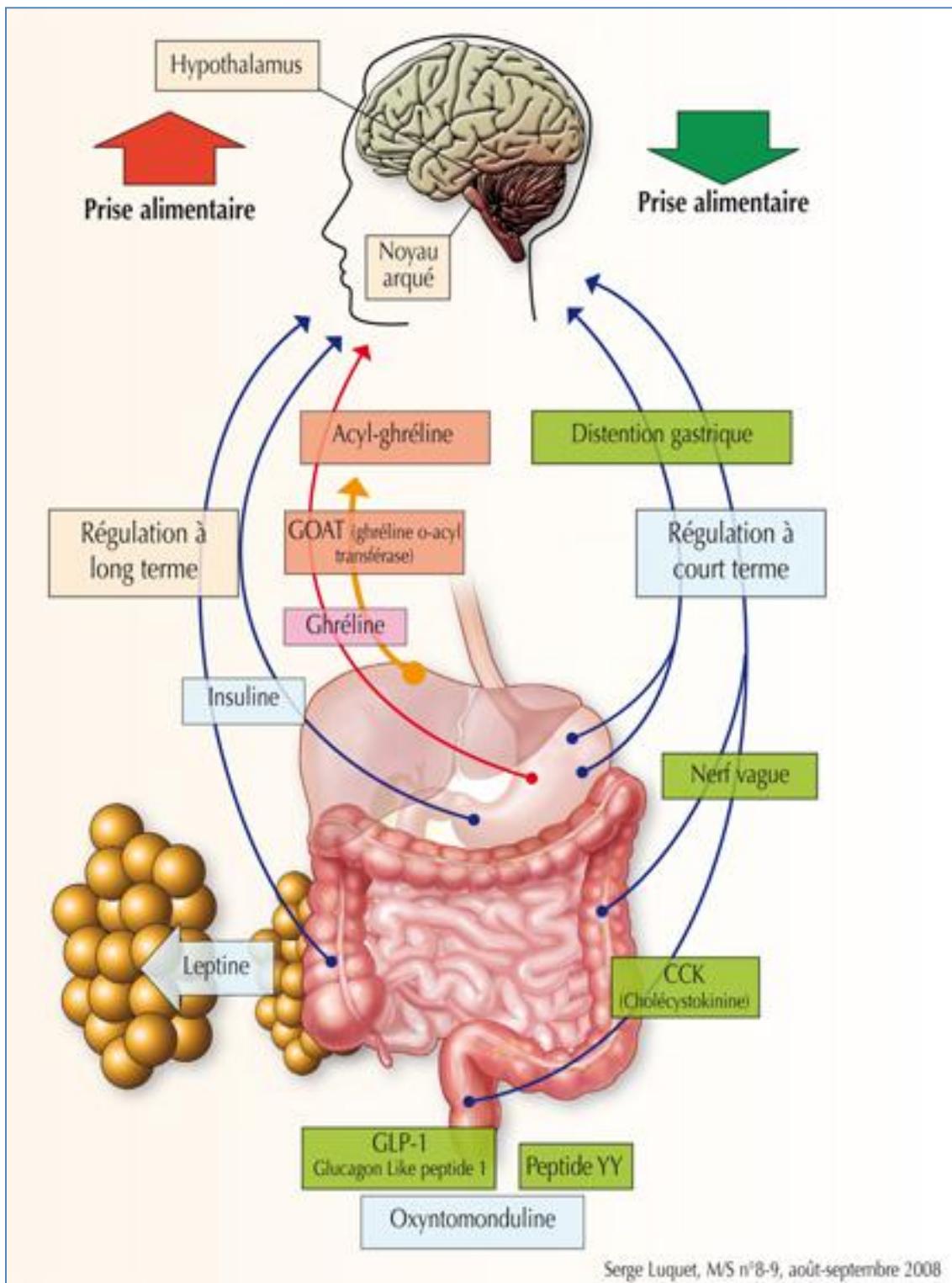
- les facteurs mécaniques : exemple : distension gastro-intestinale
- les facteurs psychologiques, modifiant le désir alimentaire.

D'autres signaux de renforcement positif ou négatif peuvent intervenir Exemple : goût, odeur, présentation des aliments, environnement social et économique,.....

Tout ceci tend à prouver qu'il existe bien une adaptation des entrées sur les sorties, mais il existe aussi un réglage des sorties sur les entrées. Exemple : En cas d'absorption alimentaire excessive par rapport aux besoins, l'organisme augmente son métabolisme et dissipe, sous forme de chaleur, une partie au moins de l'excédent énergétique. Un déficit alimentaire peut aboutir, après une diminution initiale de la masse corporelle biologiquement active, à un niveau métabolique plus faible, avec réapparition d'un bilan énergétique stable. Les sorties d'énergie peuvent donc dépendre des entrées.

Quels sont les mécanismes ?

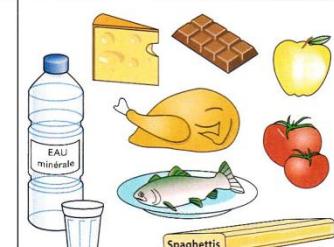
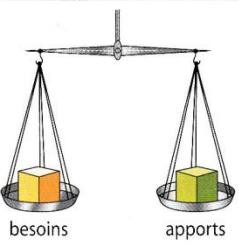
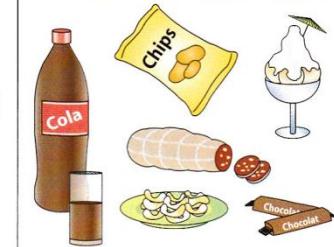
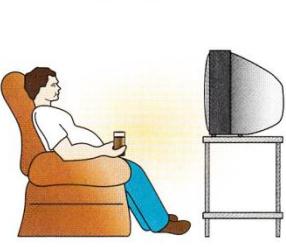
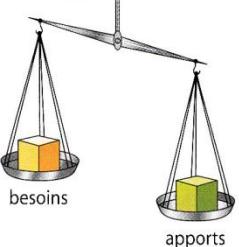
- si alimentation insuffisante : il y a une relation entre la dépense énergétique et la masse biologiquement active
- si excès d'apport alimentaire : mécanisme mal connu.



Serge Luquet, M/S n°8-9, août-septembre 2008

Le dérèglement de ces mécanismes conduit aux états pathologiques de maigreur et d'obésité.

L'obésité est due à une dysrégulation de la prise alimentaire associée ou non à un hypométabolisme.

	Types d'aliments très souvent consommés	Activités physiques	Bilan besoins/apports
Thomas 14 ans taille : 1,65 m poids : 60 kg			
Romain 14 ans taille : 1,65 m poids : 85 kg			

Indice de masse corporelle : poids/taille² : kg/m² : IMC

<18,5 : poids insuffisant

18,5 – 25 poids normal

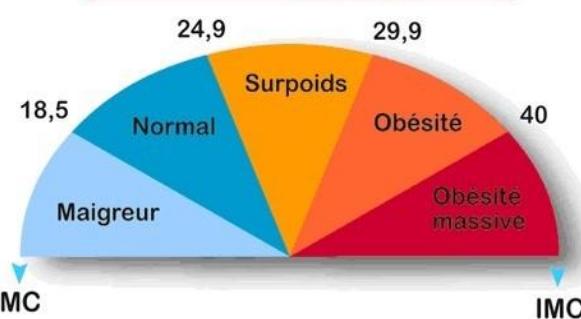
25 – 30 surpoids

30 – 40 : obésité

> 40 : obésité morbide.

IMC = Indice de Masse Corporelle

$$\text{IMC} = \frac{\text{poids en kilos}}{(\text{Taille} \times \text{Taille})} \text{ en mètres}$$



Questions d'autoévaluation

1/ Décrire brièvement la gestion des stocks d'énergie chimique à long terme

2/ Un sujet a un poids de 75 kg, une taille de 1.60 m et un tour de taille de 0.95m.

A – Calculer son indice de masse corporelle IMC

B – Interpréter ce résultat

Réponse :

2/ A - IMC = poids /taille² = 29.38kg/m²

B - Surcharge pondérale