

VOIE GÉNÉRALE

2^{DE}

1^{RE}

T^{LE}

Enseignement scientifique

ENSEIGNEMENT

COMMUN

LES MÉTHODES DE MESURE DE L'APPORT ET DE LA DÉPENSE ÉNERGÉTIQUE

Description

Cette ressource permet de montrer aux élèves comment les scientifiques obtiennent les données quantitatives permettant de réaliser des bilans d'énergie chez l'Homme.

Mots-clés

Calorimétrie, valeur énergétique des aliments, bilan thermique d'un organisme

Références au programme

2.4. Le bilan thermique du corps humain

La température du corps reste stable parce que l'énergie qu'il libère est compensée par l'énergie dégagée par la respiration cellulaire ou les fermentations.

Utiliser des données quantitatives sur l'apport énergétique d'aliments dans un bilan d'énergie correspondant à des activités variées.

Catégorie de ressource

Résumé de connaissances.

Document

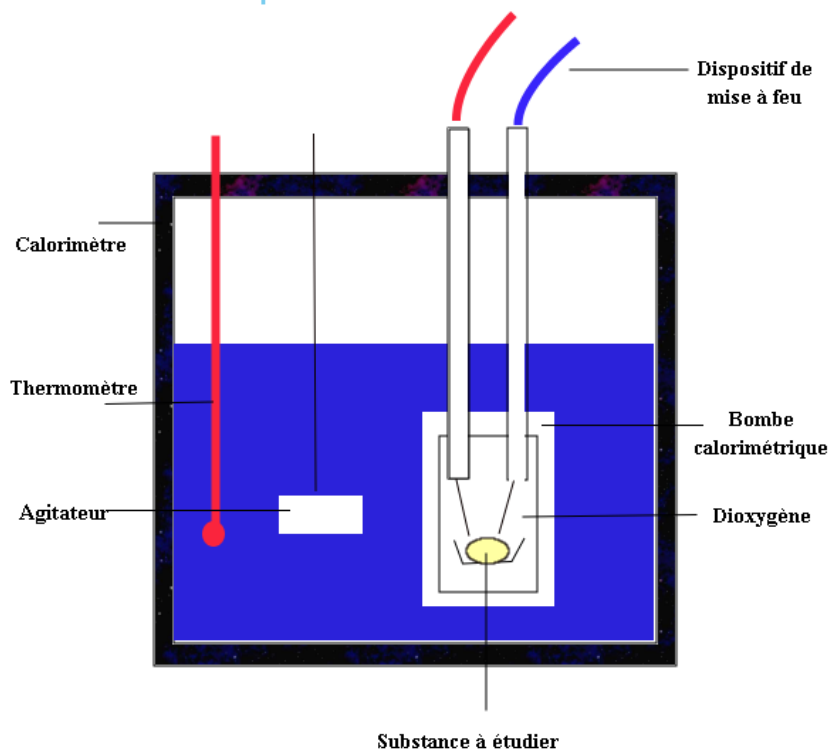
Mesurer la valeur énergétique des aliments

Le pouvoir calorifique, c'est-à-dire l'énergie libérée par l'oxydation complète d'une substance ou d'un aliment, peut être déterminé par une **bombe calorimétrique**, appareillage mis au point en 1879 par le chimiste français Marcellin Berthelot (1827-1907). La chaleur libérée par la combustion des aliments est transmise à l'eau. Un thermomètre permet de mesurer directement l'élévation de température.

La calorie (cal) correspond à la chaleur nécessaire pour élever la température de 1 g d'eau de 14,5°C à 15,5°C.

La calorie est utilisée comme unité énergétique pratique bien qu'elle soit abandonnée aujourd'hui dans le Système International, qui reconnaît le Joule (J) comme unité d'énergie :
 $1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$

Schéma d'une bombe calorimétrique



D'après le site <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4857658>

Grâce à cette technique, on peut mesurer la valeur énergétique des grandes catégories d'aliments :

- lipides : 38 kJ/g (soit environ 9 kcal/g) ;
- glucides : 17 kJ/g (soit environ 4 kcal/g) ;
- protéines : 17 kJ/g (soit environ 4 kcal/g).

Mesurer la dépense énergétique (DE)

Mesurer avec précision la DE d'un individu est essentiel pour déterminer ses besoins et les équilibrer avec ses apports énergétiques.

Les méthodes de calorimétrie directe (figures 1 et 2)

Ces méthodes mesurent la quantité d'énergie libérée par l'individu. Ce sont des méthodes de référence réservées au domaine de la recherche du fait de l'utilisation d'un dispositif encombrant, onéreux, difficile à mettre en œuvre, obligeant à reconstituer sur place les postes d'exercices ou de travail.

Les méthodes de calorimétrie indirecte (figure 3)

Ces méthodes mesurent la consommation en dioxygène et la production en CO_2 de l'individu, soit dans une chambre calorimétrique (figure 3), soit via une « cagoule ventilée » qui permet une prise de mesures facilitée mais limitée dans le temps.

La méthode par eau doublement marquée

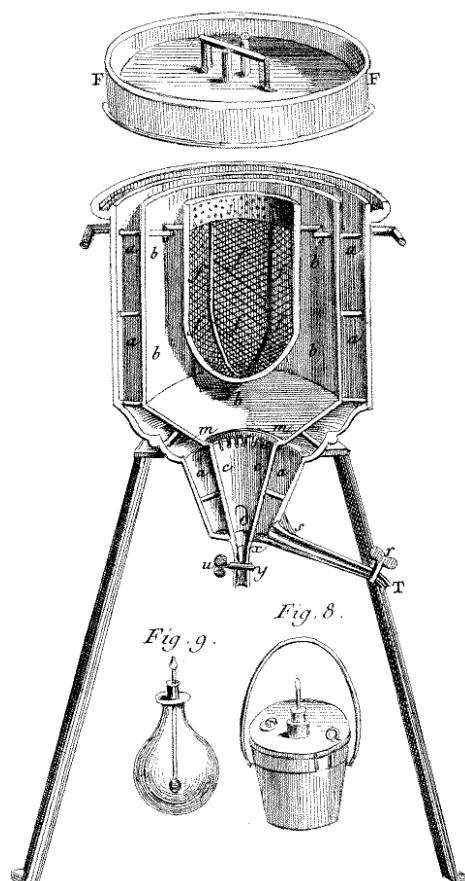
C'est la méthode de référence pour mesurer la DE en situation de vie quotidienne. Elle consiste à déterminer la production de CO_2 en mesurant la cinétique d'élimination dans les urines de deux isotopes stables (^{18}O et ^2H) ingérés sous forme d'eau. Cette méthode est simple et non agressive mais très couteuse. Son usage est donc limité à des activités de recherche.

Figure 1 : Le calorimètre de Lavoisier

Le calorimètre de Antoine-Laurent Lavoisier (1743 - 1794) est composé de trois récipients emboîtés. L'animal (un cobaye) est introduit dans le récipient intérieur. Les deux autres compartiments sont remplis de glace.

La glace du compartiment externe isole la glace du compartiment moyen des modifications externes de température.

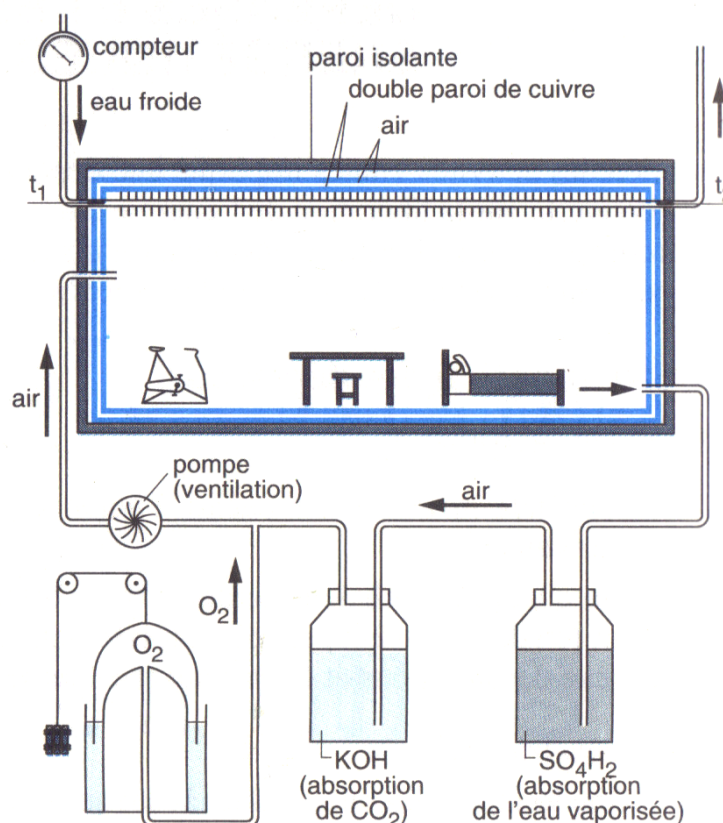
La glace du compartiment moyen fond sous l'effet de la chaleur dégagée par l'animal ; l'eau résultant de cette fusion est recueillie au moyen d'un robinet, tombe dans un cylindre gradué et est mesurée en fin d'expérience. L'énergie libérée sera alors de 0,33 kJ par gramme d'eau recueillie (valeur de la chaleur de fusion de la glace).



L'image ci-contre est extraite du *Traité élémentaire de chimie* Antoine-Laurent Lavoisier, 1789. Gallica, bibliothèque numérique de la BNF
<https://gallica.bnf.fr/accueil/fr/content/accueil-fr?mode=desktop>

Figure 2 : Chambre calorimétrique de F. Benedict (1870 – 1857) et W. Atwater (1844 – 1907).
 Cette chambre calorimétrique permet de déterminer la dépense énergétique du sujet en mesurant la quantité de chaleur perdue sous forme de rayonnement (chaleur sensible) et pour la vaporisation de l'eau au niveau pulmonaire et cutané (chaleur latente). Les mesures s'effectuent sur des durées longues : de plusieurs heures à plusieurs jours. Le sujet peut être maintenu au repos ou soumis à des exercices variés : course sur un tapis roulant, ergocycle...

Schéma de la chambre calorimétrique de Benedict et Atwater



Source : Bioénergétique, E. Boitard et coll., Hachette, 1991

Figure 3 : Chambre calorimétrique à « calorimétrie indirecte »

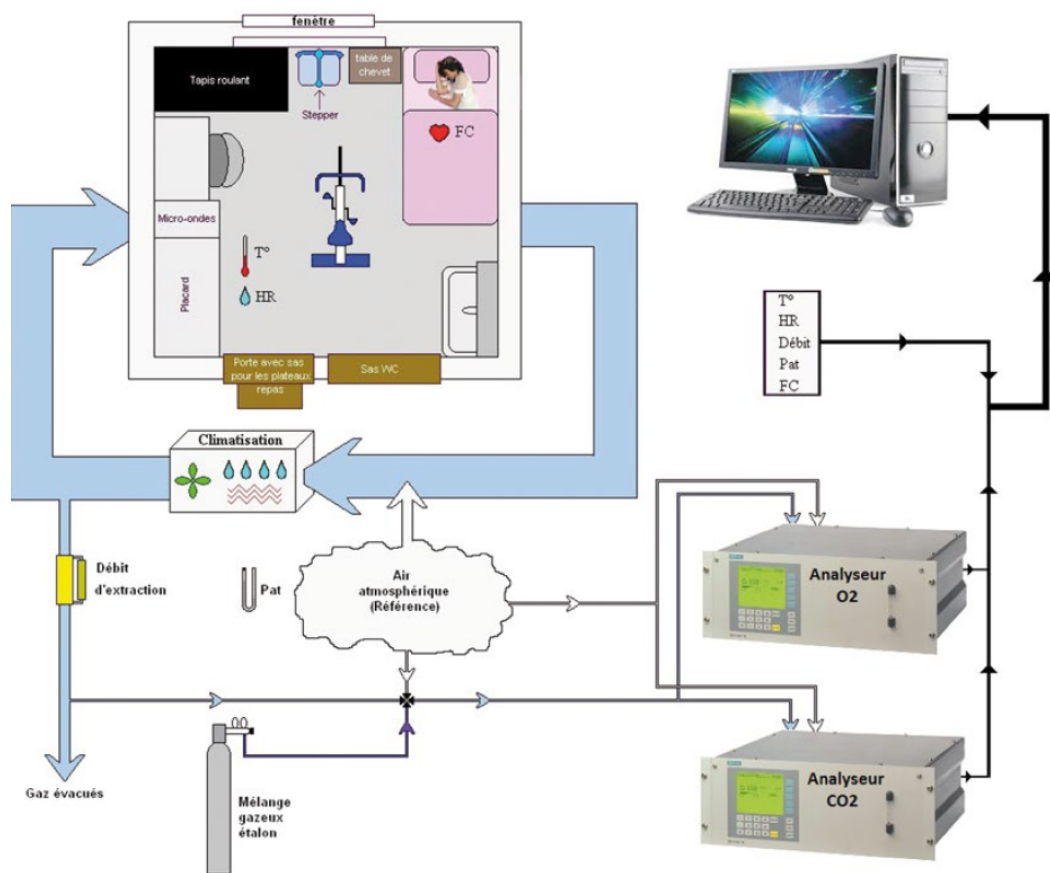
Ces installations permettent de calculer les dépenses énergétiques de volontaires à partir de la mesure de leurs échanges respiratoires. Ce principe repose sur la relation qui unit le volume d'oxygène consommé (VO_2 en litres) et le volume de dioxyde de carbone produit (VCO_2 en litres) à l'énergie dépensée (DE en kcal), selon l'équation de Brouwer (1965) corrigée :

$$(3,866 \times VO_2 + 1,2 \times VCO_2) \times 0,99 = DE$$

Cette méthode, bien que très précise, et dont les résultats constituent des références en termes de recherche en physiologie ou en nutrition présente des limites : coût très élevé, confinement des sujets pendant des durées longues (jusqu'à plusieurs jours).

Dans le domaine de la nutrition humaine, un seul site en France possède des chambres calorimétriques, le centre de recherche en nutrition humaine d'Auvergne à Clermont-Ferrand ; seuls 12 sites existent en Europe.

Schéma d'une chambre calorimétrique du site clermontois



Pour en savoir plus sur les chambres calorimétriques, un document de l'INRA de Clermont-Ferrand est disponible à l'adresse suivante : https://www6.inra.fr/cahier_des_techniques/content/download/4850/49072/version/1/file/CTh2016_Montaurier.pdf

Pistes d'exploitation pédagogique

- Expliquer pourquoi les grandes catégories d'aliments n'ont pas la même valeur énergétique.
- Préciser les paramètres mesurés dans les différentes méthodes utilisées pour évaluer la dépense énergétique. Justifier la pertinence du choix de ces paramètres.

Commentaires et points d'attention

Il existe des méthodes moins précises d'estimation de la DE, utilisant des dispositifs simples, et peu encombrants, plus adaptés à une utilisation quotidienne. Ces méthodes sont généralement validées par les méthodes de référence présentées dans ce document. Elles convertissent en DE des données diverses : mesures anthropométriques simples, fréquence cardiaque, intensité de mouvement, type et durée d'une activité.