

BIO-ÉNERGÉTIQUE

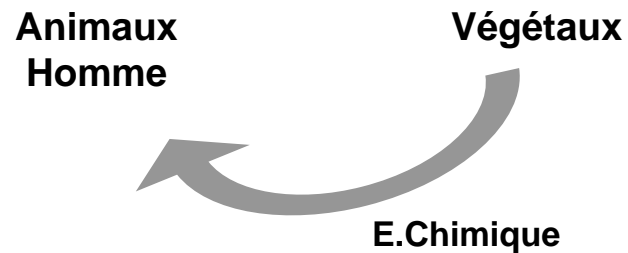
- 1-Généralités
- 2-Principes de la thermodynamique
- 3-La calorimétrie
- 4-Le métabolisme

1.Généralités

BioE : origine et devenir de l'Énergie dans la matière vivante

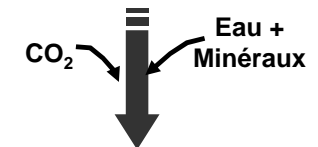
Vie : Transformation d'Énergie
 ↗ Échanges de matières avec environnement

Hétérotrophie - Autotrophie



Autotrophes

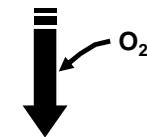
Énergie Solaire



Molécules Organiques

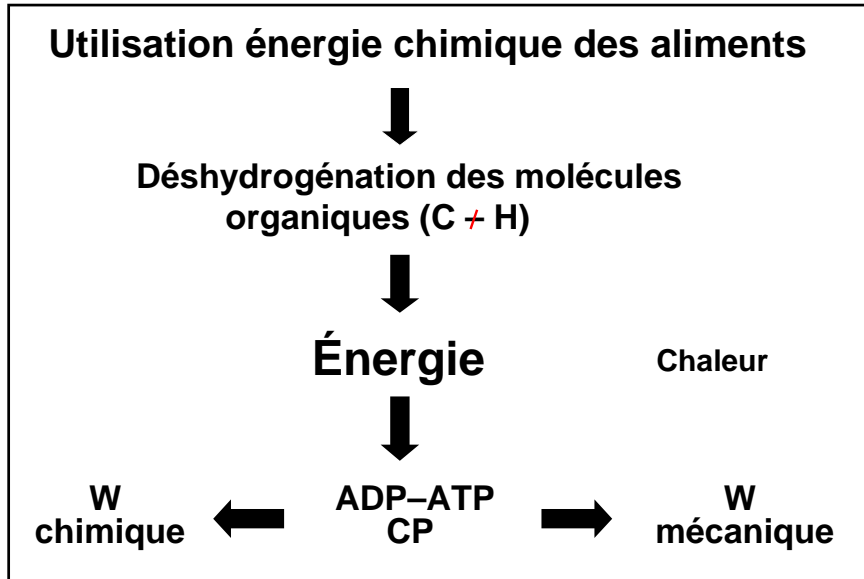
(C - H₂ - O₂)
 Glucides - Lipides - Protides

Hétérotrophes



Énergie Chimique



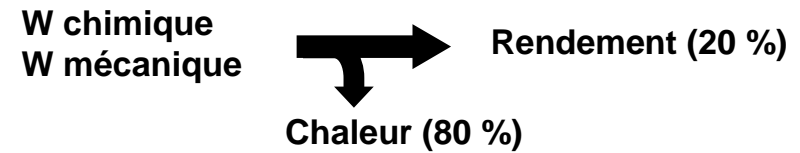


2. Principes de la thermodynamique

2.1. Constance et conservation de l'énergie

« Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme »

Lavoisier



Transformation d'énergie système clos isolé

↳ ↗ chaleur Entropie

↳ Travail + chaleur = Constante

2.2. Équivalence des formes d'énergie

Système clos, isolé ➔ Qté totale Énergie Cte

↳ Formes d'énergie variables :

- ✓ Thermiques
- ✓ Mécaniques
- ✓ Électriques
- ✓ Chimiques
- ✓ Lumineuses

↳ Équivalence entre les # formes d'énergies

mêmes unités

✓ 1 kcal : qté d'énergie – 1 kg d'eau

15° ⇒ 16°

✓ 1 kcal = 4,185 kJ = 426 kgm

✓ 1 kJ = 0,239 kcal = 102 kgm

✓ 1 kgm = 9,81 J



3. La calorimétrie

Évaluation globale du fonctionnement de l'organisme

↪ Mesure de l'énergie utilisée

- ✓ Qté d'énergie apportée (aliments)
- ✓ Qté d'O₂ consommée (utilisation E.chimique des aliments)
- ✓ Déchets chimiques ou thermiques

3.1. La calorimétrie directe

Évaluation globale de l'énergie utilisée par l'organisme par la mesure de la quantité de chaleur produite.

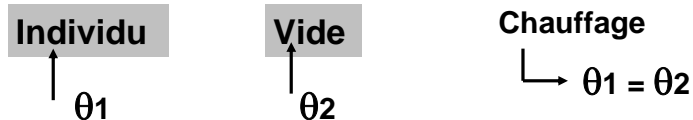
Temp. corporelle → variations faibles (Homéotherme)

Chaleur produite
 Conduction ↓ Évaporation
 Convection ↓ Radiation
 environnement

Historiquement

Méthodes pour mesurer la quantité de chaleur

- ✓ Qté de glace fondue / Animal Lavoisier et Laplace
- ✓ Échauffement de l'eau / immersion Lefèvre
- ✓ Calorimètre d'Atwater et Benedict
 Enceinte calorifugée
 Mesure de E ⇒ Température constante
- ✓ Méthode différentielle de Noyons



Actuellement

2 méthodes – Labo. de recherche

➤ Calorimétrie globale

- ✓ Sujet dans enceinte close adiabatique: maintien de la température constante/échangeur thermique
 ⇒ Qté E soustraite = Qté E fournie/sujet
- ✓ Mesure des : apports (alimentation ; O₂)
retraits (déchets gazeux, liquides, solides, T°)
- ✓ Technique difficile, complexe
- ✓ Établissement des bases de la thermochimie et de la bioénergétique (***conservation et constance de l'énergie totale)



➤ Calorimétrie fractionnelle

✓ Mesure de toutes les formes de déperdition thermiques :

- ↳ Conduction
- ↳ Évaporation
- ↳ Radiation
- ↳ Convection

✓ Équipement sophistiqué +++

✓ Mesures prolongées

3.2. La calorimétrie indirecte : Thermochimie alimentaire

Calorimétrie directe ➡ Complexe
➡ Recherche

Calorimétrie indirecte ➡ Simple
➡ Adaptée aux besoins cliniques

Principe général :

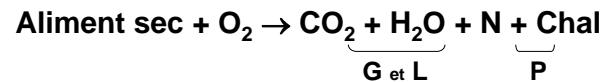
Utilisation énergie chimique des aliments

↳ Consommation d'O₂
Produits terminaux : CO₂, urée

3.2.1. Valeur calorique et utilisation des aliments

✓ Bombe calorimétrique de Berthelot

Combustion aliments – O₂ pression ++



Valeur calorique théorique :

Quantité de chaleur que la combustion totale des aliments dégage dans la bombe

G	→	4,1 kcal/g	→	17,2 kJ/g
L	→	9,3 kcal/g	→	38,9 kJ/g
P	→	5,7 kcal/g	→	23,9 kJ/g

✓ Organisme

Glucides }
Lipides } Idem bombe

Protides → Dégradation incomplète
Azote sous forme d'urée
soit un déchet de 3,6 kJ/g
0,86 kcal/g

Valeur calorique réelle

G	→	4,1 kcal/g	→	17,2 kJ/g
L	→	9,3 kcal/g	→	38,9 kJ/g
P	→	4,84 kcal/g	→	20,3 kJ/g



3.2.2. Méthode des ingestas

Évaluation de la quantité d'énergie utilisée en calculant la quantité d'énergie apportée (ration alimentaire ou calorique) en connaissant la nature et la quantité des aliments ingérés.

Coefficient d'utilisation digestive < 1

Exemple : Protéine → 0,82
 $(24 - 3,6) \times 0,82 \rightarrow 16,7 \text{ kJ/g}$ soit 4 kcal/g

Valeur calorique pratique :

G	→	4 kcal/g	→	16,7 kJ/g
L	→	9 kcal/g	→	37,7 kJ/g
P	→	4 kcal/g	→	16,7 kJ/g

MAIS

Qté énergie apportée = Qté énergie utilisée

➡ Si organisme ne fait pas ou n'utilise pas les réserves

➡ Mouvements des réserves difficiles à évaluer :

✓ Variations G et P faibles

✓ Variations L +++

Mesure de la proportion de tissu adipeux

- plis cutanés +++
- impédance électrique
- densitométrie
- RMN
- isotopes

➡ Quand mouvements des réserves évalués :

1) Calcul de la valeur énergétique des variations des réserves.

(masse gagnée/perdue) x Val. Cal.réelle.

2) Qté d'énergie utilisée réellement =
 Ration calorique ± valeurs énergétiques réserves

Donc :

Méthode des ingestas

➡ Simple, si pas de variation des réserves

➡ Complexe, si variations des réserves doivent être évaluées

➡ Utilisation en épidémiologie



3.2.3. Méthode des Egestas

Mesure des sorties :

- ✓ CO₂ expiré
- ✓ Eau (air expiré, évaporation)
- ✓ Constituants de l'urine
des matières fécales
de la sueur

AZOTE URINAIRE: Calcul qté protéines dégradées

↑ Résultat de la dégradation des protéines
↓ Sous forme d'UREE

$$1 \text{ g Protéine} \rightarrow 0,343 \text{ g d'urée}$$

$$1 \text{ g d'urée} \rightarrow 1/0,343 = 2,915 \text{ g Prot}$$

Donc :

Mesure de la quantité d'urée excrétée permet de connaître :

- 1) La quantité de protéines dégradées
Quantité d'urée x 2,915 g
- 2) La part des protéines dans la dépense énergétique totale
Quantité d'urée x 2,915 g x 20,3 kJ/g

(sans coef. d'utilisation dig)
Val Cal Réelle 4,84 kcal/g

CARBONE : Calcul qté lipides dégradés

↑ Élimination urinaire (urée, créatinine)
Respiration (CO₂)
Élimination fécale

Calcul du carbone protéique :

$$1 \text{ g Protéine} \rightarrow 0,536 \text{ g Carbone protéique}$$

$$\rightarrow 0,343 \text{ g Urée}$$

$$\Rightarrow 1 \text{ g Urée} \rightarrow 0,536 / 0,343$$

$$= 1,56 \text{ g Carbone protéique}$$

Calcul du carbone lipidique :

- ✓ Jeûne de 24 heures
Carbone glucidique = 0 (car réserves faibles)
- ✓ Quantité totale de carbone éliminé =
Carbone protéique et lipidique
- ✓ Carbone lipidique =
Qté totale carbone éliminé – carbone protéique



Calcul de la quantité de lipides dégradés :
1g lipides → 0,765 g carbone



Donc :

Méthode des Egestas

- ➡ Analyse sélective de la part des différents aliments dans la dépense énergétique
- ➡ Complexité +++
Difficile à appliquer
- ➡ Nécessité d'un jeûne

3.3. La calorimétrie indirecte : Thermochimie respiratoire

- ➡ Quantité d'O₂ consommée par l'organisme est proportionnelle à la quantité d'aliments dégradés et donc à l'énergie utilisée.
- ➡ Quantité d'O₂ diffère selon type d'aliment
- ➡ Quantité d'énergie produite aussi

↻

Équivalent calorique :
Quantité d'énergie produite rapportée à la masse d'aliments dégradée

L'équivalent calorique

✓ Valeurs de l'équivalent calorique:

G	→	21,1 kJ/dm ³	→	5,05 kcal/dm ³
L	→	19,6 kJ/dm ³	→	4,70 kcal/dm ³
P	→	19,6 kJ/dm ³	→	4,70 kcal/dm ³
Valeur moyenne	→	20,1 kJ/dm³	→	4,80 kcal/dm³

✓ Mesure de la consommation d'oxygène sur spiromètre ou circuit ouvert:

✓ Calcul de la dépense énergétique totale :

VO ₂ x Eq. Calorique. Moyen	↗	4,80
	↘	20,1

Le quotient respiratoire

Quantité de CO₂ produit varie avec le type d'aliment

➡ Variation du quotient respiratoire

· V̇CO ₂	Production de CO ₂
V̇O ₂	Consommation d'O ₂

G	→	1
L	→	0,7
P	→	0,8
Valeur moyenne	→	0,83

Remarque : CO₂ facile à mesurer dans l'air expiré → circuit ouvert



Calcul de la thermogénèse P, L, G.

⇒ Calcul quantité P. dégradée

$$\text{Quantité d'urée} \times 2,915 \text{ g}$$

⇒ Calcul E. produite / P

$$\text{Quantité P dégradée} \times 4,84 \text{ kcal (20,3 kJ)}$$

⇒ Calcul $\dot{V}O_2$ P

E. Produite P

E. Cal. P.

(19,6 kJ – 4,7 kCal)

$$E. = \dot{V}O_2 \times \text{Eq Cal}$$

⇒ Calcul $\dot{V}O_2$ G-L

$$\dot{V}O_2 \text{ totale} - \dot{V}O_2 \text{ P} = \dot{V}O_2 \text{ G-L}$$

⇒ Calcul $\dot{V}CO_2$ P

$$\dot{V}O_2 \text{ P} \times R_{(0,8)} = \dot{V}CO_2 \text{ P} \quad R = (\dot{V}CO_2 / \dot{V}O_2)$$

⇒ Calcul $\dot{V}CO_2$ G-L

$$\dot{V}CO_2 \text{ totale} - \dot{V}CO_2 \text{ P} = \dot{V}CO_2 \text{ G-L}$$

⇒ Calcul R G-L

$\dot{V}CO_2$ G-L

tables

% G

$\dot{V}O_2$ G-L

% L

⇒ Calcul $\dot{V}O_2$ L

$$(\dot{V}O_2 \text{ totale} - \dot{V}O_2 \text{ P}) \times \% \text{ L}$$

⇒ Calcul $\dot{V}O_2$ G

$$(\dot{V}O_2 \text{ totale} - \dot{V}O_2 \text{ P}) \times \% \text{ G}$$

⇒ Calcul E. produite / L

Eq. Cal. L = 4,7 Kcal

$$\dot{V}O_2 \text{ L} \times 4,7$$

⇒ Calcul E. produite / G

Eq. Cal. G = 5,05 Kcal

$$\dot{V}O_2 \text{ G} \times 5,05$$

Donc :

Méthode de thermochimie respiratoire

⇒ Pratique clinique ⇒ Eq. Calorique Moyen

⇒ Physiologie – Alimentation diffère des conditions standards



Méthode analytique



4. Le métabolisme

Transformations chimique et biologique dans l'organisme \Rightarrow Acte nutrition

✓ **Anabolisme** : Mat. Nut. \rightarrow T. vivant
 Endothermique

✓ **Catabolisme** : Mat. Tissus \rightarrow E.
 Exothermique

Énergie libérée : - Anabolisme
 - Travail

4.1. Métabolisme de base et dépense énergétique de fond

Dépense énergétique de fond :

Utilisation d'énergie mesurée :

- Sujet éveillé
- Repos
- Neutralité thermique
- Jeûne

Pas dépense minimale (sommeil \searrow)

4.1.1. Dépenses énergétiques irréductibles

 Dépense énergétique de fond

✓ Activités irréductibles


- Travail cardiaque
- Travail respiratoire
- Travail sécrétoire
- Tonus musculaire
- Activité cellulaire

✓ Dépenses exclues

- Activités non immédiates–indispensables à la vie
- Lutte : chaud, froid

4.1.2. Conditions basales

 En pratique clinique

- ✓ **Jeûne** : 12h à 16 h
6 h minimum veille
- ✓ **Repos et détente musculaire**
30 min – Allongé – Relaxation
 anxiété
- ✓ **Neutralité thermique**
Pas lutte : chaud, froid
26° c \Rightarrow Nu
21° c \Rightarrow vêtu \pm



4.1.3. Technique de mesure

$$\curvearrowright \text{VO}_2 \text{ dm}^3.\text{mn}^{-1}$$

$$\text{Dép. E. Fond} = 20,1 \times \text{VO}_2 / 60 \text{ (W ou J/s)}$$

✓ **Variations**

- +++ fonction espèces
- Sexe, taille, masse, âge \Rightarrow même espèce
- W/P petites espèces $>$ W/P grandes espèces
- Dép. E. Fond \Rightarrow relation +++ SURFACE

4.1.4. Métabolisme de base

$$\curvearrowright \text{Dép. Energ. Fond / surface}$$

$$\boxed{\text{W. m}^{-2} \text{ ou Kcal.h}^{-1}.\text{m}^{-2}}$$

- ✓ Meilleure interprétation
- ✓ Comparaison
- ✓ \searrow Variations interindividuelles

✓ **Surface corporelle :**

- Méthodes planimétriques : plus utilisées
- Formule de Dubois

$$S \text{ (cm}^2\text{)} = P^{0,425} \times T^{0,725} \times 71,84$$

✓ **Valeur MB – étudiant (masculin) – 20 ans :**

- 46,5 W.m⁻²
- 40 kcal.h⁻¹.m⁻²

4.1.5. Facteurs de variation

✓ **Sexe** Masculin Féminin
 (45 W.m⁻²) > (42 W.m⁻²)

Différences négligeables avec poids dégraissé ou masse proto.active

- ✓ **Âge** \nearrow MB de la naissance jusqu'à 1 an
 puis \searrow (\nearrow puberté)
- ✓ **États physiol.** Ménopause \searrow
 Grossesse, allaitement \nearrow
- ✓ **Habit.alimentaires** Hyperalimentat°chronique \nearrow
- ✓ **Cond. Climatiques** Pays froids \nearrow
- ✓ **Pathologie** Hyperthyroïdie \nearrow

4.2. Facteurs de variation du métabolisme

- ✓ **Métabolisme de base** \Rightarrow variations faibles
 Conditions mesures respectées
- ✓ **Dépenses énergétiques** \Rightarrow variations +++
 Alimentation, froid, chaud, W musculaire



4.2.2. La thermorégulation

Homme ⇒ homéotherme
étroites limites thermiques

4.2.2.1. Prod. Thermique et échanges

- ✓ Production (thermogénèse) :
 - Oxydations cellulaires (deshydrogénation, Phosphorylation)
 - Activité musculaire
 - Influence des hormones thyroïdiennes et surrénales
- ✓ Échanges :
 - Conduction : contact objet (sol +++)
 . Sujet debout → faible
 . Sujet couché → ↗ (exemple : blessé)

- Convection : déplacement d'un fluide
 - . Air sans vent → faible
 - . Vent, immersion → ↗
- Radiation : rayonnement électrique magnétique
 - ↗ avec différence de t° peau, environnement
 - . Corps noir → absorption +++
 - . Peau humaine (33°C)
 ↪ idem corps noir pour radiation infra-rouge
- Évaporation : pertes de chaleur
 - . Appareil respiratoire et peau
 - . ↗ air ambiant chaud et sec

- Sudation : phénomène actif
 ↗ pertes thermiques
 si environnement favorable à l'évaporation

- Débit sanguin cutané :
 - . Peau → Échanges thermiques +++
 - . Vasoconstriction → ↘ échanges thermiques
 - . Vasodilatation → ↗ échanges thermiques

4.2.2.2. Lutte contre le froid

⇒ Perte de chaleur (Thermolyse) → variables

- Fonction → vêtements
 → surface de contact (sol)
 → fluide (eau, air)
 → vent
 → température environnement

Homme vêtu	}	Conduction	5 %
Au repos		Convection	5 %
Air ambiant		Radiation	60 %
20°C		Évaporation	30 %



➡ **Production de chaleur :**

- ✓ **Thermogénèse de « frisson » :**
 Activité musculaire généralisée intermittente, involontaire
 ⇒ chaleur +++
- ✓ **Activité musculaire volontaire et tonus musculaire :**
 90 % production thermique
 Sujet qui lutte contre le froid
- ✓ **Thermogénèse et « graisse brune » :**
 Tissu adipeux dont activité métabolique ⇒ chaleur
 Rôle +++ Animaux hibernants
 Absente chez l'homme
- ✓ **Thermogénèse post prandiale :**
 Adaptation spontanée : saisons, climat
 ↗ utilisation Protéine, froid

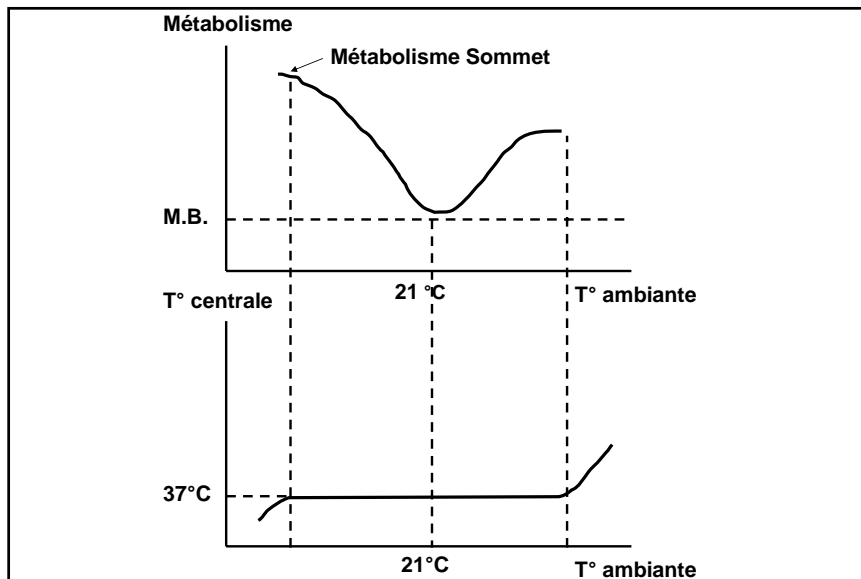
➡ **Métabolisme de sommet :**



Dépense énergétique maximale
 quand lutte contre le froid

Situation transitoire :

- ✓ Exposition longue : MB x 2
- ✓ Exposition courte : MB x 4



4.2.2.3. Lutte contre le chaud ➡ ↗ thermolyse

➡ **Vasodilatation cutanée**

↗ perte de chaleur
 conduction, convection → 35°C

➡ **Sudation**

↗ perte de chaleur / évaporation

1 g H₂O : état liquide → état gazeux
 0,585 kcal

Mais thermolyse ⇒ ↗ dépense d'énergie

- W chimique → glandes sudoripares
- W cardiaque ← vasodilatation

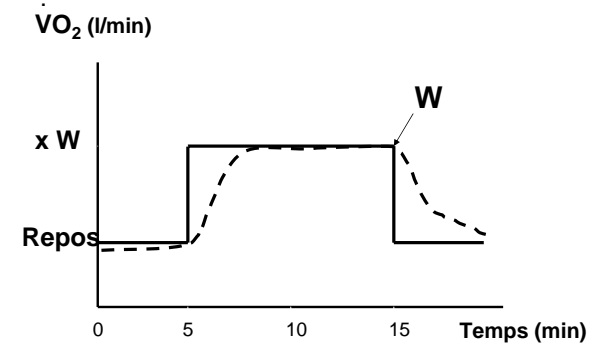


4.2.3. Le travail mécanique

- ✓ **Activité musculaire :**
20 à 50 % du métabolisme total de l'organisme
 - ✓ **Quantification dépense énergétique :**
Ergomètres (bicyclette, tapis)
 - ✓ **∃ relation linéaire :**
W – Chaleur
Chaleur – VO₂
- mais* : Pas équivalence
car : rendement muscle = W effectué / E.consumée = 20-25 %
 75 % à 80 % ⇒ chaleur

Évolution VO₂ pendant le travail musculaire

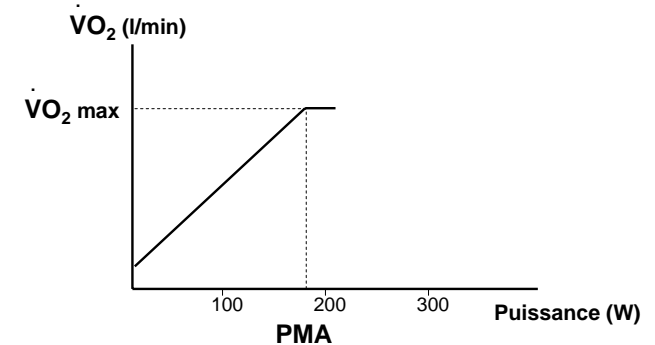
- ✓ **Charge constante**



Dette d'oxygène :

- ✓ Élimination du lactate
- ✓ Resynthèse du glycogène
- ✓ Réserves myoglobine O₂
- ✓ Resynthèse des composés phosphorés

- ✓ **Charge croissante**

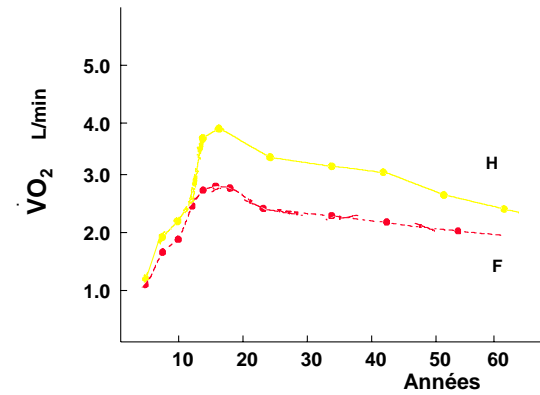


VO₂ max ⇒ 10 x VO₂ repos
 2,5 à 3 dm³.min⁻¹ (l.min⁻¹)
 ↳ Énergie consommée ⇒ 800 à 1000 w
 Travail mécanique ⇒ 200 à 250 w

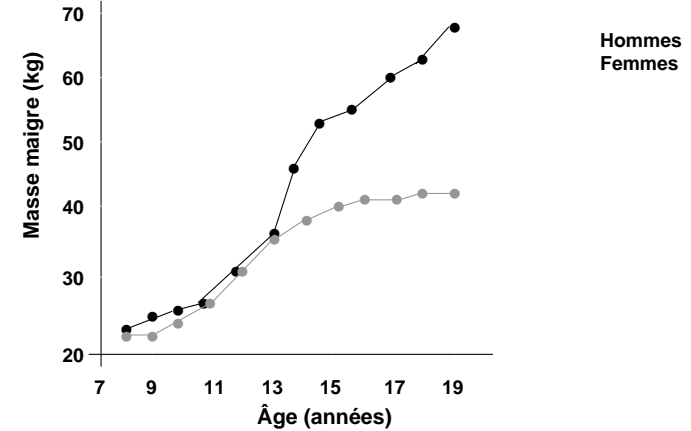
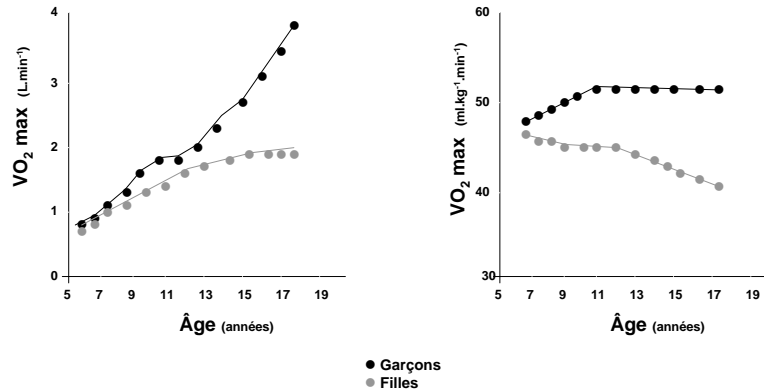


Facteurs de variation de la VO₂max

- ✓ Âge
- ✓ Sexe
- ✓ Caractéristiques anthropométriques
Poids, Poids maigre, vol.M.I
- ✓ Fonction de l'entraînement/déconditionnement



Évolution longitudinale de la VO₂ max en fonction de l'âge



Différences intersexes de masse maigre en fonction de l'âge



Entraînement/déconditionnement

- activité physique en endurance
- sujet non entraîné
VO₂max=40ml/kg/min
- sportif entraîné (marathon, cyclisme)
VO₂max>60 à 80ml/kg/min
- malade déconditionné (Insuf.card. ou respi)
VO₂max<20 ml/kg/min

4.2.4. Autres facteurs de variation

- ✓ Cycle veille / sommeil :
Sommeil lent / Sommeil paradoxal
- ✓ Activité intellectuelle
- ✓ État émotionnel :
Réactions végétatives (Σ)
Tachycardie, hyperpnée, sudation
↗ tonus musculaire → MB x 2

