

23. Énergie Métabolique

23.1 – Introduction

François Péronnet, Ph.D, Université de Montréal

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.

Département de génie mécanique

Antoine Brégaïnt, M.Sc.A.

Coralie Banon, M.Ing.

Bastien Thomasset, M.Sc.A.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Données de base
- Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale
- Utilisation de l'énergie dans l'organisme
- Partition de la DE : Postes de dépense
- Partition de la DE : Organes et tissus
- DE chez les animaux
- Conclusion

Plan de la présentation

- ***Introduction et objectifs de la capsule***
- Données de base
- Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale
- Utilisation de l'énergie dans l'organisme
- Partition de la DE : Postes de dépense
- Partition de la DE : Organes et tissus
- DE chez les animaux
- Conclusion

Introduction et objectifs de la capsule

- *« Le métabolisme est l'ensemble des réactions chimiques qui se déroulent à l'intérieur d'un être vivant et lui permettent notamment de se maintenir en vie, de se reproduire, de se développer et de répondre aux stimuli de son environnement. Certaines de ces réactions chimiques se déroulent en dehors des cellules de l'organisme, comme la digestion ou le transport de substances entre cellules. Cependant, la plupart de ces réactions ont lieu dans les cellules elles-mêmes et constituent le métabolisme intermédiaire. »*
<https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9tabolisme>
- *« L'énergie est une propriété de la matière lui permettant de se transformer en générant un travail, ou à l'inverse de se transformer comme résultat d'un travail. »*
- *« La réalisation des processus biosynthétiques repose sur le couplage énergétique : ce qu'un système perd, un autre le gagne, la somme algébrique de l'ensemble étant toujours négative. »*
Traité de Nutrition Artificielle de l'Adulte, Chapitre 2 (Springer, 2007)

Introduction et objectifs de la capsule

- L'étude du métabolisme énergétique n'est pas quelque chose d'usuel lorsque l'on parle d'énergie.
- Pourtant, il existe de nombreuses similarités et parallèles possibles entre le génie énergétique vu par un ingénieur et celui vu par un biologiste.
- Cette capsule a pour objectif de présenter ces similarités ainsi que les éléments importants à la compréhension du métabolisme énergétique aussi bien chez les humains que chez les animaux.
- Après avoir énoncé quelques éléments de base à la compréhension de l'énergie métabolique, le cheminement jusqu'à l'énergie finale est présenté. Enfin, la dépense énergétique est étudiée tant chez les humains que chez les animaux.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- ***Données de base***
- Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale
- Utilisation de l'énergie dans l'organisme
- Partition de la DE : Postes de dépense
- Partition de la DE : Organes et tissus
- DE chez les animaux
- Conclusion

Données de base

- L'oxygène est indispensable à notre vie comme à la vie de pratiquement tous les animaux pluricellulaires (les métazoaires) ainsi que de nombreux protozoaires aérobies (**vs a-naérobies, i.e., qui n'ont pas besoin d'O₂ pour vivre**).
- Plusieurs étapes importantes à la découverte de l'oxygène et de son rôle en biologie:
 - ***Ibn al-Nafis*** (1213–1288) : En 1250 il décrit la circulation pulmonaire et l'oxygène en une phrase : "Le sang artériel pulmonaire passe par des pores invisibles dans le poumon, où il se mêle à l'air pour former l'esprit vital, puis passe dans la veine pulmonaire pour atteindre la chambre gauche du cœur." **L'esprit vital était un terme courant pour désigner le sang.**
 - ***Michael Servetus*** (1511–1553) : Il redécouvre la circulation pulmonaire et le changement de couleur du sang dans le poumon.

Données de base

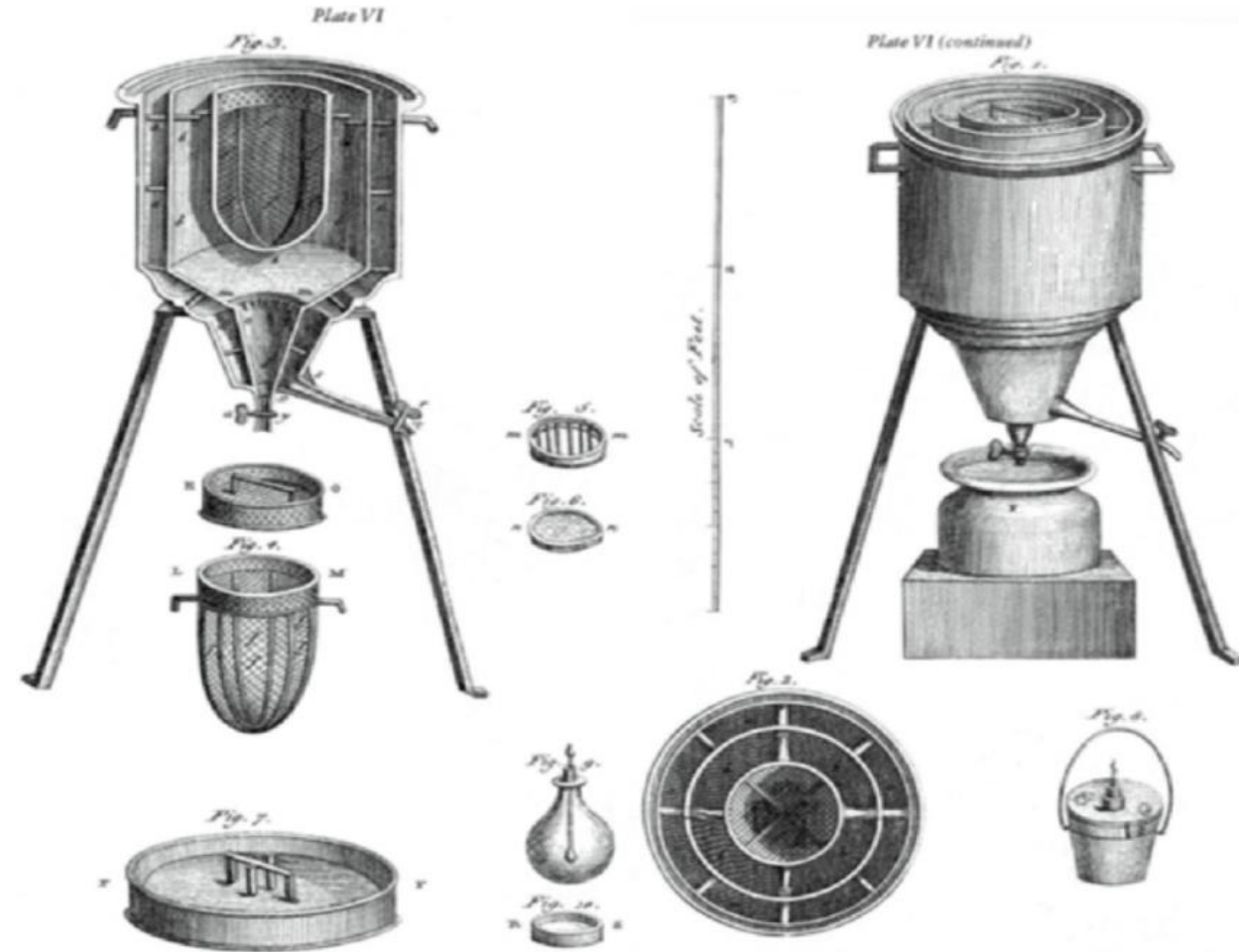
- **Michael Sendivogius** (1566–1636) : En 1604, il publie que l'air contient ce qu'il appelle « *the secret food of life* ».
- **Carl Wilhelm Scheele** (1742–1786) : En 1771 il explique comment il a réussi à générer un nouveau gaz en chauffant certaines terres métalliques. Il nomme cette découverte « air de feu » parce qu'il éclairait considérablement la flamme d'une bougie et favorisait la vie chez les souris.
- **Joseph Priestley** (1733–1804) : En 1774, en chauffant du mercure rouge calciné, il produit un gaz qui a calciné une écharde incandescente et a permis à une souris enfermée dans une bouteille de vivre. (redécouverte)

Données de base

- **Antoine Laurent Lavoisier** (1743–1794) : En 1775, il commence à étudier le gaz nouvellement redécouvert par Priestley. Il le nomme principe oxygène mais continue de l'appeler "air vital". **NB Oxus = acide**
- **Henry Cavendish** (1731–1810) : À la fin des années 1770, lui et Priestley ont remarqué que la combustion d'air inflammable provoquait la formation de rosée sur les parois de verre. Cavendish l'analyse et prouve que cette rosée est de l'eau pure. Ces pairs ne le croient pas et en 1783, Lavoisier invite huit chimistes à le regarder pour prouver que Cavendish a tort. Lorsque l'eau apparaît, Lavoisier est stupéfait ! Il réalise soudain que l'observation de Cavendish a révélé une erreur universellement acceptée. Il déclara : « L'eau n'est pas un élément, mais un composé de l'air inflammable et de l'air vital. » Lavoisier nomme alors l'air inflammable "hydrogène" et l'air vital "oxygène".

Données de base

- Lavoisier : « *La respiration est une combustion lente* ». Cette expérience est réalisée avec l'aide de Laplace. Ils introduisent un cochon d'inde dans un calorimètre à glace et montrent ainsi que la respiration est la combustion sont deux procédés similaires.



Données de base

- Modèles de Lavoisier :
- Modèle 1 : Braise vs Cochon d'Inde



Pour un même volume de CO_2 , plus de chaleur est libérée avec la braise.

- Modèle 2 : Braise vs Cochon d'Inde



- La combustion des substrats énergétiques et équivalent énergétique de l' $O_2 \rightarrow 5$ kcal ou 21 kJ par litre d' O_2 consommé.
- D'où l'utilisation très commode (même si parfois abusive) de la consommation d' O_2 (VO_2) pour mesurer la dépense énergétique (DE) et la puissance métabolique ($V'O_2$).

Données de base

- Équivalent énergétique de l' O_2 : 5 kcal/L d' O_2 consommé

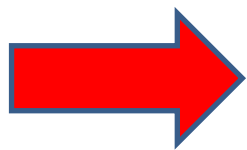
ENERGY

109

TABLE 5-1 Heat of Combustion of Various Macronutrients

Macronutrient	Heat of Combustion ^a (kcal/g)	kcal ^b /L O_2	RQ ^c (CO_2/O_2)	Atwater Factor ^d (kcal/g)
Starch	4.18	5.05	1.0	4.0
Sucrose	3.94	5.01	1.0	4.0
Glucose	3.72	4.98	1.0	4.0
Fat	9.44	4.69	0.71	9.0
Protein by combustion ^a	5.6			
Protein through metabolism ^a	4.70	4.66	0.835	4.0
Alcohol ^e	7.09	4.86	0.67	—

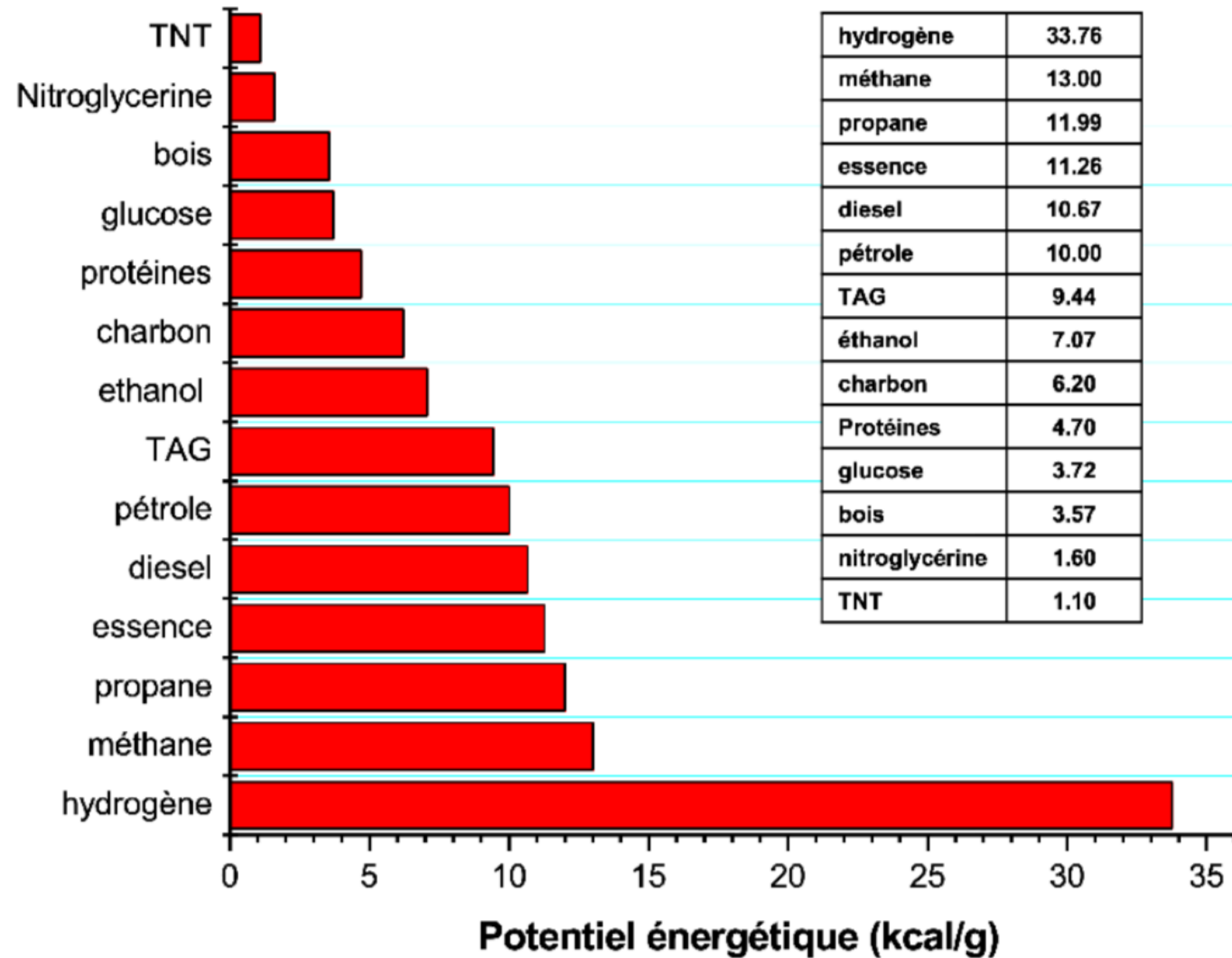
Tiré de : Merrill et al.



NB : La calorimétrie directe ou indirecte implique ~ 5% d'erreur

Données de base

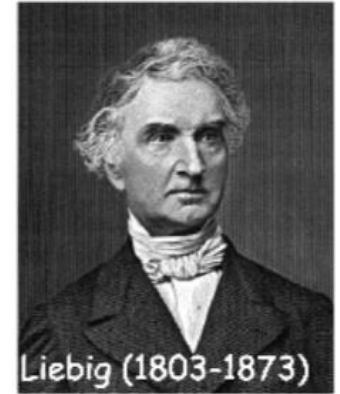
Comparaisons des potentiels énergétiques de combustibles (heat of combustion)



Données de base

- Conception actuelle de la respiration tissulaire et externe :
 - Développement entre Lavoisier et la fin du *XIX^{ème}* siècle.
 - Liebig (le grand biochimiste du *XIX^{ème}* siècle) pense que l'intégralité de l'énergie nécessaire à l'exercice provient de l'oxydation des protéines.
 - L'étude-clé de Fick & Wislicenus (1866) montre que ce n'est pas le cas et que seul 20% de cette énergie provient de l'oxydation des protéines.

<https://www.reseau-canope.fr>



Fick (1829-1901)



Wislicenus
(1835-1902)

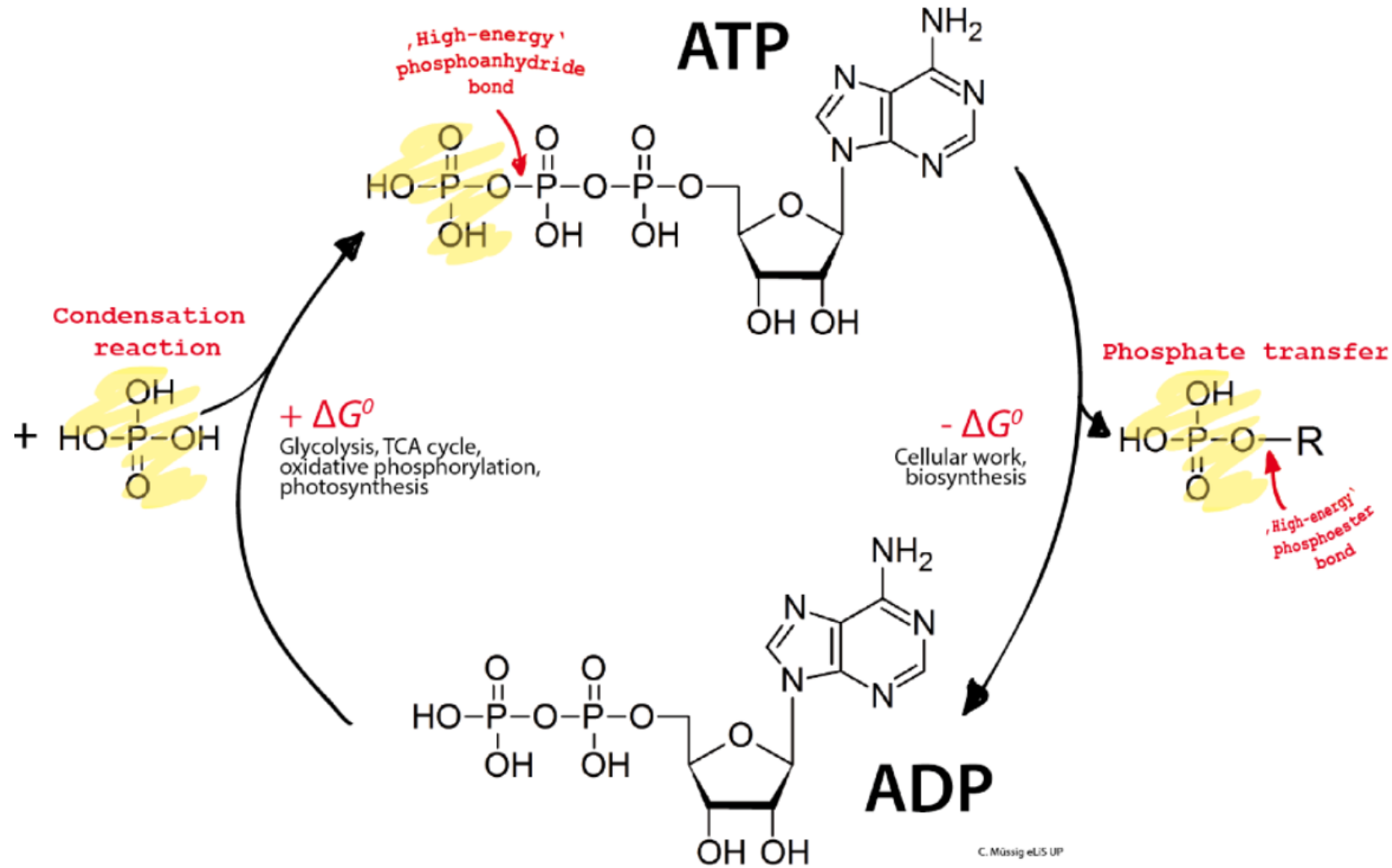
Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Données de base
- ***Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale***
- Utilisation de l'énergie dans l'organisme
- Partition de la DE : Postes de dépense
- Partition de la DE : Organes et tissus
- DE chez les animaux
- Conclusion

Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale

- Énergie intermédiaire :
 - Combustion des macronutriments avec consommation d'O₂ (VO₂) et libération d'énergie chimique (**PRIMAIRE**).
 - Récupération de l'énergie primaire pour produire l'énergie finale qui est utilisée dans toutes les fonctions énergie dépendantes de la cellule et donc de l'organisme.
- Énergie finale : **énergie chimique libérée par l'hydrolyse de l'ATP**
 - Cette énergie finale est « sous forme » d'ATP (adénosine triphosphate) que l'on appelle un composé riche en énergie en bioénergétique → monnaie énergétique universelle dans l'organisme.

Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale



Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale

ATP: ac. adénosine triphosphorique (adénosine triphosphate)

Adénine

Adénine + ribose (adénosine)

Adénine + ribose + Pi (AMP)

Adénine + ribose + Pi ~ Pi (ADP)

Adénine + ribose + Pi ~ Pi ~ Pi (ATP)

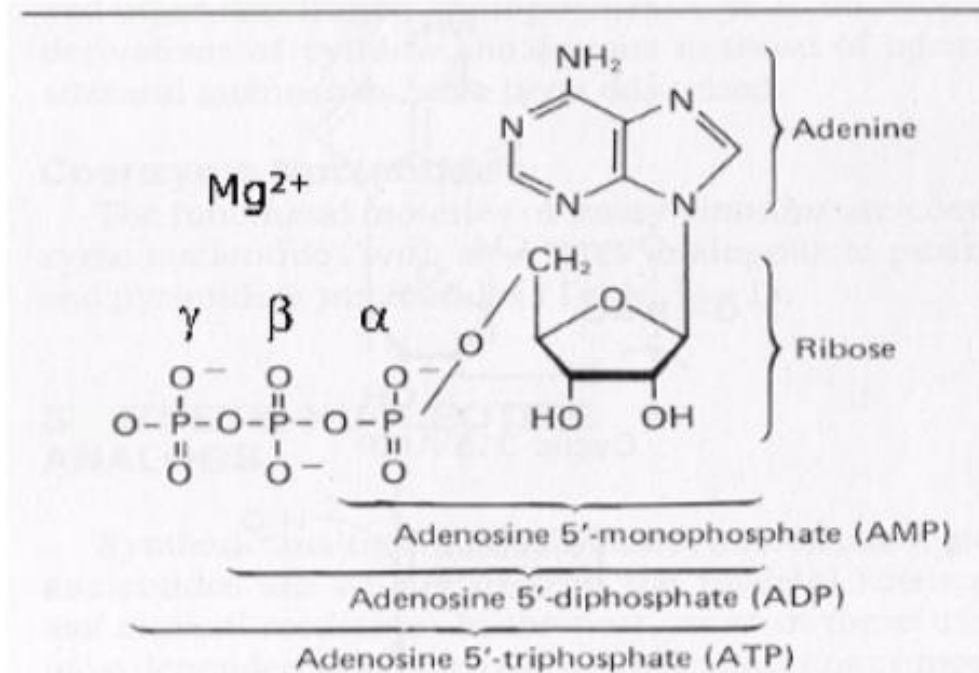
base azotée (purine)

(ribo)nucléoside adénylique

(ribo)nucléotides adényliques

Mg²⁺

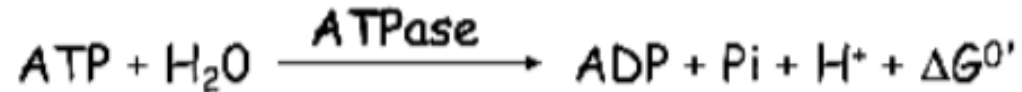
ATP →



Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale

Métabolisme de l' ATP

Hydrolyse de l' ATP: se déroule là où l' énergie est nécessaire



$\Delta G^{0'}$ = variation d' énergie libre standard
standard: 760 mmHg, pH 7, 25 °C, [ATP] = 1 mole

$$\Delta G^{0'} = -RT \ln K'_{eq}$$

R (k des gaz parfaits) = $8,32 \cdot 10^{-3}$ kJ/mole
T en kelvin (273 + 25) = 298 K
 K'_{eq} = constante de dissociation à l' équilibre
 $K'_{eq} = [\text{ADP}] [\text{P}_i] / [\text{ATP}] \sim 250\,000$
 $\sim (0,999\,996)^2 / 0,000\,004$

$$\Delta G^{0'} = -8,32 \times 298 \times 10^{-3} \times \ln 250\,000 = -30,8 \text{ kJ/mol ou } 7,3 \text{ kcal/mol}$$

Dans la cellule, ΔG est plus élevé car pas conditions standard

Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale

Variation d' énergie libre de l' hydrolyse de l' ATP:

N' est pas très élevé	phospho <i>eno</i> pyruvate:	62 kJ/mole
	Créatine phosphate:	43 kJ/mole
	Glucose 1-phosphate	21 kJ/mole
	Glucose 6-phosphate	13 kJ/mole

Est plus élevée dans la cellule où les conditions ne sont pas « standards »

$$T = 273 + 37 = 310 \text{ K}$$

$$[\text{ATP}] = 8 \text{ mmol/L}$$

$$[\text{ADP}] = 0,8 \text{ mmol/L (?)}$$

$$[\text{Pi}] = 4 \text{ mmol/L (au repos)}$$

La variation d' énergie libre réelle (ΔG) est donnée par la relation:

$$\Delta G = \Delta G^{0'} + RT \ln ([\text{ADP}] [\text{Pi}] / [\text{ATP}])$$

$$-31 + 8,32 \times 310 \times 10^{-3} \times \ln ([0,8 \cdot 10^{-3}] [4 \cdot 10^{-3}] / [8 \cdot 10^{-3}])$$

$$- 51,0 \text{ kJ/mol} \quad \text{ou} \quad 12 \text{ kcal/mol}$$

Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale

- Cycle de l'ATP :

- Potentiel énergétique de l'ATP : $\frac{12 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{mole}} \right]}{507 \left[\frac{\text{g}}{\text{mole}} \right]} = 0,024 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{g}} \right]$

- L'ATP n'est pas très riche en énergie mais il « tourne » très vite.

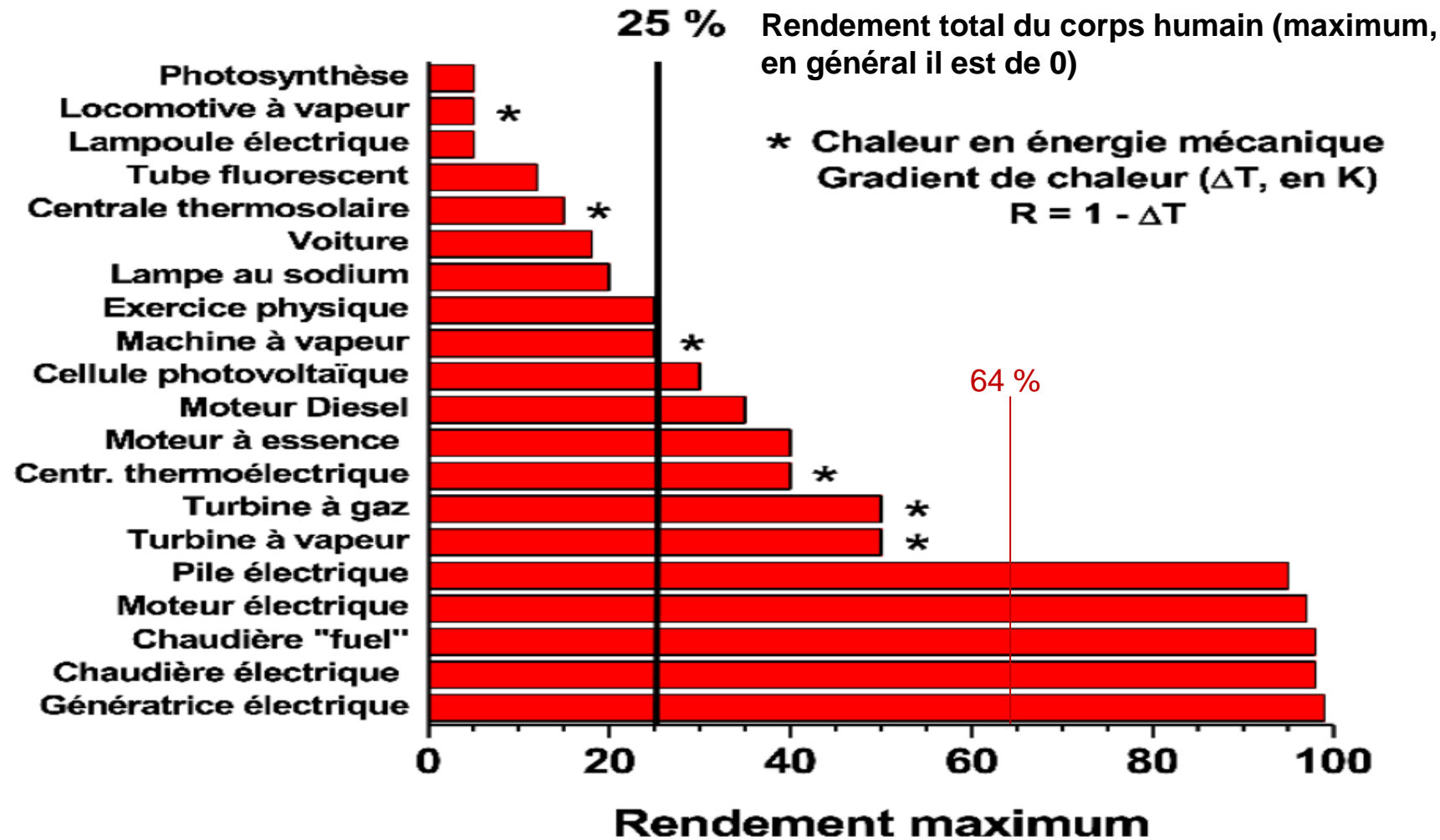
- $DE = 2000 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{jour}} \right] = 83,3 \text{ kg d'ATP}$ (masse proche de celle d'un Homme !)

- Le pool d'ATP (~250g) est donc renouvelé environ 330 fois par jour (1 fois toutes les 4 minutes et plus vite encore à l'exercice).

Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale

- Rendement de la transformation d'énergie intermédiaire en énergie finale (ATP), différent du rendement total :
 - Dans le meilleur des cas, 6 ATP sont générés par mole d' O_2 utilisée. Il se peut qu'uniquement de la chaleur soit produite.
En fait minimum = 0.333 ATP
 - 1 mole d' O_2 équivaut à 22,4 litres soit ~ 112 kcal (à ~ 5 kcal/L).
 - 6 moles d'ATP équivaut à 72 kcal ($6 \cdot 12$ kcal).
 - Rendement : **$72/112 = 64\%$** (maximum) et variable

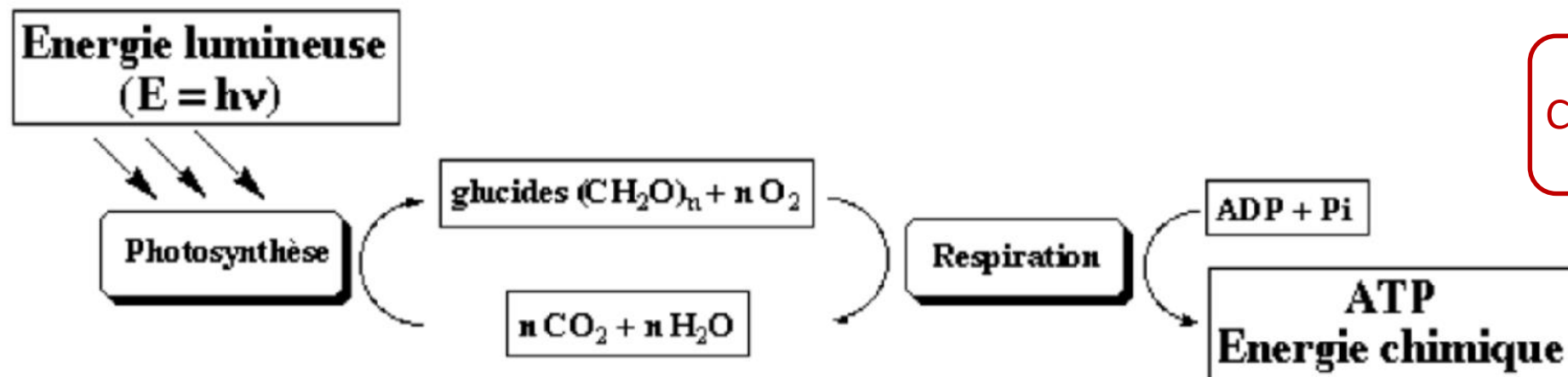
Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale



Source:
Ramage J, Energy, Oxford University Press 1997
Smil V, Energies, MIT Press 1998

Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale

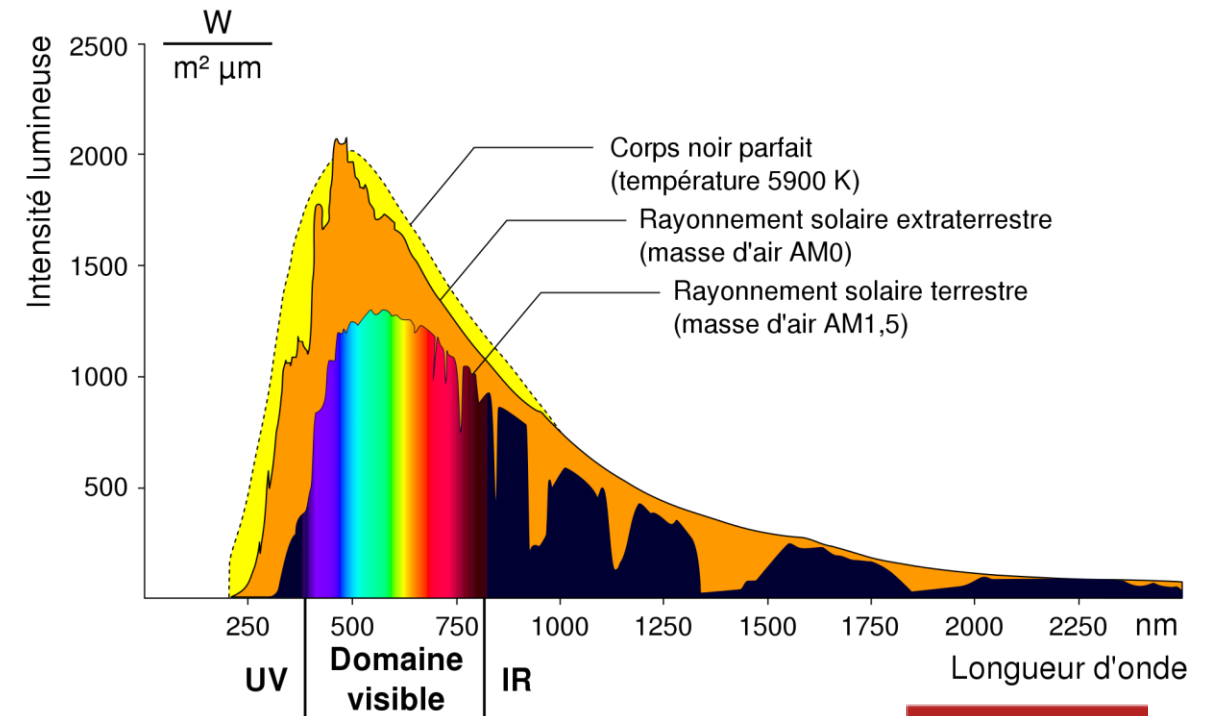
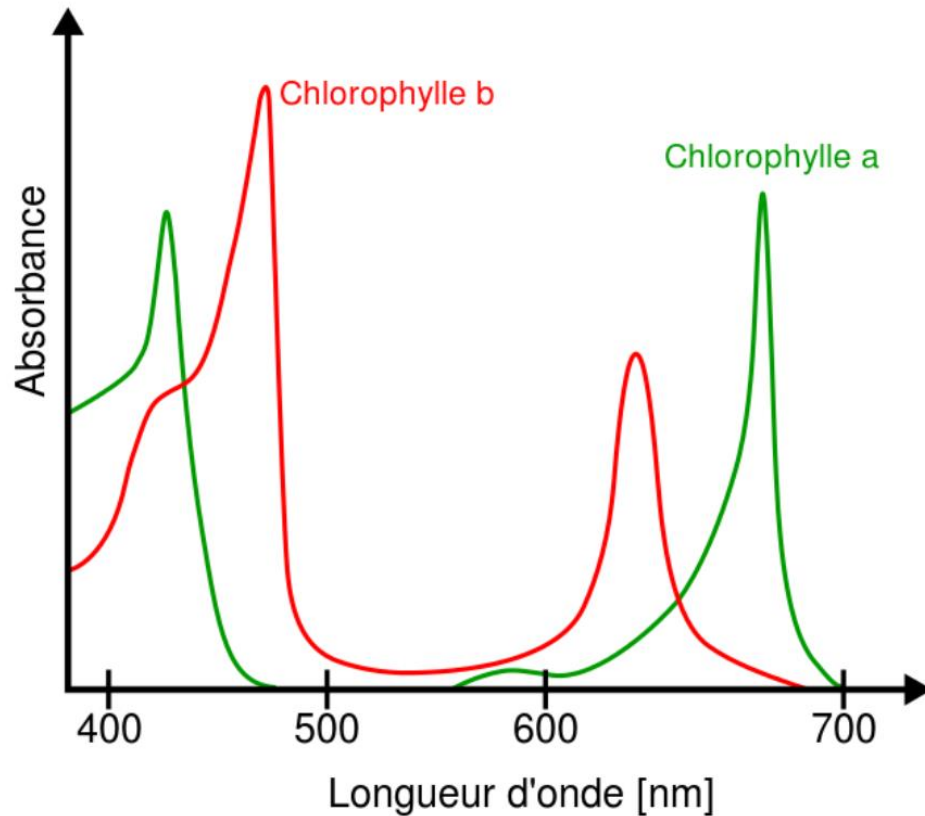
- Énergie intermédiaire en bioénergétique : l'énergie solaire
- Couplage entre :
 - la combustion des nutriments par la respiration cellulaire des animaux (avec production d'énergie, de CO₂, d'eau et **d'urée**).
 - la photosynthèse des végétaux (avec production de glucose dont dérivent tous les composés organiques – y compris les composés azotés où l'urée est recyclée (fumier et cycle de l'azote)).



Cf. Présentation 14.5

Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale

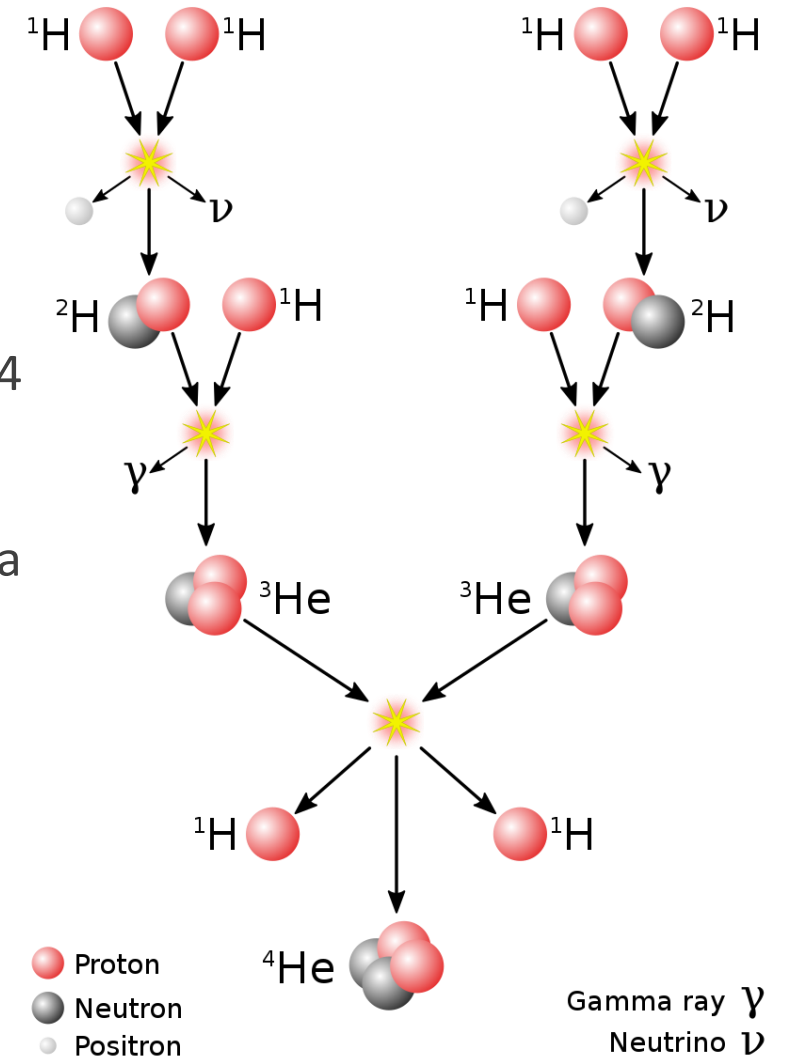
- L'énergie nécessaire à la photosynthèse est une partie du spectre de l'énergie électromagnétique provenant du rayonnement du soleil.
- Exemple ci-dessous pour la chlorophylle vs le spectre du rayonnement du soleil :



Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale

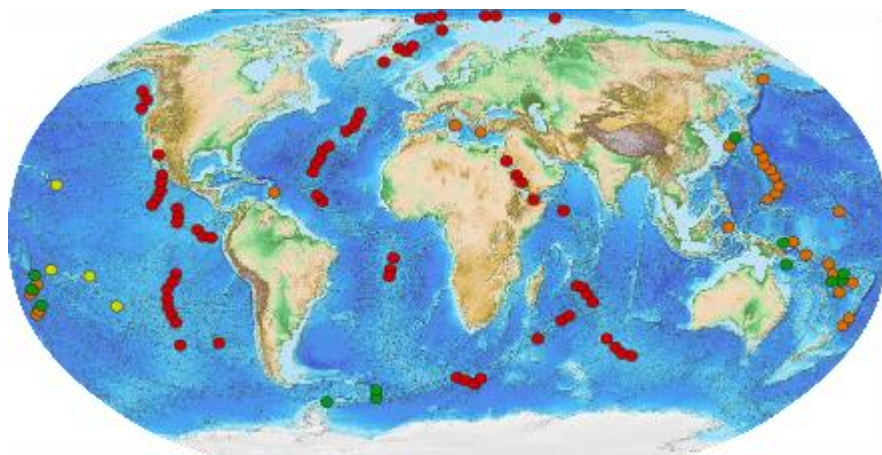
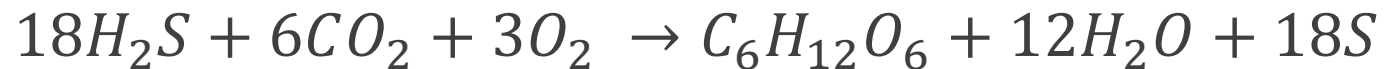
- Énergie primaire de la biosphère
- Origine du rayonnement électromagnétique du soleil :
 - Chaque seconde, 619 Mt d'hydrogène sont converties en 614 Mt d'hélium.
 - La perte de masse de 5 Mt (correspondant à la masse de la pyramide de Kheops) correspond à $383 * 10^{24} J/s$.
 - 1 gramme de matière contient l'équivalent en énergie de 15 000 barils de pétrole.
 - C'est l'énergie primaire de la vie sur Terre.

Lien avec 11.2 : Soleil et rayonnement solaire



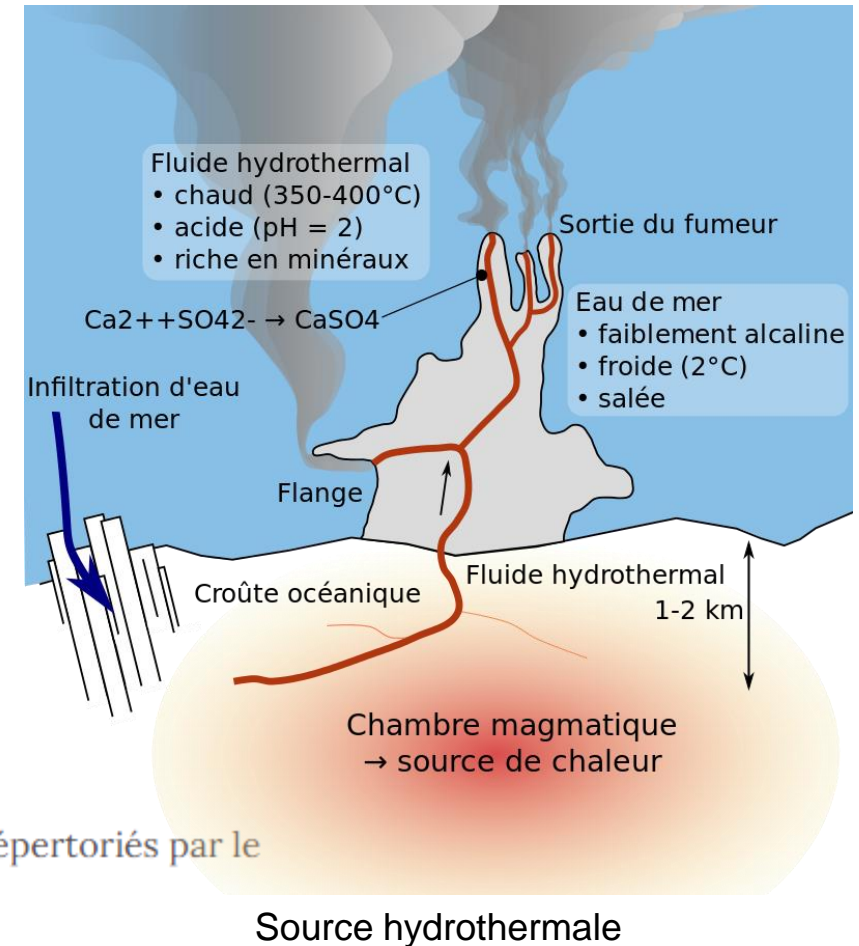
Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale

- Énergie primaire :
- Oxydation du sulfure d'hydrogène avec formation d'eau (O_2 est l'accepteur d'électrons).
- Permet la chimiosynthèse de composés organiques à partir de CO_2 et d'hydrogène. Exemple du glucose :



Carte des systèmes hydrothermaux répertoriés par le NOAA.

- d'arcs volcaniques
- de dorsales
- de bassins arrière-arcs
- de points chauds



Lien avec 13.5 : Géothermie à haute énergie

Plan de la présentation

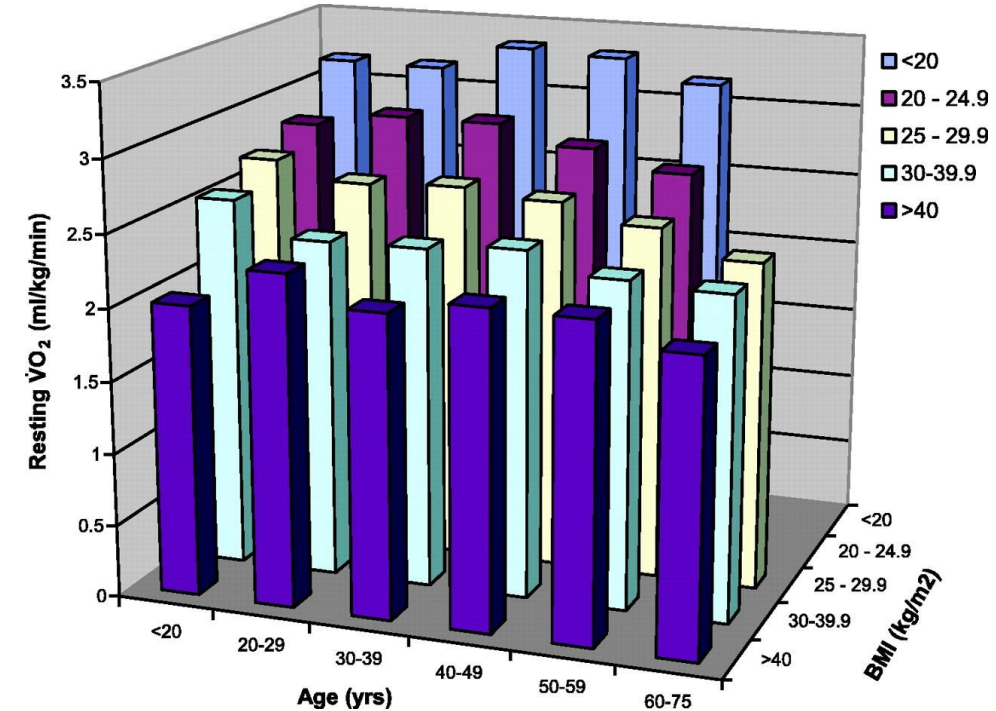
- Introduction et objectifs de la capsule
- Données de base
- Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale
- ***Utilisation de l'énergie dans l'organisme***
- Partition de la DE : Postes de dépense
- Partition de la DE : Organes et tissus
- DE chez les animaux
- Conclusion

Utilisation de l'énergie dans l'organisme

- Pourquoi de l'énergie ?
 - La lutte contre l'augmentation de l'entropie (la « néguentropie » de Schrödinger) nécessite :
 - De l'énergie (pour organiser la matière)
 - Des matériaux
 - De l'information
 - De l'énergie (beaucoup moins) (stocker et échanger cette information)

Utilisation de l'énergie dans l'organisme

- Dépense énergétique (DE) globale chez l'Homme :
 - Métabolisme de base
 - Basal metabolic rate (BMR)
 - DE de repos
 - Pchm de repos
 - Resting metabolic rate (RMR)
 - MET (équivalent métabolique correspondant à une consommation d'oxygène au repos de 3,5 mL/kg/min) → valeur approchée



Exemple: $70 \text{ kg} \times 3,5 \text{ ml kg min} \times 1440 \text{ min} \times 5 / 1000 = 1764 \text{ kcal/jour} = 86 \text{ W}$

Utilisation de l'énergie dans l'organisme

- Plusieurs équations permettent de calculer la DE de repos/base → les besoins « incompressibles » (BMR) :

Calculating the Harris-Benedict BMR [\[edit\]](#)

The original Harris–Benedict equations published in 1918 and 1919.^{[1][2]}

Sex	Units	Calculation
Men	Metric	$BMR = 66.5 + (13.76 \times \text{weight in kg}) + (5.003 \times \text{height in cm}) - (6.755 \times \text{age in years})$
	Imperial	$BMR = 66 + (6.2 \times \text{weight in pounds}) + (12.7 \times \text{height in inches}) - (6.76 \times \text{age in years})$
Women	Metric	$BMR = 655 + (9.563 \times \text{weight in kg}) + (1.850 \times \text{height in cm}) - (4.676 \times \text{age in years})$
	Imperial	$BMR = 655 + (4.35 \times \text{weight in pounds}) + (4.7 \times \text{height in inches}) - (4.7 \times \text{age in years})$

The Harris–Benedict equations revised by Roza and Shizgal in 1984.^[3]

Men	$BMR = 88.362 + (13.397 \times \text{weight in kg}) + (4.799 \times \text{height in cm}) - (5.677 \times \text{age in years})$
Women	$BMR = 447.593 + (9.247 \times \text{weight in kg}) + (3.098 \times \text{height in cm}) - (4.330 \times \text{age in years})$

The 95% confidence range for men is ± 213.0 kcal/day, and ± 201.0 kcal/day for women.

The Harris–Benedict equations revised by Mifflin and St Jeor in 1990.^[4]

Men	$BMR = (10 \times \text{weight in kg}) + (6.25 \times \text{height in cm}) - (5 \times \text{age in years}) + 5$
Women	$BMR = (10 \times \text{weight in kg}) + (6.25 \times \text{height in cm}) - (5 \times \text{age in years}) - 161$

Les résultats sont en kcal/j (peut être converti en J, kWh, W, VO_2)

Exemple :

Homme de 48 ans, 178 cm et 84 kg

BMR = 1780 kcal/jour ou 87 W

Cette dépense énergétique correspond uniquement à celle du repos (endormi et à peine plus).

Utilisation de l'énergie dans l'organisme

Tableau III - Dépense énergétique et puissance développée au repos et dans diverses situations physiologiques ou pathologiques. Les chiffres indiqués sont des valeurs moyennes approximatives normalisées pour un jeune adulte masculin de 70 kg (selon le rendement mécanique estimé entre 15 et 50 %).



Situation	Dépense totale et durée	Puissance	Remarques
Métabolisme de base	1 600-1 800 kcal/j	75-85 W	À jeun, environnement thermique neutre
Dépense quotidienne	2 300-2 500 kcal/j	110-120 W	Sujet sédentaire
Exposition au froid	370 kcal/3 h	moy : 150 W pic : 350 W	5 °C, vent de 1 m/s, température rectale de 36,5 °C
Polytraumatisé	1 900-2 200 kcal/j	90-100 W	
Infection grave	2 100-2 700 kcal/j	100-130 W	
Grand brûlé	2 500-3 600 kcal/j	120-170 W	
Haltérophilie	2 à 5 kcal en 0,88 s	8 000 à 25 000 W	Arraché de 150 kg
100 m	12 kcal en 10 s	5 000 W	
5 000 m	375 kcal en 13 min	2 000 W	
Marathon	3200 kcal en 2 h 10	1 700 W	
Triathlon	10 000 kcal en 8 h	1 400 W	
Tour de France	200 Mcal en 23 j	415 W	3 860 km

Traité de Nutrition Artificielle de l'Adulte, Chapitre 2 (Springer, 2007)

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Données de base
- Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale
- Utilisation de l'énergie dans l'organisme
- ***Partition de la DE : Postes de dépense***
- Partition de la DE : Organes et tissus
- DE chez les animaux
- Conclusion

Partition de la DE : Postes de dépense

Fonctions énergie-dépendantes	Exemples	organe ou tissu
synthèse	glucose --> glycogène	muscle, foie
	acides aminés --> protéines	toutes les cellules nucléées
	lactate --> glucose --> glycogène	foie et muscles
Transport actifs	gradients de concentration	
	glucose	intestin
	sodium, glucose, etc.	rein
	acides aminés	intestin
	minéraux	intestin
	gradients de charges électriques	neurones
		muscles, cœur
Contraction musculaire	myosine et actine	muscles striés
		myocarde
		muscles lisses
Activation de molécules	Phosphorylation (kinase: Pi)	toutes les cellules
Régulation de molécules	Enzymes (actifs/inactifs)	toutes les cellules
Libération de chaleur	2ème principe thermodynamique	Toutes les réactions
		Tissu adipeux brun
Lumière visible	phosphorescence	Lucioles, poissons,
Énergie électrique	Décharge électrique	anguille, raie (dalit)

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Données de base
- Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale
- Utilisation de l'énergie dans l'organisme
- Partition de la DE : Postes de dépense
- ***Partition de la DE : Organes et tissus***
- DE chez les animaux
- Conclusion

Partition de la DE : Organes et tissus

- Au repos, quatre organes (foie, cerveau, cœur et reins) dont la masse est < 4 kg chez un adulte masculin, dépensent ~ 60 % de la DE (environ 20 % de la DE chacun soit 20 W). Ils sont donc responsables de 60 % de la consommation d' O_2 .
- Mesure « invasive » par VO_2 locale → cathéters artériel + veineux profond à la sortie de l'organe. Principe de Fick (conservation de la masse) : $VO_2 = \text{débit} \times \text{différence artério-veineuse en } O_2$.

Tableau II - Contribution des principaux organes à la consommation basale d'oxygène et au poids corporel. Ces valeurs sont approximatives, elles varient selon le sexe, l'âge et l'activité.

	Consommation d' O_2 (% du VO_2 total)	Poids (% du poids du corps)
Foie	20	2,5
Cerveau	20	2,0
Cœur	10	0,5
Reins	10	0,5
Muscles	20	40,0
Autres tissus	20	54,5

Traité de Nutrition Artificielle
de l'Adulte, Chapitre 2
(Springer, 2007)

Partition de la DE : Organes et tissus

- Lors d'un exercice :
 - Aucun changement de VO_2 n'est observé pour le cerveau, le foie et les reins.
 - Augmentation de la DE du cœur en fonction du débit cardiaque et de la pression artérielle : 5 à 10 fois → 100 à 200 W.
 - Augmentation de la VO_2 des muscles de près de 50 fois : < 50 mL au repos contre 2500 ml/min à l'exercice (20 W à 875 W, chez un sujet « normal ». Le double chez des athlètes de haut niveau).

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Données de base
- Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale
- Utilisation de l'énergie dans l'organisme
- Partition de la DE : Postes de dépense
- Partition de la DE : Organes et tissus
- ***DE chez les animaux***
- Conclusion

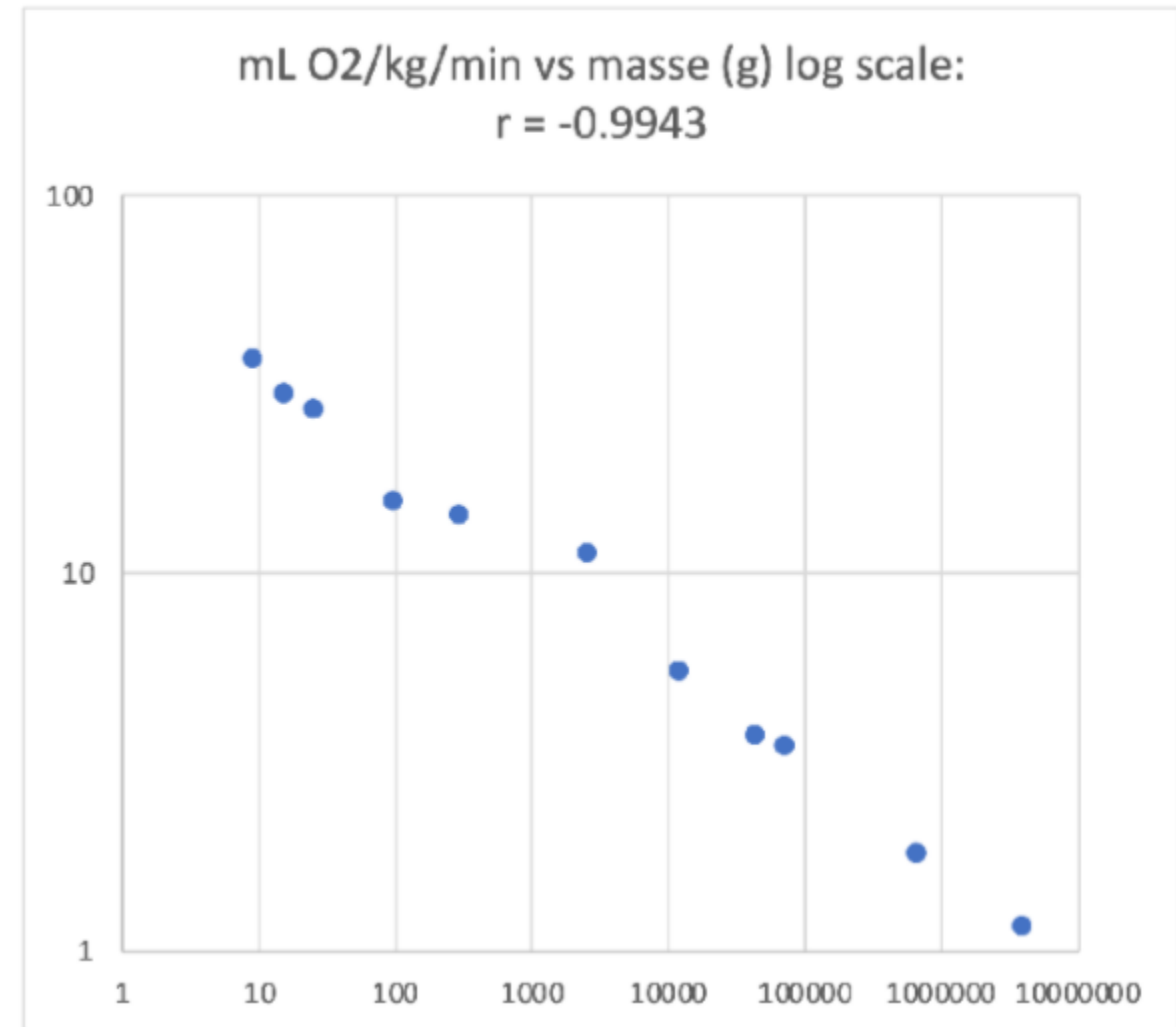
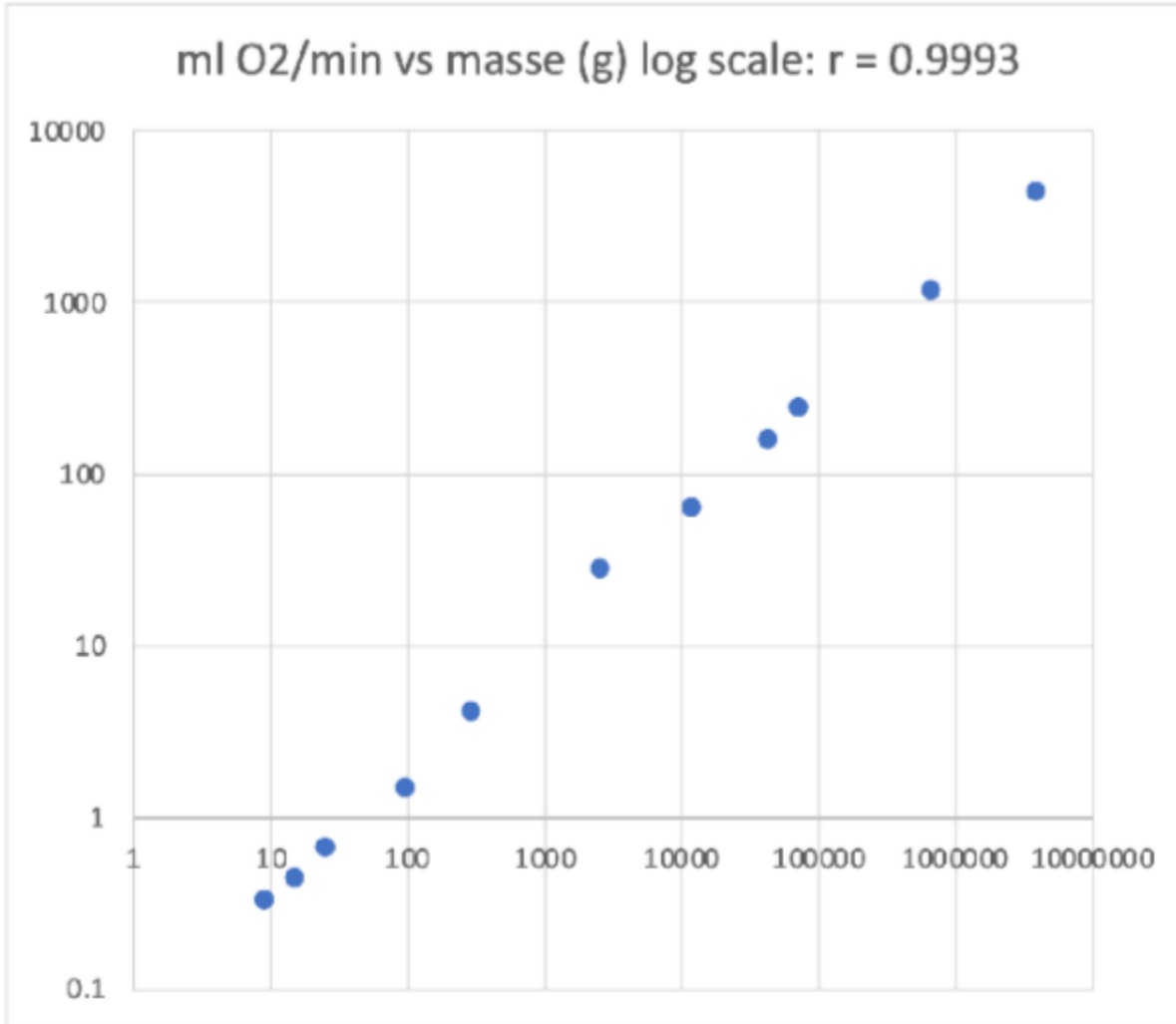
DE chez les animaux

	kg	mL O ₂ / min	mL O ₂ / kg/ min
Musaraigne	0.009	0.333	37.04
Mulot	0.015	0.450	30.00
Souris kangourou	0.025	0.683	27.33
Spermophile	0.096	1.500	15.63
Rat	0.29	4.167	14.37
Chat	2.5	28.333	11.33
Chien	11.7	64.500	5.51
Mouton	42.7	159.833	3.74
Homme	70	246.000	3.51
Cheval	650	1185.000	1.82
Éléphant	3833	4466.667	1.17

DE de repos :

Données de
Schmidt-Nielsen
1997 p. 193

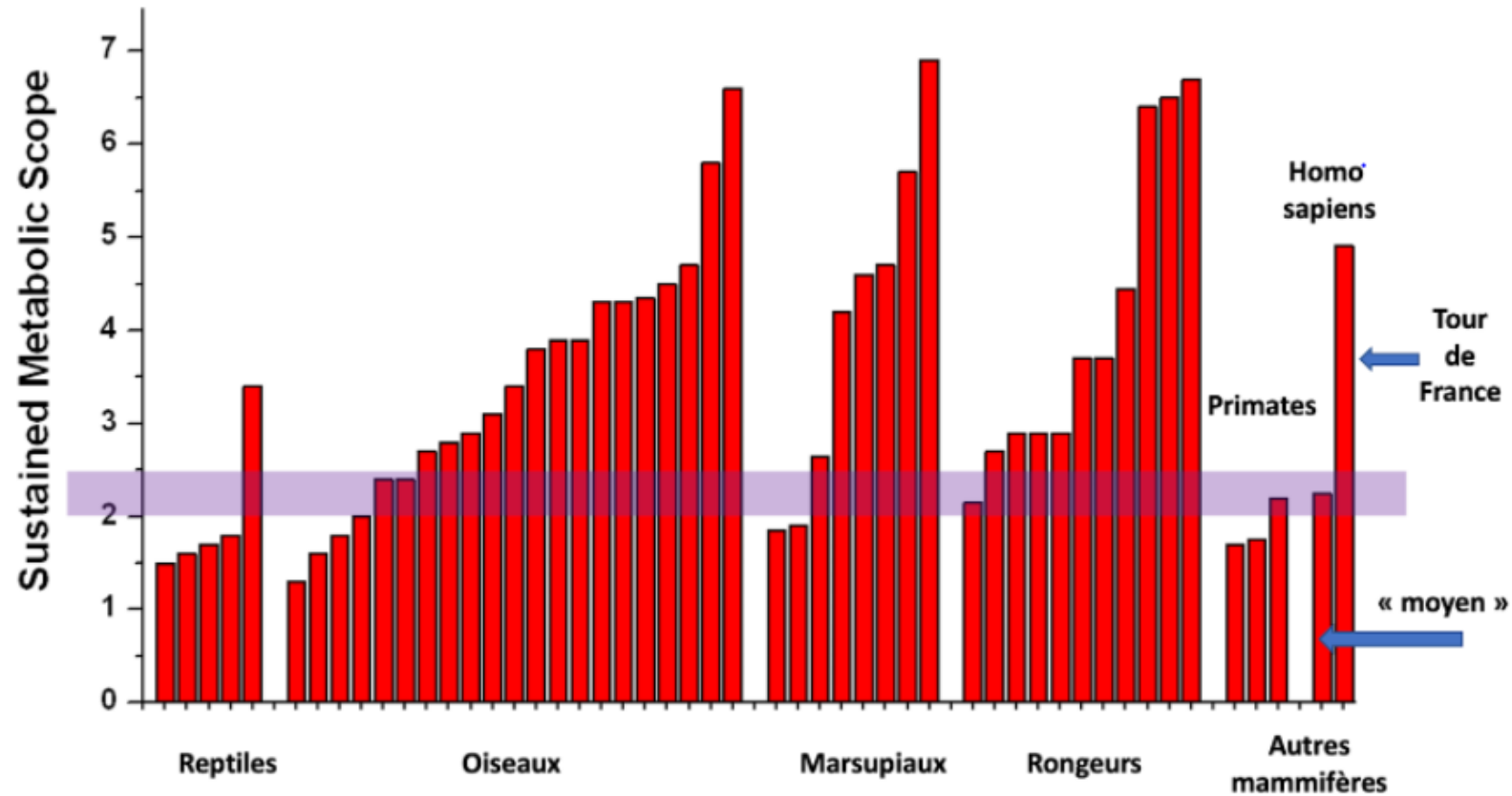
DE chez les animaux



DE chez les animaux

- Sustained Metabolic Scope

Hammond & Diamond
Maximal sustainable energy budget in humans and animals
Nature 386 avril 1997 p. 457



Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Données de base
- Bioénergétique : Énergie primaire et énergie finale
- Utilisation de l'énergie dans l'organisme
- Partition de la DE : Postes de dépense
- Partition de la DE : Organes et tissus
- DE chez les animaux
- ***Conclusion***

Conclusion

- Le corps humain est une machine merveilleuse permettant, par l'intermédiaire de nombreuses transformations chimiques, à l'Homme de se maintenir en vie, se déplacer, se reproduire...
- Cette capsule a introduit le métabolisme énergétique des êtres humains et des animaux.
- Les prochaines présentations font l'objet de différents types de métabolismes (anaérobie et aérobie).



Merci de votre attention !

Si vous avez des questions à formuler, veuillez les poser par écrit et spécifier le nom et le numéro de la présentation. Nous vous répondrons le plus rapidement possible.

Période de questions

