



Epreuve collaborative 2024

« Jusqu'au bout de l'extrême limite »

1. Réalisez un schéma bilan de la respiration cellulaire aérobie et anaérobie dans une cellule eucaryote (possédant un noyau et un cytoplasme) puis comparez les deux processus en déterminant pour chacun l'énergie apportée par la consommation d'une mole de glucose.

(Temps indicatif maximum : 5 minutes)

2. Vous êtes coach sportif et vous devez préparer deux athlètes A et B pour les Jeux Olympiques de Paris 2024. A l'issue de toutes les analyses, vous devez leur attribuer un sport qui exploitera au mieux toutes leurs capacités.

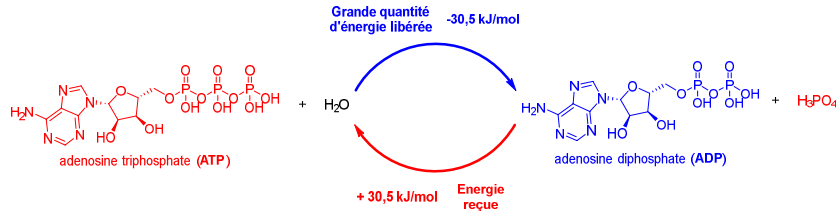
(Temps indicatif maximum : 13 minutes)

DOCUMENT 1

L'ATP ou la monnaie énergétique du monde vivant

D'après « *The puzzle of the Krebs citric acid cycle* », E. Meléndez-Hevia, T. Waddell et M. Cascante, *Journal of Molecular Evolution*, vol. 43, septembre 1996, 293-303

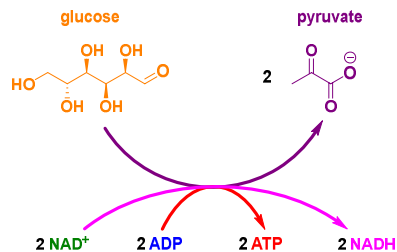
L'adénosine triphosphate, ou plus communément ATP, est une molécule organique composée de trois groupes phosphate, d'un sucre (ribose) et d'une base azotée (adénine). Son rôle principal est de stocker, de transporter et de libérer une très grande quantité d'énergie nécessaire aux réactions cellulaires lors de son hydrolyse en adénosine diphosphate ADP. L'ATP est la source d'énergie dans presque toutes les formes de vie sur Terre, qu'il s'agisse des bactéries, des plantes, des champignons ou des animaux.



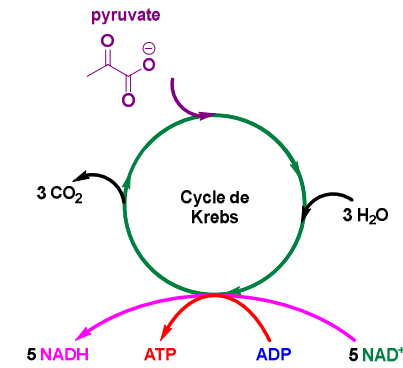
La régénération de l'ATP se fait principalement à travers deux processus biologiques majeurs : la respiration cellulaire (aérobie ou anaérobie) et la photosynthèse. Ces cycles régénèrent l'ADP en ATP et contribuent au recyclage constant de cette molécule essentielle.

La respiration cellulaire aérobie (en présence de dioxygène) fait intervenir plusieurs mécanismes :

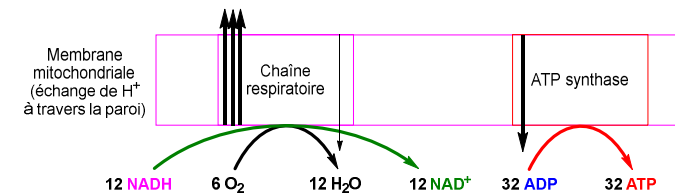
- **Glycolyse** : ce processus se déroule dans le cytoplasme cellulaire et implique la dégradation du glucose en pyruvate. La glycolyse génère un peu d'ATP directement, mais l'objectif principal est de produire des composés énergétiques intermédiaires qui entrent ensuite dans les étapes suivantes de la respiration comme le nicotinamide adénine dinucléotide NADH.



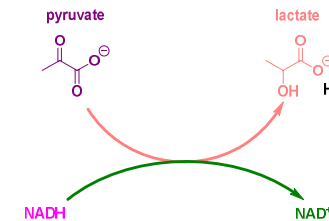
- **Cycle de Krebs** (ou cycle de l'acide citrique) : les molécules générées par la glycolyse sont converties en acétyl-CoA, qui entre dans le cycle de Krebs se déroulant dans les mitochondries. Ce cycle produit des composés réduits porteurs d'électrons comme NADH ainsi que des molécules GTP, qui peuvent ensuite être converties en ATP.



- **Chaîne de transport d'électrons** : les électrons portés par le NADH sont transportés le long de la membrane mitochondriale. Ce processus crée un flux de protons H⁺ à travers la membrane, générant un potentiel électrochimique. L'énergie libérée lors du retour des protons à travers la membrane est utilisée pour convertir l'ADP en ATP.



- **La respiration cellulaire anaérobie (sans dioxygène)** est aussi appelée fermentation et mène à la formation d'acide lactique, car le pyruvate issu de la glycolyse n'a pas le temps d'être transporté dans les mitochondries et est directement éliminé dans le cytoplasme.

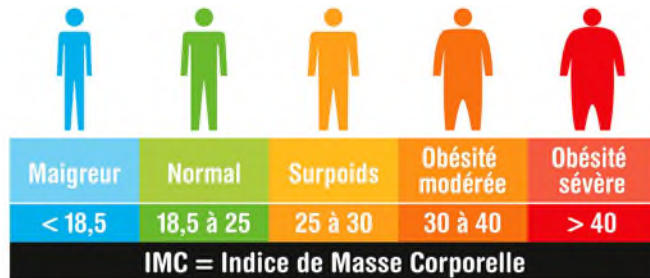


DOCUMENT 2 Indice de Masse Corporelle (IMC)

D'après "Is bioelectrical impedance accurate for use in large epidemiological studies", M. Dehghan, A. Merchant, Nutrition Journal 2008, 7; 26

L'indice de masse corporelle (IMC) est une grandeur qui permet d'estimer la corpulence d'une personne. Initié dans les années 1950 par Adolphe Quételet, un statisticien belge, l'IMC se calcule en fonction de la taille et de la masse corporelle d'un individu et permet d'obtenir des informations concernant sa santé.

$$\text{IMC} = \frac{\text{masse (kg)}}{\text{taille}^2 \text{ (mètres)}}$$



Malheureusement l'IMC est peu représentatif pour les sportifs car il ne prend pas en compte la différence de densité entre le gras et le muscle. Il existe donc des mesures plus fiables qui reposent sur des mesures d'impédance.

Dans le corps humain, les tissus graisseux possèdent une résistance électrique supérieure à celle des tissus musculaires. L'impédancemètre va produire un courant électrique de faible intensité, de l'ordre de 500 μA , lorsqu'on se tient debout sur l'appareil. Le courant émis est très faible et ne présente aucun danger pour l'utilisateur. Toutefois l'usage de l'impédancemètre sera déconseillé au porteur d'un stimulateur cardiaque.

Le courant I généré par l'appareil va se propager rapidement dans tout le corps et c'est par l'évaluation de la résistance à la propagation du courant électrique, notée Z , ou de la tension électrique mesurée, notée U , que la composition du corps va être évaluée.

$$Z = \frac{U}{I}$$

Avec Z l'impédance en Ohm (Ω), U la tension en Volt (V) et I l'intensité en Ampère (A).

On donne un tableau reliant la masse grasse et l'impédance Z ci-dessous mesurée pour une intensité I valant 500 μA .

Z (Ω)	Masse grasse
1000	5 kg
1250	10 kg
1500	15 kg
1750	20 kg
2000	25 kg
2250	30 kg
2500	35 kg
2750	40 kg
3000	45 kg

Ainsi, pour un sujet « de référence », les tissus et les organes représentent généralement 30 % de la masse d'un individu, les 70 % restants sont répartis entre la masse sèche (musculaire + os) et la masse grasse. En moyenne, le squelette humain d'un adulte représente environ 15 % de la masse corporelle totale. Selon la nature du sport pratiqué, les athlètes souhaitent posséder un certain ratio entre masse grasse et masse musculaire.

Pour des athlètes entraînés pratiquant des sports axés sur la force et la puissance, le pourcentage de masse musculaire varie généralement entre 20 et 35 %.

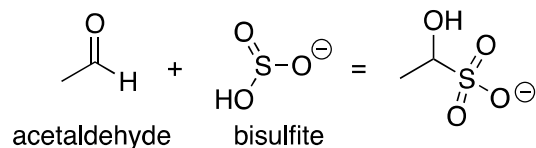
DOCUMENT 3**Determination of blood lactic acid**

D'après Friedemann, T. E., Cotonio, M. and Shaffer, P. A. Journal of Chemical Biology 1927, 73, 335 et Clausen, S. W. Journal of Chemical Biology 1922, 52, 263

The amount of lactic acid ($\text{CH}_3\text{-CH(OH)-CO}_2\text{H}$) in blood is proportional to the intensity of the effort made and reflects the energy produced by the muscles. It can be measured after a Wingate anaerobic power test. This test involves 30 seconds of pedaling on a bicycle ergometer with maximum speed against an external force, determined by weight, sex, and age. Five minutes after the test, a blood sample is taken and the lactic acid level can be titrated. It has been reported that power athletes produce significantly higher levels of lactic acid ($8\text{-}15 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ or more) than endurance athletes ($3\text{-}8 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$).

Method:

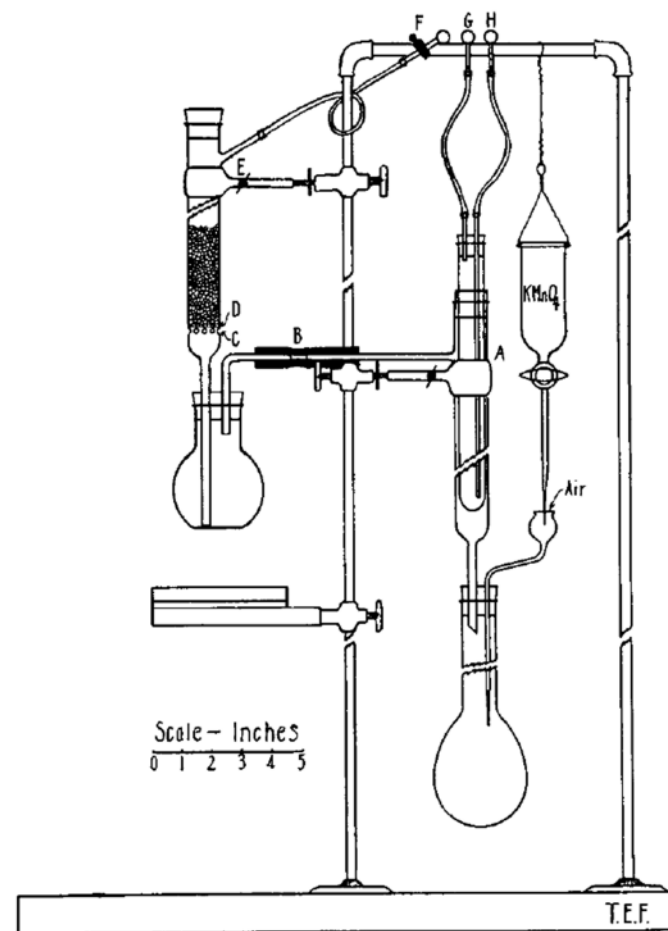
- A 1 mL blood sample undergoes preliminary treatment to remove the proteins and carbohydrates by precipitation then centrifugation. The supernatant is extracted and placed in a flask.
- 10 mL of $0.002 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ acid KMnO_4 solution and sufficient water to bring the volume to 100 mL are added.
- The flask is heated during 15 min, while lactic acid is oxidized by permanganate ion (MnO_4^-) in acetaldehyde (CH_3CHO) and carbon dioxide (CO_2), and the resulting acetaldehyde is aerated out of the solution and absorbed in 5 mL of $0.010 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ sodium bisulfite solution.



- Finally, the excess amount of bisulfite is titrated by a $0.002 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ iodine (I_2) solution using starch indicator, and the equivalence point is carefully adjusted to a delicate blue.

Data:

- Ebullition point of acetaldehyde: $T_{\text{eb}} = 20.2^\circ\text{C}$
- Redox couples:
 - permanganate MnO_4^- / manganese (II) Mn^{2+}
 - {acetaldehyde CH_3CHO + carbon dioxide CO_2 } / lactic acid $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-CO}_2\text{H}$
 - sulfate SO_4^{2-} / bisulfite HSO_3^-
 - iodine I_2 /iodide I^-

Apparatus:**Glossary:**

- *sample* = *échantillon*
- *supernatant* = *surnageant*
- *starch indicator* = *empois d'amidon*

DOCUMENT 4

VO_{2max} : un indicateur de performance

D'après <https://www.sport-passion.fr/conseils/VO2max.php>

Un débit d'oxygène qui donne une indication du niveau de performance

Lors d'un effort physique, nos muscles ont besoin d'oxygène pour fonctionner. L'oxygène sert à transformer l'énergie stockée localement sous forme de glycogène en énergie utilisable par les fibres musculaires. Cet oxygène apporté par les poumons par le biais de la respiration est transporté jusqu'aux muscles par le sang au moyen des globules rouges.

La VO_{2max} (V pour "volume", O₂ pour « oxygène », max pour « maximal ») est l'abréviation de "consommation maximale d'oxygène". Elle représente le débit maximal d'oxygène que peut consommer l'organisme lors d'un effort. Dit autrement, c'est la quantité maximale d'oxygène que le corps est capable d'extraire de l'air, puis de transporter jusqu'aux fibres musculaires lors d'un exercice.

La consommation maximale d'oxygène est en quelque sorte au sportif ce que la cylindrée est au moteur. Plus elle est élevée, plus le sportif peut aller vite à une intensité donnée d'effort.

La VO_{2max} se mesure en millilitres par minute. Afin de permettre une comparaison entre individus, elle est souvent rapportée à l'unité de masse corporelle, donc en millilitres par minute et par kilogramme de masse corporelle.

La VO_{2max}, un indicateur de performance

La VO_{2max} donne une indication du niveau de forme et d'endurance d'un sportif. Plus sa valeur est élevée, plus le sportif est capable de maintenir un effort d'une certaine intensité sur la durée. Si le sportif augmente sa VO_{2max} par un entraînement, il pourra courir soit plus vite pour une même distance soit plus longtemps pour une même intensité.

La VO_{2max} constitue en effet une limite infranchissable en termes de débit d'oxygène. Le volume d'oxygène apporté à l'organisme augmente avec l'effort mais au-delà de la VO_{2max}, il ne peut plus augmenter. Cela ne veut pas dire pour autant que la puissance maximale développée par le sportif ou sa vitesse maximale est atteinte.

Le facteur circulatoire

La VO_{2max} dépend en quelque sorte du volume sanguin et de la quantité d'hémoglobine. Lorsqu'on augmente la quantité d'hémoglobine (exemple avec le dopage sanguin), la capacité du sang à transporter de l'oxygène s'améliore, ce qui s'accompagne d'une augmentation de la VO_{2max} pouvant atteindre environ 10 %. En revanche, un état d'anémie provoque une diminution de la VO_{2max} et donc, de la performance.

Des valeurs variant de 25 à plus de 90 mL·min⁻¹·kg⁻¹ selon les individus

La consommation maximale d'oxygène varie d'un individu à l'autre. Elle dépend du sexe, de l'âge et du niveau d'entraînement. Sa valeur varie de 25 à 70 mL·min⁻¹·kg⁻¹ chez la femme et de 30 à 90 mL·min⁻¹·kg⁻¹ chez l'homme mais peut atteindre des valeurs supérieures chez l'athlète de haut niveau.

A titre purement indicatif, elle est de l'ordre de 30 mL·min⁻¹·kg⁻¹ chez l'homme sédentaire, de 50-60 mL·min⁻¹·kg⁻¹ chez le sportif entraîné et atteint 80 à plus de 90 mL·min⁻¹·kg⁻¹ chez le sportif de haut niveau. Le record actuel est détenu par Oskar Svendsen, champion du monde du contre-la-montre juniors en 2012, avec une VO_{2max} de 97,5 mL·min⁻¹·kg⁻¹ et, chez les femmes, par la marathonnienne Joan Benoit avec une VO_{2max} de 78,6 mL·min⁻¹·kg⁻¹.

Des valeurs variant selon les sports

Les coureurs de marathon ont une VO_{2max} plus élevée que les sprinters, qui n'ont pas besoin d'une importante VO_{2max} car leur effort est rapide. Pour le marathon, il faut augmenter la durée d'utilisation de la VO_{2max} pour ne pas passer trop vite en mode anaérobie.

La filière anaérobie (sans utilisation d'oxygène) est sollicitée bien avant que le seuil de la VO_{2max} (puissance potentielle aérobie) soit atteint. Cette filière apporte aux muscles une énergie complétant celle de la filière aérobie. Au-delà du seuil anaérobie (50 à 85 % de la VO_{2max}), la production de déchets sanguins, les lactates, dépasse la capacité de l'organisme à les éliminer et contraint le sportif à diminuer sa vitesse. Pour maintenir un effort dans la durée, il doit veiller à travailler en-dessous ou à la limite du seuil anaérobie. Ce seuil détermine ses capacités d'endurance. On peut augmenter le seuil anaérobie par un travail spécifique (tout comme la VO_{2max}).

Mesures de la VO_{2max}

- **Le test de Cooper** donne une approximation de la VO_{2max}. Le test consiste à parcourir la plus grande distance en 12 minutes. On obtient la valeur de la VO_{2max} en appliquant la formule dans laquelle *d* est la distance en kilomètres :

$$VO_{2max} = 22,351 \times d - 11,288 \text{ en mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$$

- **Le test de Margaria** consiste à parcourir une distance d'au moins un kilomètre. Il faut courir au moins 10 minutes à une vitesse constante correspondant au maximum que l'on peut fournir pour tenir cette durée. On applique ensuite la formule suivante dans laquelle *d* est la distance en mètres et *t* le temps en minutes :

$$\text{Pour } d < 3000 \text{ m : } VO_{2max} = \frac{d + 30 \times t}{5 \times t} \text{ en mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\text{Pour } d > 3000 \text{ m : } VO_{2max} = \frac{d + 30 \times t}{5 \times t + 5} \text{ en mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$$

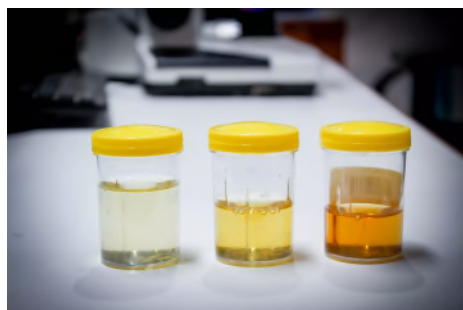
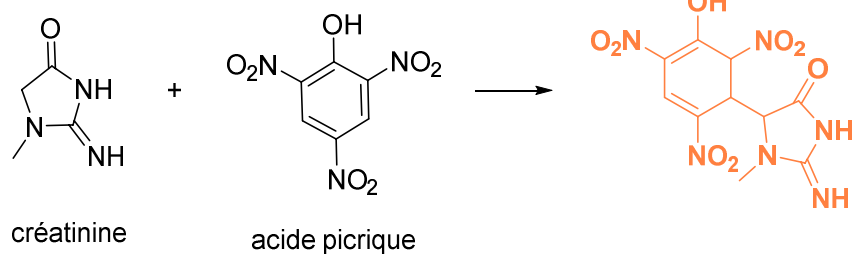
DOCUMENT 5 Dosage de la créatinine

D'après Baccalauréat Général 2015

La créatine ($M = 131,13 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$) contribue à l'apport en énergie aux cellules musculaires. Lors du fonctionnement du muscle, de la créatine se déshydrate spontanément en créatinine qui passe dans le sang avant d'être filtrée par les reins et évacuée par voie urinaire.

Le taux de créatinine sanguine est normalement constant dans l'organisme mais sa valeur dépend de la masse musculaire de l'individu : plus la masse musculaire est élevée, plus le taux de créatinine est élevé. Les valeurs attendues dans le sérum sanguin chez l'homme sont de 7 à 14 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Pour doser le taux de créatinine dans le sérum sanguin de l'athlète, on utilise la méthode de Jaffé : la créatinine réagit en milieu basique avec un excès d'acide picrique pour donner un composé orangé de picrate de créatinine. L'intensité de la couleur obtenue est directement proportionnelle à la concentration en créatinine de l'échantillon.



Source : Journal des femmes Santé

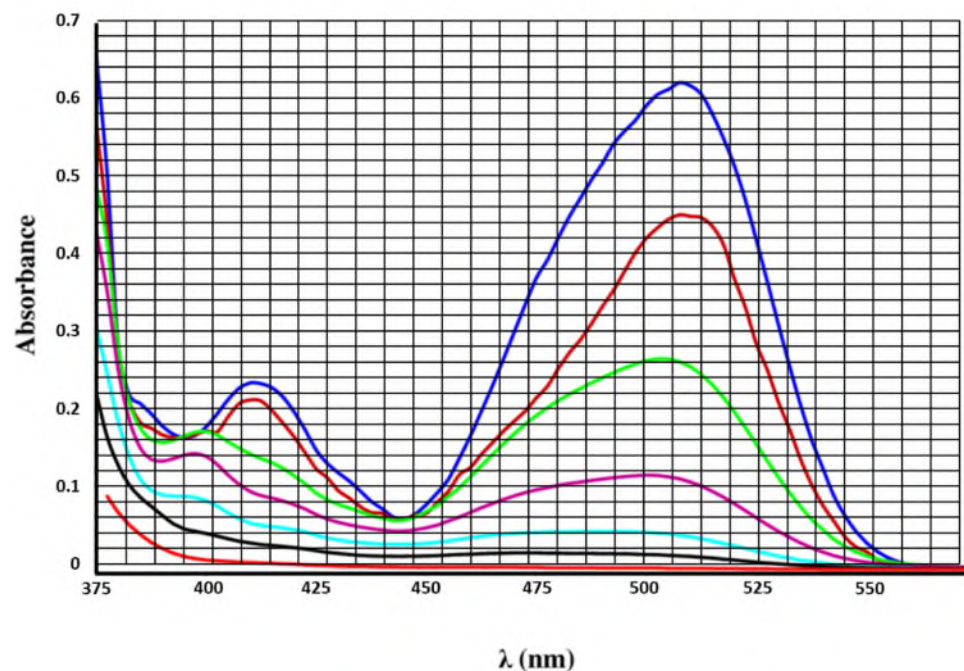
Méthode de Jaffé :

Dans un tube à essai, on mélange :

- 1,0 mL d'une solution de créatinine de concentration C ;
- 1,0 mL de solution d'hydroxyde de sodium à 5 % ;
- 1,0 mL de solution saturée d'acide picrique.

Le contenu de chaque tube est bien agité, puis est laissé au repos pendant 20 minutes. La mesure de l'absorbance de la solution obtenue dans chacun des tubes est réalisée avec un spectrophotomètre dont la longueur d'onde est réglée. On obtient les spectres d'absorption suivants :

- 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$
- 72 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$
- 42 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$
- 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$



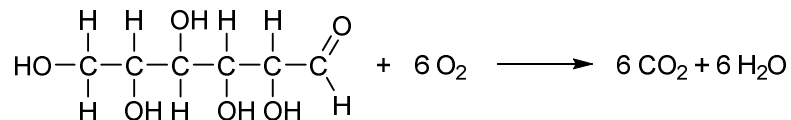
Remarque : les concentrations obtenues pour les trois spectres d'absorption non légendés correspondent à des valeurs trop faibles pour être utilisées.

Données : $M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

DOCUMENT 6**Energie consommée par un sportif**

D'après Concours G2E 2020

La respiration est un phénomène biologique complexe au cours duquel le glucose ($C_6H_{12}O_6$, $M = 180 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$) est transformé, par l'action du dioxygène, en dioxyde de carbone et en eau selon la réaction (pour 1 mole, toutes les espèces étant gazeuses) :



On considère que seulement 25 % de l'énergie produite par la respiration est convertie en travail permettant le fonctionnement des muscles. Cette énergie dissipée est compensée par l'alimentation, consommation d'abricots secs par exemple, qui restitue rapidement des glucides à l'organisme.

L'énergie apportée par un abricot est déterminée par calorimétrie. On place dans un calorimètre parfaitement adiabatique une masse d'eau $m = 500 \text{ g}$ à la température $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Un abricot sec est suspendu au bout d'une tige métallique, enflammé, puis placé rapidement dans le calorimètre. Après combustion complète, la température de l'eau atteint la valeur $T_f = 70 \text{ }^\circ\text{C}$. L'énergie Q libérée par la réaction est donnée par la formule :

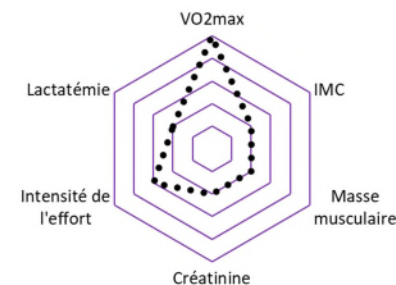
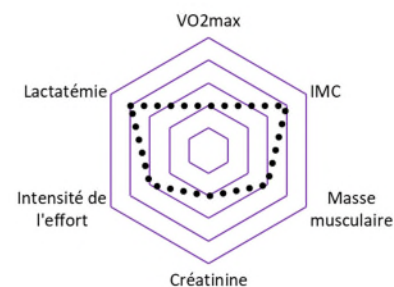
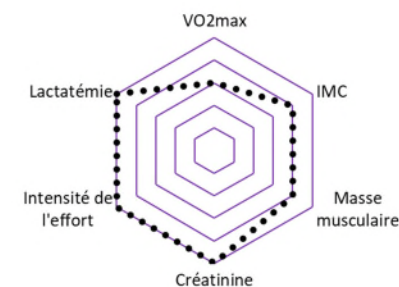
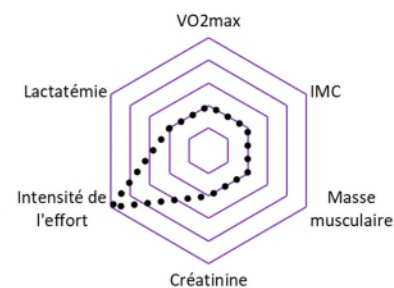
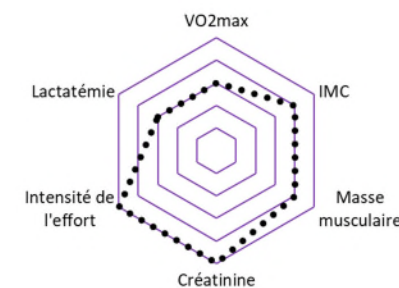
$$Q = -m \times C \times (T_f - T_i)$$

avec $C = 4,18 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ la capacité calorifique de l'eau.

Liaison A-B	Energie ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)
H-H	436
C-H	415
C-C	346
C-O	358
O-H	463
O=O	497
C=O	804

En fonction du type d'effort, la consommation de glucose varie :

Type d'effort	m_{glucose} par heure ($\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$)
Faible	238
Modéré	558
Très fort	1080

DOCUMENT 7**Profils de performance dans différents sports****MARATHON****SAUT EN HAUTEUR****50M NAGE LIBRE****TENNIS DE TABLE****HANDBALL**

DOCUMENT 8**Tests and analysis results for our 2 athletes****Athlete A**

Weight (<i>kg</i>)	60
Height (<i>cm</i>)	170
Voltage U (<i>V</i>)	0.625
Equivalence point [Wingate test] (<i>mL</i>).....	20.8
Distance covered in 15 min [VO_{2max} test] (<i>km</i>).....	5.95
Absorbance [Jaffé test].....	0.38
Number of apricots needed to compensate for the glucose consumed during an hour's exercise.....	19

Athlete B

Weight (<i>kg</i>).....	90
Height (<i>cm</i>).....	190
Voltage U (<i>V</i>)	0.750
Equivalence point [Wingate test] (<i>mL</i>).....	15.9
Distance covered in 15 min [VO_{2max} test] (<i>km</i>).....	2.92
Absorbance [Jaffé test].....	0.71
Number of apricots needed to compensate for the glucose consumed during an hour's exercise	39