

23. Énergie Métabolique

23.4.2 – Application - Marche et course en montagne

François Péronnet

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

Département de génie mécanique

Bastien Thomasset, M.Sc.A.

Antoine Brégaint, M.Sc.A.

Coralie Banon, M.Ing.

Introduction et objectifs de la capsule

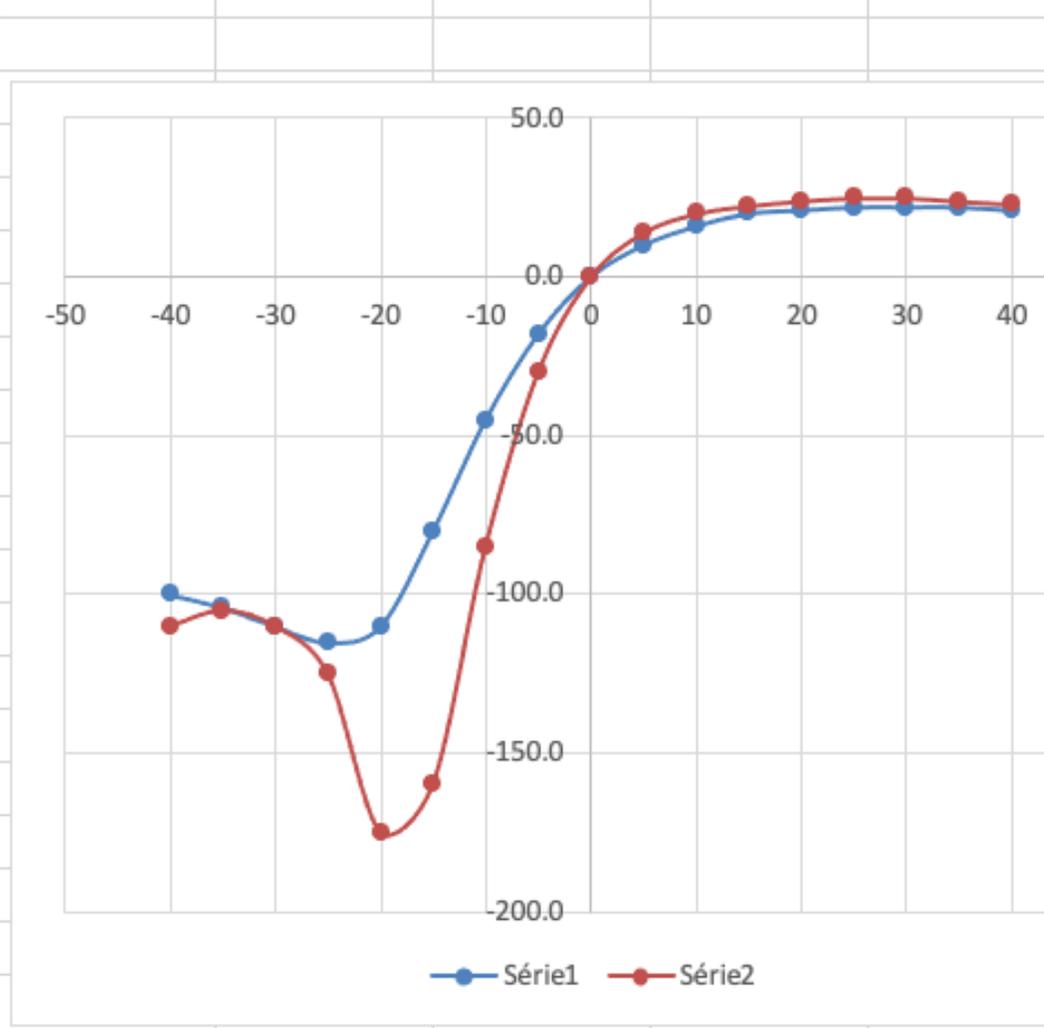
- L'objectif de cette présentation est de présenter quelques applications portant sur les concepts étudiés dans les trois premières présentations.
- Les exemples d'applications possibles sont nombreux et variés et cette présentation s'intéresse spécifiquement au sport et aux transports.
- Avec ces applications, les étudiants pourront appréhender les différentes définitions et concepts étudiés dans le but de déterminer différents paramètres énergétiques pour une application donnée.

Marche et course en montagne

- Dans cette activité, qui consiste schématiquement à monter d'une hauteur h et de redescendre au point de départ, le sujet effectue un travail positif ou négatif que l'on peut calculer. On peut ainsi estimer l'énergie métabolique à partir des valeurs (plus ou moins approximatives) du rendement (positif en montée, négatif en descente).
- On connaît assez bien la valeur de ces rendements sur tapis roulant. Le tableau et le graphique de la diapositive suivante donnent les valeurs calculées d'après les données de Minetti et al. (2002). Le rendement est en général inférieur en valeur absolue sur un terrain régulier (Emet $\times 1.2$), irrégulier (Emet $\times \sim 1.5$), sablonneux (Emet $\times \sim 1.8$), ou enneigé Emet $\times \sim 1.6$) (Givoni 1971).

Marche et course en montagne

pente %	Rmec (%)	
	course	marche
-40	-100.0	-110.0
-35	-104.0	-105.0
-30	-110.0	-110.0
-25	-115.0	-125.0
-20	-110.0	-175.0
-15	-80.0	-160.0
-10	-45.0	-85.0
-5	-18.0	-30.0
0	0.0	0.0
5	10.0	14.0
10	16.0	20.0
15	20.0	22.5
20	21.0	24.0
25	22.0	25.0
30	22.0	25.0
35	22.0	24.0
40	21.0	23.0



Marche et course en montagne

- On peut utiliser ces données pour établir le bilan énergétique d'un randonneur de 84 kg (dont le $VO_{2max\text{ spécifique}}$ est de 51 mL/kg/min) qui fait l'ascension d'un sommet qui culmine à 680 m au-dessus de son point de départ en portant un sac à dos de 8 kg, et qui en redescend. On assume que la pente moyenne est de 15% (15 m montés ou descendus pour 100 le long de la pente) et que le terrain est irrégulier.

1) Calculer la variation d'énergie potentielle (E_{mec}) lors de la montée et de la descente, en kJ.

Marche et course en montagne

2) Calculer le coût métabolique (E_{met} , en kJ) de la montée et de la descente en utilisant le rendement observé à cette pente sur tapis roulant et en y appliquant le facteur multiplicatif correspondant à un terrain irrégulier.

3) Calculer la durée de l'ascension et de la descente sachant que le sujet a soutenu une puissance aérobie relative de 54 et 15 % de son VO_{2max} à la montée et à la descente, respectivement.

4) Calculer la quantité de chaleur produite en kJ lors de la montée et de la descente.

Marche et course en montagne

1) La variation d'énergie potentielle lors de la montée s'exprime de la façon suivante :

$$E_{mec_{montée}} [J] = m[kg] * g[\frac{m}{s^2}] * \Delta h[m]$$
$$E_{mec_{montée}} = (84 + 8) * 9,81 * 680$$
$$**E_{mec_{montée}} = 613,7 kJ**$$

Pour la descente, le dénivelé étant le même (mais de signe contraire), on a :

$$**E_{mec_{desc}} = -E_{mec_{montée}} = -613,7 kJ**$$

Marche et course en montagne

2) Pour une marche à pieds dans une pente moyenne de 15%, le tableau des données obtenues par Minetti et al. (2002) indique un rendement de 22,5% en montée contre -160% en descente. On a alors (en prenant en compte le facteur correctif) :

$$E_{met_{montée}} [kJ] = 1,5[-] * \frac{E_{mec_{montée}} [kJ]}{0,225[\%]}$$

$$E_{met_{montée}} = 1,5 * \frac{613,7}{0,225} = 4\,091,4 \text{ kJ}$$

$$E_{met_{desc}} [kJ] = 1,5[-] * \frac{E_{mec_{desc}} [kJ]}{-1,6[\%]}$$

$$E_{met_{desc}} = 1,5 * \frac{-613,7}{-1,6} = 575,4 \text{ kJ}$$

Marche et course en montagne

3) Pour la montée, le $VO_{2\text{spécifique}}$ du randonneur correspond à 54% de son $VO_{2\text{max}}$:

$$VO_{2\text{spécifique}_{\text{montée}}} [\text{mL/kg/min}] = 0,54[\%] * 51[\text{mL/kg/min}] = 27,54 \text{ mL/kg/min}$$

Le coût de cet effort est déterminé sachant que l'utilisation d'un litre d'O₂ pour oxyder un mélange de substrats correspond à une dépense énergétique de 5 kcal.

$$\text{Coût}_{\text{montée}} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{min}} \right] = VO_{2\text{spécifique}_{\text{montée}}} [\text{mL/kg/min}] * \frac{5}{1000} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{mL}} \right] * (84 + 8) [\text{kg}] = 12,668 \text{ kcal/min}$$

Il est désormais possible de déduire la durée de l'effort avec la relation suivante :

$$E_{\text{met}_{\text{montée}}} [\text{kcal}] = \text{Coût}_{\text{montée}} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{min}} \right] * t_{\text{montée}} [\text{min}]$$

$$t_{\text{montée}} = \frac{E_{\text{met}_{\text{montée}}} [\text{kJ}]}{4,18 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kcal}} \right] * \text{Coût}_{\text{montée}} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{min}} \right]}$$

$$t_{\text{montée}} = \frac{4\,091,4}{4,18 * 12,668} = 77,3 \text{ min}$$

La montée est donc effectuée en environ 1 heure et 17 minutes.

Marche et course en montagne

3) Pour la descente, le $VO_{2\text{spécifique}}$ du randonneur correspond à 15% de son $VO_{2\text{max}}$:

$$VO_{2\text{spécifique}_{desc}} [\text{mL/kg/min}] = 0,15[\%] * 51 [\text{mL/kg/min}] = 7,65 \text{ mL/kg/min}$$

Le coût de cet effort est déterminé sachant que l'utilisation d'un litre d'O2 pour oxyder un mélange de substrats correspond à une dépense énergétique de 5 kcal.

$$Coût_{desc} = \left[\frac{\text{kcal}}{\text{min}} \right] = VO_{2\text{spécifique}_{desc}} [\text{mL/kg/min}] * \frac{5}{1000} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{mL}} \right] * (84 + 8) [\text{kg}] = 3,519 \text{ kcal/min}$$

Il est désormais possible de déduire la durée de l'effort avec la relation suivante :

$$E_{met_{desc}} [\text{kcal}] = Coût_{desc} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{min}} \right] * t_{desc} [\text{min}]$$
$$t_{desc} = \frac{E_{met_{desc}} [\text{kJ}]}{4,18 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kcal}} \right] * Coût_{desc} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{min}} \right]}$$
$$t_{desc} = \frac{575,4}{4,18 * 3,519} = 39,1 \text{ min}$$

La descente est donc effectuée en environ 39 minutes.

Marche et course en montagne

4) Pour la montée :

$$P_{montée} [W] = P_{montée} \left[\frac{kcal}{min} \right] * \frac{1}{60} \left[\frac{min}{sec} \right] * C_{p_{eau}} \left[\frac{J}{kg.K} \right]$$
$$P_{montée} = \frac{12,668}{60} * 4184 \text{ W}$$
$$P_{montée} = 882,5 \text{ W}$$

$$Q_{montée} [Wh] = P_{montée} [W] * t [h]$$
$$Q_{montée} = 882,5 * \frac{77,3}{60}$$
$$Q_{montée} = 1137 \text{ Wh}$$
$$Q_{montée} = 4093 \text{ kJ}$$

$$E_{chaleur\ montage} [kJ] = Q [kJ] - E_{mec\ montage} [kJ]$$
$$E_{chaleur\ montage} = 4093 - 613 \text{ kJ}$$
$$**E_{chaleur\ montage} = 3480 \text{ kJ}**$$

Marche et course en montagne

4) Pour la descente :

$$P_{desc}[W] = P_{desc} \left[\frac{kcal}{min} \right] * \frac{1}{60} \left[\frac{min}{sec} \right] * C_{p_{eau}} \left[\frac{J}{kg.K} \right]$$

$$P_{desc} = \frac{3,519}{60} * 4184 \text{ W}$$

$$P_{desc} = 245,4 \text{ W}$$

$$Q_{desc}[Wh] = P_{desc}[W] * t[h]$$

$$Q_{desc} = 245,4 * \frac{39,1}{60}$$

$$Q_{desc} = 160 \text{ Wh}$$

$$Q_{desc} = 576 \text{ kJ}$$

$$E_{chaleur_{desc}}[kJ] = Q_{desc}[kJ] - E_{mec_{desc}}[kJ]$$

$$E_{chaleur_{desc}} = 576 - (-613) \text{ kJ}$$

$$E_{chaleur_{desc}} = \mathbf{1\ 189\ kJ}$$



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

