

R 18 - 991-2

École normale supérieure de Rennes

---

**Sciences du sport et éducation physique**  
Concours d'admission en 1<sup>re</sup> année

**Session 2018**

---

**Composition écrite**  
**de sciences de la vie et de la santé**  
**appliquées aux activités physiques et sportives**  
**(SVSAPS2)**

---

**Durée : 2 heures**

Aucun document n'est autorisé  
L'usage de toute calculatrice est interdit  
Aucun dictionnaire n'est autorisé

Ce sujet comporte 4 pages.

L'exercice est divisé en trois parties pouvant être réalisées de manière indépendante.

Un cycliste amateur effectue l'ascension puis la descente d'un col. On souhaite analyser sa performance d'un point de vue biomécanique, en s'intéressant notamment à la puissance qu'il est capable de développer lors de cette ascension ou aux paramètres aérodynamiques associés à son déplacement en descente. Dans cet exercice, on définit le repère direct  $R_0 \{ \vec{x}, \vec{y}, \vec{z} \}$  tel que  $\vec{x}$  est parallèle à la pente et  $\vec{y}$  est perpendiculaire à la pente (figures 1 à 3). Les frottements de l'air évoluent de manière quadratique avec  $V$  la vitesse du cycliste, selon l'expression  $F_{\text{air}} = K.V^2$  (vent nul). On note  $M$  la masse totale du système « cycliste + vélo ».

**Données numériques :**

Masse du cycliste :  $m_c = 70 \text{ kg}$

Masse du vélo :  $m_v = 10 \text{ kg}$

Accélération de la pesanteur :  $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$

Coefficient de frottement aérodynamique (lors de l'ascension du col) :  $K = 0.15$  (unité SI)

Coefficient de frottement de roulement :  $\mu = 0.005$

$\cos 4^\circ \approx 1$  ;  $\sin 4^\circ \approx 0.07$  ;  $\text{Arcsin}(0.07) \approx 0.07 \text{ rad} \approx 4^\circ$  ;  $\tan(4^\circ) \approx 0.07$

$\cos 5.7^\circ \approx 1$  ;  $\sin 5.7^\circ \approx 0.1$  ;  $\text{Arcsin}(0.1) \approx 0.1 \text{ rad} \approx 5.7^\circ$  ;  $\tan(5.7^\circ) \approx 0.1$

**Partie 1 : Analyse de l'effort en montée**

Dans cette première partie, le cycliste effectue l'ascension d'un col à une vitesse constante de  $10.8 \text{ km.h}^{-1}$  en un temps de 2h. Le dénivelé total du col est de  $H=1500\text{m}$  (figure 1).

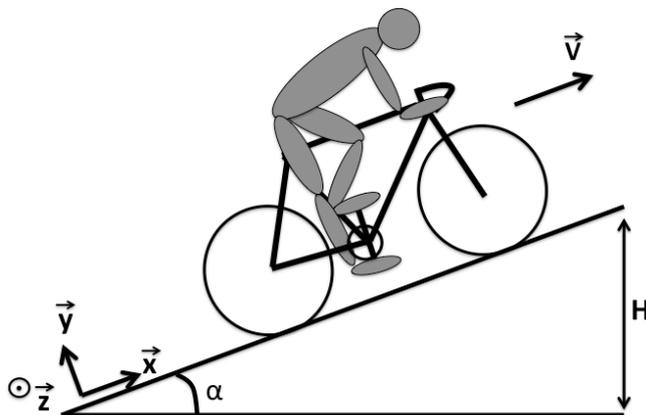


Figure 1: Repère et notations associés à l'ascension du col.

1. Exprimez :
  - a. la distance ( $L$ ) parcourue par le cycliste,
  - b. l'angle moyen ( $\alpha$ ) de la route par rapport à l'horizontale,
  - c. la pente (en pourcentage). On rappelle que la pente s'exprime comme le rapport entre le dénivelé ( $H$ ) et la distance horizontale ( $d$ ) parcourue.
2. Faites le bilan détaillé des forces externes appliquées au système « cycliste+vélo ».
3. On s'intéresse à la force nécessaire pour déplacer le système « cycliste+vélo ».
  - a. Exprimez de manière littérale cette force motrice développée par le cycliste.
  - b. Appliquez numériquement. Quel est l'effet d'un angle  $\alpha$  nul sur la force développée ?
4. Quelle est la puissance moyenne développée par le cycliste lors de l'ascension? Calculez la puissance de chacune des forces externes s'appliquant au système. Donnez un ordre de grandeur des proportions de chacune de ces puissances à la puissance totale développée. Discutez.
5. Pour cette même puissance, on se demande quelle serait la vitesse de déplacement du cycliste sur le plat. Montrez que la réponse à cette question implique la résolution d'une équation du 3<sup>ème</sup> degré de la forme :  $a.V^3 + b.V + c = 0$  où  $a$ ,  $b$  et  $c$  sont des nombres réels. Définissez les valeurs de  $a$ ,  $b$  et  $c$ . La résolution de cette équation donne  $V \approx 9.88\text{m.s}^{-1}$ .

## Partie 2 : Analyse de l'équilibre statique précédant la descente

Après une pause, le cycliste se positionne face à la descente et se maintient en équilibre sur son vélo, à l'arrêt en utilisant ses freins. On suppose que dans cette situation, les frottements de l'air sont négligeables.

6. Pour analyser l'équilibre du cycliste, on souhaite calculer la position de son centre de masse. On dispose pour cela du tableau anthropométrique ci-dessous (tableau 1), et des coordonnées des centres de masse segmentaires concernant la cuisse, le pied et la jambe :  $G_{\text{cuisse}} (x_c; y_c)$ ,  $G_{\text{jambe}} (x_j; y_j)$  ;  $G_{\text{pied}} (x_p; y_p)$ . Donnez l'expression littérale des coordonnées du centre de masse pour l'un des membres inférieurs. Cette expression dépend-elle de la masse du cycliste ?

Segment	(Masse segmentaire / masse corporelle) * 100
Tête-cou-tronc	53,4
Un bras	2.5
Un avant-bras	1.5
Une main	0.6
Une cuisse	12
Une jambe	5.5
Un pied	1.2

Tableau 1 : Masse des segments en pourcentage de la masse corporelle.

7. On suppose que la réaction du sol se répartit de manière identique entre les deux roues du vélo ( $\vec{R}/2$ ) (figure 2). On suppose également que les freins engendrent une action ( $\vec{f}_{\text{frein}}$ ) qui s'applique à une distance  $r_{\text{frein}}$  de manière perpendiculaire au rayon de la roue. On note I le centre de la roue,  $R_{\text{roue}}$  le rayon de la roue, A le point d'application de  $\vec{R}/2$  et B le point d'application de  $\vec{f}_{\text{frein}}$ .
- On s'intéresse dans un premier temps au système « cycliste + vélo ». Faites le bilan des forces externes appliquées à ce système.
  - Montrez que dans cette situation d'équilibre pour le système « cycliste + vélo », la composante tangentielle de la force de réaction du sol s'écrit :  

$$T = M \cdot g \cdot \sin \alpha.$$
  - On s'intéresse maintenant au système « roue ». Faites le bilan des forces externes appliquées à ce système.
  - En partant de la relation de l'équilibre en rotation par rapport au point I pour le système « roue », montrez que l'action  $f_{\text{frein}}$  exercée par un frein peut s'écrire sous la forme :  

$$f_{\text{frein}} = \frac{M \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot R_{\text{roue}}}{2 \cdot r_{\text{frein}}}$$
  - Que peut-on déduire concernant l'effet de l'angle  $\alpha$  sur  $f_{\text{frein}}$  ?

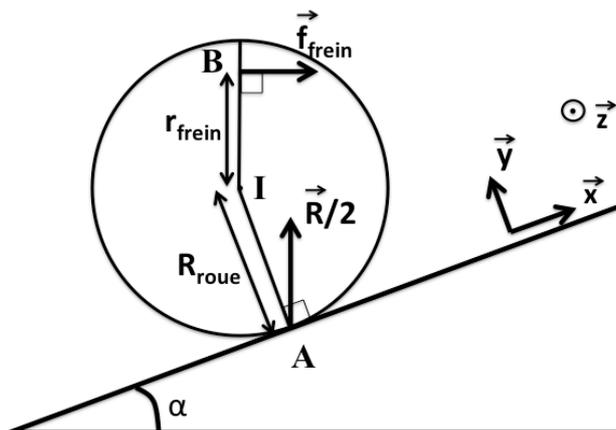


Figure 2 : Schéma d'une roue à l'équilibre dans la pente. Représentation de la réaction du sol ( $\vec{R}/2$ ) et de la force associée à l'action d'un frein ( $\vec{f}_{\text{frein}}$ ).

### Partie 3 : Analyse aérodynamique lors de la descente

On souhaite déterminer expérimentalement le coefficient caractéristique ( $K$ ) du frottement de l'air en situation de descente du col. Une méthode simple consiste à laisser le cycliste descendre la pente (sans pédaler), en partant d'une vitesse nulle et en maintenant une posture aérodynamique (figure 3). Lors de ce test, le cycliste atteint une vitesse limite ( $V_{lim}$ ) mesurée par un capteur embarqué. Il est alors possible de déduire  $K$ .

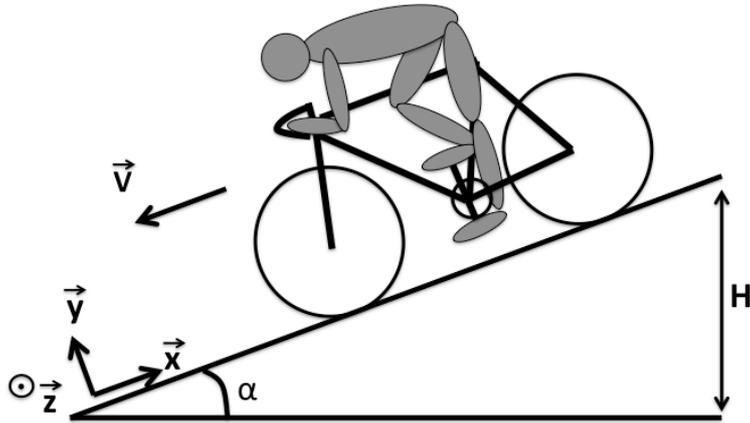


Figure 3: Repère et notations associés à la descente.

8. Pourquoi le cycliste atteint-il une vitesse limite ? Argumentez.
9. Quelle est l'unité de  $K$  ? Définissez les paramètres mécaniques englobés dans  $K$ .
10. On souhaite faire l'estimation du paramètre  $K$ .
  - a. A l'aide de la relation fondamentale de la dynamique, exprimez  $K$  en fonction de  $M$ ,  $g$ ,  $\alpha$ ,  $\mu$  et  $V_{lim}$ .
  - b. Discutez le type de relation entre  $V_{lim}$  et  $K$ .
  - c. Donnez la valeur numérique de  $K$  pour une vitesse limite mesurée à  $72\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Le cycliste est-il mieux profilé que lors de l'ascension du col ?

Fin du sujet

---