



Examen CCF2 de Biomécanique du mouvement

Document autorisés : aucun

IMPORTANT : Calculatrice interdite.

Exercice 1.

Dans tout cet exercice (sauf pour les questions 3a et 4a), on établira d'abord les formules littérales, avant de proposer les formules numériques (sans toute fois les évaluer, sauf pour la question 1c!).



Photo extraite de http://fr.wikipedia.org/wiki/Ski_de_fond

Dans cet exercice, on étudie le mouvement d'un skieur de fond, qui évolue en skating (c'est-à-dire, en « pas de patineur »).

- (1) On suppose tout d'abord dans cette question que le skieur rejoint la piste de ski de fond en empruntant un sentier plat, avec une neige poudreuse, fraîchement tombée.
 - (a) Si le skieur marche dans la neige, expliquer brièvement pourquoi la force maximale qu'il exerce sur la neige est son propre poids.
 - (b) On suppose que la masse du skieur tout équipé est donnée par

$$M = 80 \text{ kg.} \quad (1)$$

On choisira la constante de gravité donnée par

$$g = 10 \text{ ms}^{-2}. \quad (2)$$

En assimilant la surface d'une chaussure à un rectangle de dimensions respectivement égales à $l = 10 \text{ cm}$. et $L = 30 \text{ cm}$., déterminer la pression exercée par le skieur sur la neige.

- (c) Calculer (mentalement !) la surface d'une chaussure du skieur, d'une raquette de dimensions $l = 30 \text{ cm}$ et $L = 60 \text{ cm}$ et d'un ski de fond de skating de dimensions $l = 8 \text{ cm}$ et $L = 180 \text{ cm}$.
- (d) Conclure en comparant les pressions exercées par ce skieur dans le cas où il marche avec ses chaussures, des raquettes ou des skis (en supposant dans ce cas qu'il marche dans la poudreuse, sans faire de pas de patineur).
- (2) On suppose maintenant que le skieur a chaussé ses skis et s'élance sur la piste fraîchement dammée, qui s'élève doucement et régulièrement avec une pente égale à $p = 0.070000 = 7\%$.

En supposant que la pente de la piste est égale à la pente (mathématique) de la droite, quel est l'angle β entre l'horizontale et le plan incliné que forme cette piste.

(3)



FIGURE 1. Deux skieurs de fond en skating en phase 2 (à gauche de la photo). Sur la figure, les vecteurs \vec{v}_0 ont été représentés par des flèches et l'axe médian de la piste par un segment. Photo extraite de http://restodevoluyfestre.free.fr/sport_montagne_location_ski_de_fond_nordique_raquettes_snowkite.htm

Le skieur avance maintenant en adoptant la technique du pas de patineur avec un pas « deux temps » : c'est le pas standard qui se compose d'une poussée de bras pour deux poussées de jambe. On supposera que la poussée de bras se produit généralement simultanément à la poussée de jambe. Le mouvement se décompose donc, approximativement en deux phases :

- phase 1* Dans un premier temps, le skieur lance sa jambe gauche sur le côté, en prenant appuis d'abord sur les carres de son ski droit ; durant cette phase, il se propulse aussi en prenant aussi appuis sur ses batons.

-*phase 2* Ensuite, réciproquement, le skieur lance sa jambe droite sur le coté, en prenant appuis d'abord sur son ski gauche ; durant cette phase, il n'appuie plus sur ses batons. Voir figure 1 page ci-contre.

Dans cette question, on étudie la phase 2. Nous supposons pour simplifier, qu'une fois que sa jambe droite est lancée, son ski gauche a quitté le sol. *Ainsi, on assimilera le mouvement de ce skieur au mouvement d'un solide indéformable, lancé avec une vitesse initiale \vec{v}_0 , et amené à avoir une trajectoire rectiligne, guidée par son ski. Il n'est soumis qu'à la réaction du sol sur le ski. On négligera les forces de frottement de la neige sur le ski.*

- Expliquement brièvement comment déterminer la réaction d'appui du sol sur les skis durant cette phase.
- Expliquement brièvement comment déterminer l'action du pied droit sur la jambe durant cette phase.
- Si v_0 désigne la norme de la vitesse le long de la direction du ski, quelle est la valeur de la norme de la vitesse le long de l'axe médian de la piste ?
- On peut donc appliquer le mouvement d'un solide sur un rail, qui fait un angle γ avec l'horizontale, vu en cours. On note x l'abscisse de ce solide sur l'axe porté par le rail. On rappelle alors que les lois de la chute libre s'appliquent :

$$a_x(t) = -(\sin \gamma)g, \quad (3a)$$

$$v_x(t) = -(\sin \gamma)gt + v_0, \quad (3b)$$

$$x(t) = -\frac{1}{2}(\sin \gamma)gt^2 + v_0 t. \quad (3c)$$

Déterminer le demi-temps de vol t .

On prendra

$$\gamma = 3.467^\circ, \quad (4a)$$

$$v_0 = 6.928 \text{ km/h}. \quad (4b)$$

- En déduire la distance maximale parcourue par le skieur dans la phase 2, en supposant qu'elle s'arrête lorsque le ski lancé s'arrête lui aussi.
 - En la réalité, la distance maximale parcourue est plus faible. Pourquoi ?
- (4) Dans cette question, on étudie toujours la phase 2, d'un point de vue énergétique.
- Expliquer brièvement comment déterminer la hauteur du centre de gravité du sportif.
 - En prenant comme altitude de référence la position de centre de gravité du sportif, calculer l'énergie potentielle du sportif au début et à la fin du mouvement correspondant à la phase 2, c'est-à-dire au moment où il élance sa jambe droite et au moment où son ski droit s'immobilise.
 - Calculer l'énergie cinétique du sportif au début et à la fin du mouvement.
 - En déduire la variation d'énergie totale entre le début et la fin du mouvement.
 - Est-elle nulle ? Pourquoi ?
- (5) Dans cette question, on suppose maintenant que l'on ne néglige plus les frottements du sol sur les ski.

- (a) Est-ce que la variation d'énergie totale est nulle dans ce cas ?
- (b) La distance maximale parcourue par le skieur dans la phase 2 sera-t-elle plus faible ou plus grande que dans le cas sans frottement ?
- (6) Le skieur a maintenant fini de monter la pente et descend cette fois-ci une pente régulière de pente $p = 0.050000 = 5\%$.
- (a) Décrire de façon qualitative (sans aucun calcul) ce qui a va lui arriver si on prend en compte cette fois-ci à la fois les frottements dus à la neige et à l'air.
- (b) On peut montrer que le sportif peut atteindre en théorie une vitesse limite égale à

$$v_l = 60.54600 \text{ km/h} \quad (5)$$

Est-ce raisonnable pour un fondeur ? Que doit-il faire avant d'atteindre cette vitesse ? Serait-ce raisonnable s'il était en ski alpin ?

Exercice 2.

Un plongeur en mer plonge avec son équipement suivant :

- un bloc (bouteille) d'air de volume extérieur $V_1 = 25 \text{ l.}$ et de masse $M_1 = 12 \text{ kg.}$
- une combinaison en néoprène de volume $V_2 = 3.331979 \text{ l.}$ et de masse $M_2 = 4.098334 \text{ kg.}$
- son propre corps (!) de volume extérieur $V_3 = 74.766 \text{ l.}$ et de masse $M_3 = 80.000 \text{ kg.}$
- ses plombs.

On négligera les autres composants (masques, palmes, ...).

- (1) En négligeant le volume des plombs, déterminer la masse de plomb qu'il doit prendre pour avoir une masse apparente nulle ; on considèrera que la masse volumique de l'eau est 1 kg/l.
- (2) Refaire le même calcul en considérant cette fois le volume des plombs. On donne la masse volumique du plomb : $\mu_p = 11.350000 \text{ kg/l.}$ Commenter.
- (3) En fait, la masse des blocs M_1 prend en compte la masse de métal invariable¹ et la masse de l'air enfermé.

Expliquer de façon qualitative ce qu'il se passe au cours de la plongée. Comment remédier à cet inconvénient ?

- (4) *Question facultative*

Si on assimile le volume extérieur de la bouteille à son volume intérieur, calculer la masse d'air dans la bouteille si la pression de mise en bouteille (faite à pression atmosphérique) est donnée par $P = 200 \text{ bar.}$ On donne la masse volumique de l'air à pression atmosphérique :

$$\mu_0 = 1.30 \cdot 10^{-3} \text{ kg/l.} \quad (6)$$

Corrigé

Un corrigé sera disponible sur <http://utbmjb.chez-alice.fr/UFRSTAPS/index.html>

1. Sauf si le plongeur tombe nez-à-nez avec des voleurs de métaux, prêts à nager à 20 m. de fond en apnée.