

## Sujet d'entraînement n° 12

## Induction

## Physique du skeleton

Le skeleton est un sport d'hiver qui se pratique dans un couloir de glace en pente : le coureur s'allonge sur une planche qui glisse sur la glace en prenant appui sur des patins.

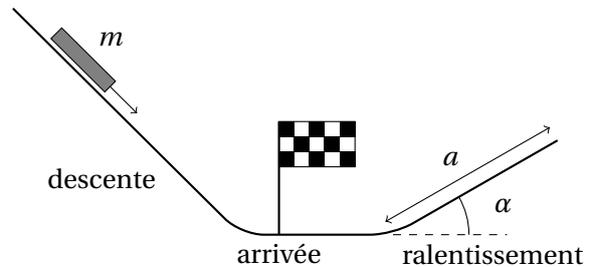


FIGURE I-1 – Skeleton

## 1 Question préliminaire

L'ensemble coureur + skeleton est assimilé à un solide de masse  $m = 100 \text{ kg}$  pouvant glisser sans frottement. Il franchit la ligne d'arrivée avec une vitesse  $v_0$  et se ralentit simplement en montant une pente faisant un angle  $\alpha$  avec l'horizontale (cf. figure I-1).

Déterminer la longueur  $a$  de piste nécessaire au ralentissement.

Application numérique : on prendra  $v_0 = 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  et  $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  et on considérera une pente de 5 %.

L'infrastructure ne se prêtant pas à la réalisation d'une piste inclinée de décélération, on envisage un freinage électromagnétique.

## 2 Freinage du skeleton

On fixe sous la planche un cadre métallique conducteur ayant la forme d'un rectangle de côtés  $\ell \times L$  comme indiqué figure I-2

La piste de décélération est horizontale; on considérera un référentiel  $(Oxyz)$  galiléen lié au sol : l'origine  $O$  est prise au point d'arrivée, l'axe  $Ox$  le long de la piste de décélération (qui correspond donc à  $x > 0$ ), l'axe  $Oy$  selon la verticale ascendante. Un dispositif adéquat crée un champ magnétique  $\vec{B} = B_0 \vec{e}_y$  stationnaire et uniforme sur toute ou partie de la longueur de la piste de décélération (et sur toute la largeur de la piste).

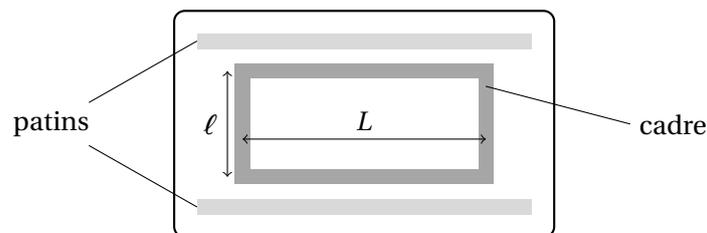


FIGURE I-2 – Skeleton vu de dessous

□ 1 — Le champ magnétique est étendu à toute la zone  $x > 0$  comme représenté figure I-3.

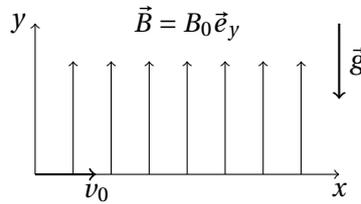


FIGURE I-3 – Champ magnétique sur la zone  $x > 0$

**1.a)** La position du cadre est repérée par l'abscisse  $x$  de son extrémité avant et on suppose  $x = 0$  à  $t = 0$ . Établir l'équation différentielle à laquelle obéit la vitesse  $v = dx/dt$ ; on distinguera deux phases dans le mouvement.

Mettre en évidence un temps caractéristique  $\tau$  que l'on exprimera en fonction de  $B_0$ ,  $m$ ,  $\ell$  et  $R$  (résistance du cadre).

**1.b)** Déterminer  $x(t)$  pendant la phase de décélération et montrer que l'engin ne stoppe qu'à condition que  $L$  soit supérieure à une certaine valeur que l'on précisera. Montrer par une application numérique que ceci n'est pas réalisé et déterminer la vitesse finale du skeleton. En tout état de cause serait-il réaliste de n'envisager que ce freinage pour arrêter l'appareil?

On donne  $\ell = 30$  cm,  $L = 50$  cm,  $B = 1,0$  T et  $R = 1,0 \times 10^{-2} \Omega$ .

**□ 2** — On suppose à présent que le champ magnétique (stationnaire et uniforme) n'est non nul que dans la zone comprise entre  $x = 0$  et  $x = d$  comme indiqué figure I-4.

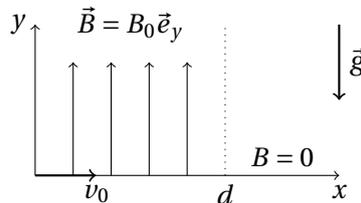


FIGURE I-4 – Champ magnétique sur la zone  $0 < x < d$

**2.a)** Si  $L \geq d$ , montrer qualitativement qu'il existe deux phases de freinage séparées par une phase où la vitesse reste constante et déterminer la vitesse à l'issue des deux phases de freinage.

**2.b)** Même question si  $L \leq d$ .

**2.c)** Quelle valeur donner à  $d$ , en fonction de  $L$ , pour optimiser le freinage?

**□ 3** — On place  $N$  zones de freinage identiques à la précédente, séparées les unes des autres d'une distance  $D$ . Quelle doit être la distance  $D$  pour encore une fois optimiser le freinage?

Quelle valeur donner à  $N$  pour stopper le skeleton? En déduire la distance d'arrêt et comparer sa valeur numérique aux valeurs trouvées à la question 1 et à la question préliminaire.

**□ 4** — **Applications numériques**

**4.a)** Quelle est la durée de chaque phase de freinage? Quelle devrait être la durée totale du freinage? Conclusion.

**4.b)** On peut alors choisir un freinage « hybride » : freinage électromagnétique d'abord jusqu'à ce que la vitesse soit  $v_1 = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , puis freinage mécanique ensuite. Déterminer la durée du freinage électromagnétique ainsi que le nombre de zones de champ nécessaire.