EXERCICE II – Mesure de vitesses : DU K.L. au laboratoire de physique (6 points)

Le kilomètre lancé (K.L.) ou ski de vitesse est une discipline dans laquelle l'objectif est d'atteindre la plus grande vitesse possible sur une piste. Il ne se passe pas une année sans qu'un nouveau record ne soit établi.

252,632 km/h : nouveau record de vitesse pour le skieur Simone Origone

« Impossible, 252,632 km/h ? Un homme ne peut pas se déplacer aussi vite, quelqu'un a dû appuyer sur « avance rapide ». Et pourtant. C'est bien la vitesse atteinte vendredi 3 avril par Simone Origone qui, pour y parvenir, s'est servi d'un instrument complexe : une paire de skis. Et d'un moteur surpuissant : la gravité. L'Italien de 35 ans a battu son propre record du monde de vitesse à ski (252,454 km/h), réussi le 31 mars 2014. »

D'après un article du site lemonde.fr du 3 avril 2015

Caractéristiques de la piste de Chabrières

Comme toutes les pistes de ski de vitesse, la piste de Chabrières comporte trois zones : une zone d'élan, une zone de chronométrage et une zone de freinage. Le départ est situé à une altitude $h_1 = 2715$ m. Le skieur accélère sur une distance de 450 m avant d'arriver dans la zone de chronométrage où l'on mesure le temps mis pour parcourir une distance $D = 100$ m. À la sortie de cette zone de chronométrage, le skieur décélère progressivement dans la zone de freinage.

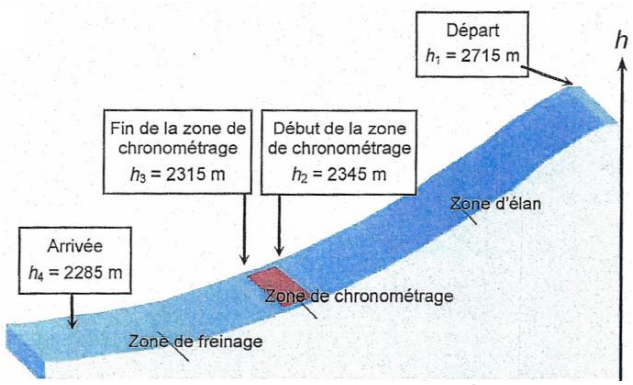


Figure 1. Profil de la piste de Chabrières et altitudes *h* de quelques points.
D'après http://www.vars-chalet.com/

Données :

- intensité du champ de pesanteur terrestre : $g = 9{,}81$ m.s^{-2} ;
- masse du skieur avec son équipement : $M = 110$ kg.

Le système est composé du skieur et de son équipement ; l'étude est conduite dans le référentiel terrestre que l'on supposera galiléen.

1. Vitesse maximale

1.1. Dans l'article, il est dit que le skieur utilise « un moteur surpuissant : la gravité ». Justifier qu'au cours de la descente le travail du poids du skieur est « moteur », c'est-à-dire positif.

1.2. En considérant que la valeur de la vitesse du skieur au départ est nulle et que l'énergie mécanique du système se conserve, montrer que la valeur de la vitesse atteinte par le skieur au début de la zone de chronométrage est égale à 85 m.s^{-1}.

1.3. Comparer la valeur de cette vitesse à celle réellement atteinte par S.Origone en avril 2015. Proposer une explication de la différence observée.

2. Les frottements de l'air

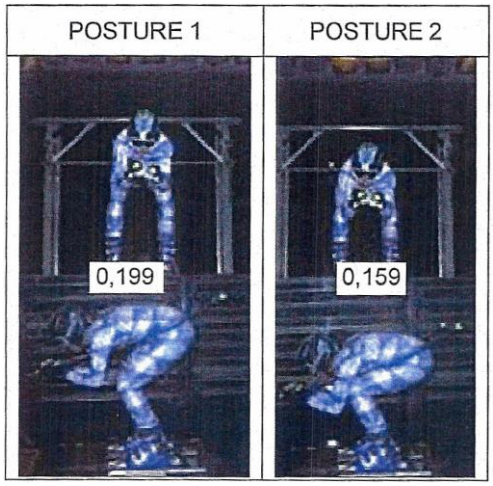
L'expression suivante permet de calculer la valeur F_{air} de la force de frottement de l'air s'exerçant sur un skieur en mouvement :

$$F_{air} = 0{,}5 \times \rho_{air} \times S \times k \times v^2$$

Avec :

- ρ_{air} la masse volumique de l'air en kg.m^{-3} ;
- v la vitesse du skieur en m.s^{-1} ;
- S (en m^2) la surface occupée par le skieur dans un plan perpendiculaire à son déplacement ;
- k le coefficient de trainée qui dépend de la posture du skieur et de son équipement.

Au cours de son mouvement dans la zone d'élan, le skieur peut adopter différentes postures. À chacune d'elles correspond une valeur du produit S × *k.* Le document ci-dessous donne les valeurs du produit S × *k,* en unité de base du système international, pour différentes postures d'un skieur.



D'après un document du département sportif et scientifique de la Fédération Française de Ski

2.1. Montrer que *k* est une grandeur sans unité. Quelle sera alors l'unité du produit *S* × *k* ?

2.2. Si on considère que le coefficient de trainée *k* reste constant entre les deux positions, proposer une explication qualitative à la diminution du produit *S* × *k* observée pour les postures 1 et 2.
En vous basant sur le document ci-dessus, évaluer la valeur de la surface *S* pour la posture 2 et donner un ordre de grandeur de la valeur de *k.*

2.3. Parmi les postures proposées, indiquer celle qui permettra au skieur d'atteindre la plus grande vitesse au début de la zone de chronométrage. Justifier.

2.4. Pour une posture donnée, expliquer comment évolue la valeur de la force de frottement de l'air F_{air} lorsque la vitesse du skieur augmente. Justifier.

3. Mesure des records et métrologie

3.1. Calculer la durée t_c du passage du skieur dans la zone de chronométrage de distance *D*.

3.2. Donner deux sources d'erreurs possibles pour la mesure de vitesse d'un skieur de kilomètre lancé.

3.3. Justifier à l'aide du texte d'introduction pourquoi il est nécessaire de faire des mesures précises pour distinguer les différents records de vitesse.

3.4. Estimer la précision relative sur la mesure de la vitesse du skieur.