Inde 2004 EXERCICE I. CHUTE LIBRE ET PARACHUTISME (6 points)

Cet exercice vise dans un premier temps à analyser quelques informations extraites d'un document Internet relatif au projet de "Grand Saut" du parachutiste Michel Fournier et dans un deuxième temps à étudier un saut en parachute plus classique.

Les deux parties A et B sont indépendantes.

PARTIE A - Le grand saut

D'après l'édition Internet du vendredi 12 juillet 2002 du Quotidien Québécois Le Devoir.

Paris - Michel Fournier, 58 ans, ancien instructeur parachutiste de l'armée française, a annoncé hier son intention d'effectuer en septembre un saut en chute libre de 40 000 mètres d'altitude au dessus du Canada.
"Ce qui m'intéresse au premier chef, c'est le record et le challenge physique que représente ce saut", a déclaré Michel Fournier à Paris.

Pour réaliser cet exploit, il sera équipé d'une combinaison pressurisée proche de celles utilisées par les astronautes, mais modifiée pour résister à des températures extrêmement basses (moins 110 degrés Celsius) et équipée d'un parachute.

Il atteindra l'altitude de 40 000 mètres en trois heures environ, à bord d'une nacelle, elle aussi pressurisée, et tirée par un ballon gonflé à l'hélium.

La durée du saut est évaluée à six minutes vingt-cinq secondes.

En l'absence de pression atmosphérique, Fournier dépassera la vitesse du son (1067 kilomètres/heure) trente secondes environ après son départ en position verticale. Il sera ensuite progressivement freiné dans sa chute par la densification de l'air. Il pourra alors reprendre une position horizontale et ouvrir son parachute à une altitude de 1000 mètres. Pour des raisons de sécurité, le saut aura lieu dans le nord du Canada, au-dessus de la base de Saskatoon, dans une zone où la densité de population est très réduite. Le record est actuellement détenu par l'Américain Joseph Kittinger, qui, en août 1960, avait sauté d'une nacelle à 30840 mètres.

1 - L'intensité de la pesanteur (début du saut)

1.1 - Le système constitué par le parachutiste et son équipement subit, de la part de la Terre, une force de gravitation $\vec{F}$. Exprimer littéralement la valeur F de cette force en fonction de la masse de la Terre M_T , du rayon de la Terre R_T , de la constante de gravitation universelle G, de la masse m du système et de son altitude h.

1.2 - On assimile le poids à la force de gravitation. En déduire l'expression littérale de l'intensité g de la pesanteur à l'altitude h.

1.3 - Calculer l'intensité de la pesanteur à l'altitude 40 km.

Données : $M_T = 5{,}97\times10^{24}$ kg $\quad R_T = 6{,}37\times10^{3}$ km $\quad G = 6{,}67\times10^{-11}$ unité S.I.

2 - La chute libre (début du saut)

Au début du saut, la pression atmosphérique est très faible: l'air est raréfié et son action sur le parachutiste peut être négligée.

On admettra pour cette question que l'intensité de la pesanteur est constante, de valeur égale à $\mathbf{g = 9,7\ N.kg^{-1}}$. On précise que la vitesse initiale est nulle.

2.1 - Qu'appelle-t-on une chute libre ?

2.2 - Établir l'expression de l'accélération du parachutiste lors de cette phase du saut.

2.3 - Établir la relation liant la vitesse v atteinte à la durée de chute t. Vérifier que la durée de chute t_1 permettant d'atteindre la "vitesse" du son (soit $v_1 = 1067\ km.h^{-1}$) est bien celle présentée dans le texte.

2.4 - Établir la relation liant la distance x parcourue à la durée de chute. Calculer la distance x_1 parcourue quand la "vitesse" du son est atteinte. Quelle est alors l'altitude h_1 du parachutiste ?

3. Les conditions de température

3.1 - A propos du son, le terme de célérité est préférable à celui de vitesse. Expliquer.

3.2 - En admettant que la célérité du son est proportionnelle à la racine carrée de la température absolue, déterminer la température θ_1 de l'atmosphère correspondant à une célérité $v_1 = 1067\ km.h^{-1}$.

Données : célérité du son : $v_0 = 1193\ km.h^{-1}$ à $\theta_0 = 0°\ C$
$T = \theta + 273$ (θ température en °C, T température absolue en K)

PARTIE B : Le saut classique

Le parachutiste et son équipement (système étudié) ont au total une masse m = 80 kg. On supposera que le parachutiste s'élance sans vitesse initiale d'un ballon immobile situé à 1000 m d'altitude. Le saut se déroule en deux phases.

1 - Première phase

Lors de la première phase, le parachute n'est pas déployé. L'action exercée par l'air peut être modélisée par une force de valeur exprimée par $F = kv^2$ *avec k = 0,28 S.I. (unités du système international). La poussée d'Archimède due à l'air sera supposée négligeable. L'intensité de la pesanteur sera considérée comme constante et de valeur* $\boldsymbol{g_0 = 9,8\ N.kg^{-1}}$.

1.1 - Déterminer l'unité du coefficient k (en utilisant les unités fondamentales du système international).

1.2 - Effectuer le bilan des actions exercées sur le système et établir l'équation différentielle relative à l'évolution de la vitesse du système au cours du temps. Montrer qu'elle correspond numériquement à

$$\frac{dv}{dt} = 9,8 - 0,0035 \times v^2 .$$

1.3 - La courbe d'évolution de la vitesse au cours du temps est représentée en **annexe 1 à rendre avec la copie.**

1.3.1 - Déterminer la vitesse limite et le temps caractéristique de ce mouvement.

1.3.2 - Comment peut-on retrouver, à partir de ce document, une valeur approchée de l'intensité de la pesanteur ?

1.4 - La courbe précédente a en fait été obtenue par résolution de l'équation différentielle précédente par la méthode numérique itérative d'Euler. Un extrait de la feuille de calcul est représenté ci-dessous.

Date t (s)	Vitesse v ($m.s^{-1}$)	Accélération a = dv/dt ($m.s^{-2}$)
0,00	0,00	9,80
0,10	0,98	9,80
0,20	1,96	9,79
0,30	2,94	9,77
0,40	3,92	9,75
0,50	4,89	9,72
0,60	5,86	9,68
0,70	6,83	9,64

1.4.1 - Quel est le pas Δt utilisé pour les calculs ?

1.4.2 - Expliquer la méthode d'Euler en effectuant les calculs de l'accélération à la date t_4 = 0,40 s et de la vitesse à la date t_5 = 0,50 s.

1.5 - Sur le document fourni en **annexe 1 à rendre avec la copie**, est également représentée l'évolution de la position x au cours du temps. Déterminer à quelle date le parachutiste atteindrait le sol s'il n'ouvrait pas son parachute.

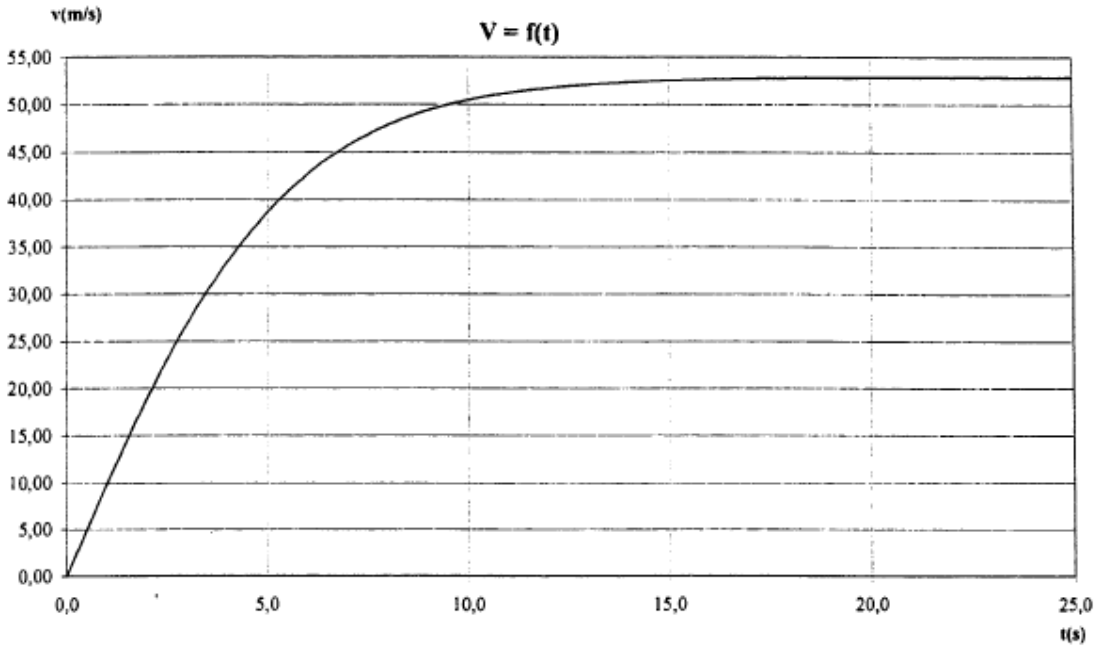
2 - Deuxième phase

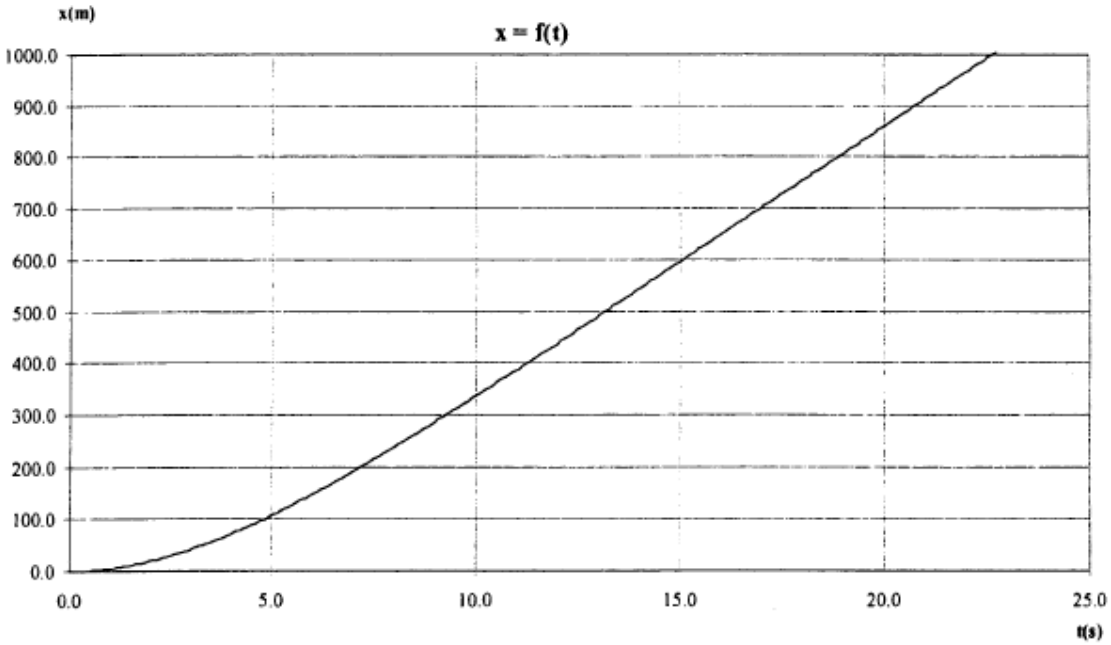
Le parachutiste déclenche l'ouverture de son parachute à l'instant 12 s. La vitesse diminue et se stabilise en 4 s à la valeur limite de 4,5 $m.s^{-1}$.

2.1 - L'ouverture du parachute modifie la force de frottement exercée par l'air qui devient $F' = k'.v^2$.
En s'aidant de l'expression littérale de la vitesse limite, déterminer la valeur de k'.

2.2 - Représenter, sur l'**annexe 2 à rendre avec la copie**, l'évolution de la vitesse au cours du temps (évolution correspondant à l'ensemble du saut). L'évolution correspondant à la chute étudiée au cours de la première phase, lorsque le parachute n'est pas déployé, est rappelée en trait fin.

ANNEXE 1 (à rendre avec la copie)





ANNEXE 2 (à rendre avec la copie)

