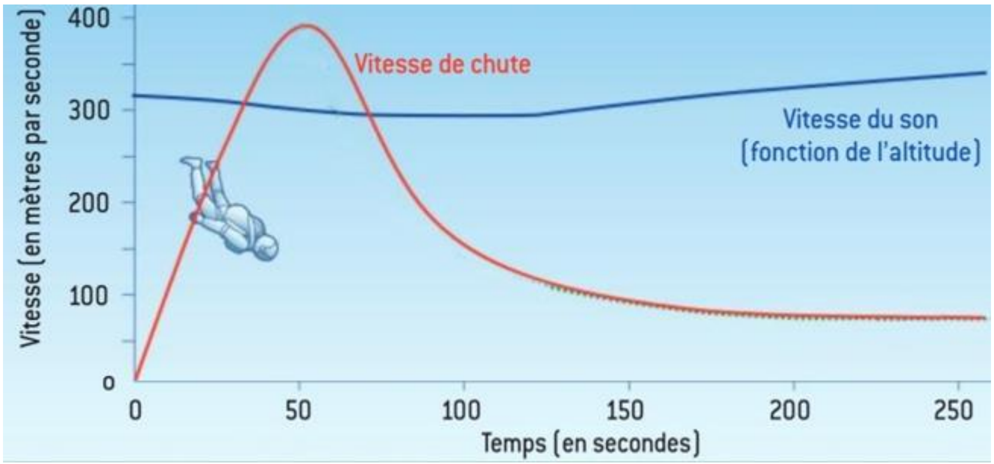
Exercice 1 : Sujet Centrale

Le 14 Octobre 2012, s'élevant en ballon à 39 kilomètres d'altitude pour effectuer un saut en chute libre, l'Autrichien Felix Baumgartner quittait la troposphère, la première couche de l'atmosphère terrestre. […]. Il est incontestable que F. Baumgartner a franchi le mur du son. Cependant, […] il est peu probable que cela ait créé une onde de choc notable […]. Il est par ailleurs mentionné que ce saut pourra alimenter la réflexion sur les procédés de survie des astronautes lors d'un retour sur Terre : au lieu d'attendre la destruction de leur vaisseau spatial dans les hautes couches de l'atmosphère, ne peuvent-ils pas sauter sur Terre et revenir comme F. Baumgartner ?



Document 1 : *Extrait de « la physique surprise » de J.M. Courty et E. Kierlik*

Q1. Estimer, à l'aide du document 1 et en explicitant la méthode, l'épaisseur δ de l'atmosphère dans laquelle F. Baumgartner est en chute libre (mouvement de chute pour lequel on néglige les frottements).

L'étude du mouvement de chute pendant les 250 premières secondes nécessite de prendre en compte les frottements de l'air : dans ces conditions la vitesse de chute d'un mobile est fonction de la masse de ce mobile. En effet, lorsque F. Baumgartner atteint sa vitesse limite pour $t = 200\ s$, il se trouve à 10 km d'altitude et à une pression atteignant déjà 20 % de la pression au niveau du sol égale à $1{,}0 \times 10^5$ Pa. Pour $t \leq 250\ s$, on supposera l'atmosphère isotherme et à la température $\theta_0 = -50\ °C$ (on donne également la valeur de la masse molaire M de l'air : $M = 29\ \mathrm{g.mol^{-1}}$ et on rappelle la valeur de la constante des gaz parfaits $R = 8{,}3\ \mathrm{J.K^{-1}.mol^{-1}}$). Pendant cette étude, le champ de pesanteur sera considéré uniforme et égal à g. F. Baumgartner, de masse m, est animé d'une vitesse $\vec{v}(t) = v(t)\,\overrightarrow{u_z}$ par rapport au référentiel terrestre (le vecteur $\overrightarrow{u_z}$ est associé à un axe Oz vertical et ascendant, l'origine O étant prise au niveau du sol). On modélise l'action de l'air sur F. Baumgartner par une force de traînée dont l'expression est donnée par l'expression $F_f(t) = \frac{1}{2}\rho(z)ACv^2$ où $\rho(z)$ est la masse volumique de l'atmosphère terrestre, A est la surface apparente de F. Baumgartner et C est le coefficient de traînée dans l'air (A et C sont supposés constants). La poussée d'Archimède est négligée.

Q2. Résolution de problème : estimer la valeur de la masse volumique de l'air ainsi que celle de la côte verticale z_0 de F. Baumgartner lorsqu'il atteint sa vitesse maximale. Pourquoi les auteurs du document 1 estiment que l'onde de choc émise en z_0 n'est pas « notable » ?
La réponse à cette question nécessite de l'initiative. Le candidat est invité à consigner ses pistes de recherche et à y consacrer un temps suffisant. La qualité de la démarche choisie et son explicitation seront évaluées tout autant que le résultat final.

Exercice 2 : Sujet CCinP

Un ballon solaire est un aérostat semblable à une montgolfière sauf qu'il n'utilise pas de brûleur, ni aucune autre source de chaleur exceptée celle fournie par le soleil. L'enveloppe est réalisée avec un film plastique noir en polyéthylène de quelques microns d'épaisseur. Les objectifs d'un vol de ballon solaire sont très variés. Cela peut aller du simple plaisir de le voir voler, à l'expérience embarquée avec radio-transmission des données, en passant par la traditionnelle photographie aérienne.

On effectue les hypothèses simplificatrices suivantes :

- L'atmosphère est supposée au repos, isotherme de température $T = 300K$ et assimilable à un gaz parfait dont la constante est notée $R = 10SI$ et de masse molaire $M = 30g.mol^{-1}$;
- Le ballon (dont le volume $V \approx 100m^3$ est considéré comme presque constant) et sa charge constitue le système étudié. L'ensemble est de masse $m = 90kg$. On note z la côte verticale du centre de masse du système.
- Le gaz, à l'intérieur de l'enveloppe du ballon, est de même nature que celui de l'atmosphère extérieur mais il est à la température $T_i > T$;
- Le système subit, entre autres, une force de traînée $\vec{F} = -\alpha\vec{v}$ où $\vec{v}$ est la vitesse du ballon par rapport au référentiel terrestre supposé Galiléen. $\alpha \approx 1kg/s$
- On utilisera un axe vertical ascendant Oz dont l'origine est au niveau du sol, la terre est supposée constituer un référentiel galiléen et son champ de pesanteur est $g = 10m.s^{-2}$.

1) Comment le ballon peut-il voler en l'absence de bruleur ?
2) Donner l'expression de la masse volumique de l'atmosphère extérieure $\rho(z)$ en fonction de l'altitude z sachant $\rho(z=0) = \rho_0 = 1kg.m^{-3}$.
3) La dépendance ρ avec z explique l'origine de la poussée d'Archimède. Expliquer cependant pourquoi on peut considérer la masse volumique de l'air comme quasi-uniforme à l'échelle des dimensions du ballon ?
4) Montrer que la poussée d'Archimède peut s'écrire, pendant l'ascension du ballon, sous la forme :
   $\overrightarrow{F_A} \approx -\Delta m\left(1 - \frac{z}{\delta}\right)\vec{g}$ sachant que $z \ll \delta = \frac{RT}{Mg}$. On détaillera l'expression de Δm.
5) Déterminer l'équation différentielle du mouvement vérifiée par z.
6) En déduire :
   a) L'expression et la valeur de la pulsation propre ω_0.
   b) L'expression du coefficient d'amortissement M.
   c) Un ordre de grandeur de la durée τ de l'ascension.
   d) L'altitude z_{eq} qui sera atteinte en régime stationnaire.