

# MÉCANIQUE DU VOL D'UN BALLON SONDE

Adaptation du sujet Juin 2004 National EXERCICE II

Un ballon sonde, en caoutchouc mince très élastique, est gonflé à l'hélium. Une nacelle attachée au ballon emporte du matériel scientifique afin d'étudier la composition de l'atmosphère. En montant, le ballon grossit car la pression atmosphérique diminue. Sa paroi élastique finit par éclater à une altitude généralement comprise entre 20 et 30 km. Après l'éclatement, un petit parachute s'ouvre pour ramener la nacelle et son matériel scientifique au sol. Il faut ensuite localiser la nacelle, puis la récupérer pour exploiter l'ensemble des expériences embarquées.



[http://fly.kiwi.online.fr/20\\_the\\_end.htm](http://fly.kiwi.online.fr/20_the_end.htm) et [http://fly.kiwi.online.fr/20\\_the\\_end\\_second.htm](http://fly.kiwi.online.fr/20_the_end_second.htm) (2006)

## 1. Mécanique du vol

L'objectif de cette partie est d'étudier la mécanique du vol du ballon sonde à faible altitude (durant la première seconde). On peut alors considérer que l'accélération de la pesanteur  $g$ , le volume du ballon  $V_b$  et la masse volumique  $\rho$  de l'air restent constantes.

Le système {ballon + nacelle} est soumis à la poussée d'Archimède, qui est une force verticale, dirigée vers le haut et dont la valeur (norme) est égale au poids du volume d'air déplacé.

La poussée d'Archimède est la force particulière que subit un corps plongé en tout ou en partie dans un fluide (liquide ou gaz) et soumis à un champ de gravité.

L'expression littérale de la valeur de la poussée d'Archimède est :  $F_A = \rho \text{ (air)} \times V_b \times g$

On modélisera la valeur  $f$  de la force de frottement de l'air sur le système étudié par l'expression :

$f = K \cdot \rho \cdot v^2$  où  $K$  est une constante pour les altitudes considérées et  $v$  la vitesse du centre d'inertie du système {ballon + nacelle}. La force de frottement exercée par l'air est de direction verticale et de sens opposé au mouvement donc vers le bas.

On supposera que le vent est absent lors de la montée (le mouvement s'effectue dans la direction verticale) et que le volume de la nacelle est négligeable par rapport au volume du ballon.

Le système {ballon + nacelle} est étudié dans un référentiel terrestre, considéré comme galiléen.

Données :

Masse volumique de l'air :  $\rho \text{ (air)} = 1,22 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  (à 20°C, au niveau de la mer)

Volume du ballon :  $V_b = 9,00 \text{ m}^3$

Masse du ballon (enveloppe + hélium) :  $m = 2,10 \text{ kg}$

Masse de la nacelle vide :  $m' = 0,50 \text{ kg}$

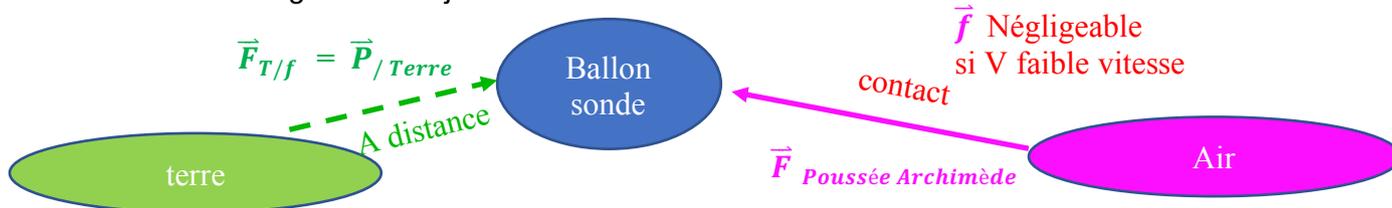
Masse de matériel embarqué  $m'' = 2,0 \text{ kg}$

### Décollage du ballon-sonde

#### 1. Les 200 premières ms :

On néglige, lors du décollage, les frottements exercés par l'air car la vitesse  $v$  est très faible dans les 200 premières millisecondes.

##### 1.1 Réaliser un diagramme Objet - interaction



##### 1.2 Détermination des valeurs des forces extérieures appliquées au système :

###### 1.2.1 Calculer la valeur du poids du système

Le poids total  $\mathbf{P}$  s'exprime par la relation :  $\mathbf{P} = (M_{nacelle} + M_{matériel} + M_{enveloppe} + \rho_{\text{hélium}} \cdot V) \cdot \mathbf{g}$   
 $= (0,50 + 2,0 + 2,10) \times 9,81 = 45 \text{ N}$

###### 1.2.2 Montrer que la poussée d'Archimède a pour valeur : $F_A = 108 \text{ N}$

L'expression littérale de la poussée d'Archimède  $F_A = \rho \text{ (air)} \times V_b \times g = 1,22 \times 9,00 \times 9,81 = 108 \text{ N}$

- 1.3 Sur le dessin ci-joint, représenter chaque force exercée sur le système {ballon + nacelle}.  
On indiquera la direction, le sens et la valeur de chaque force.

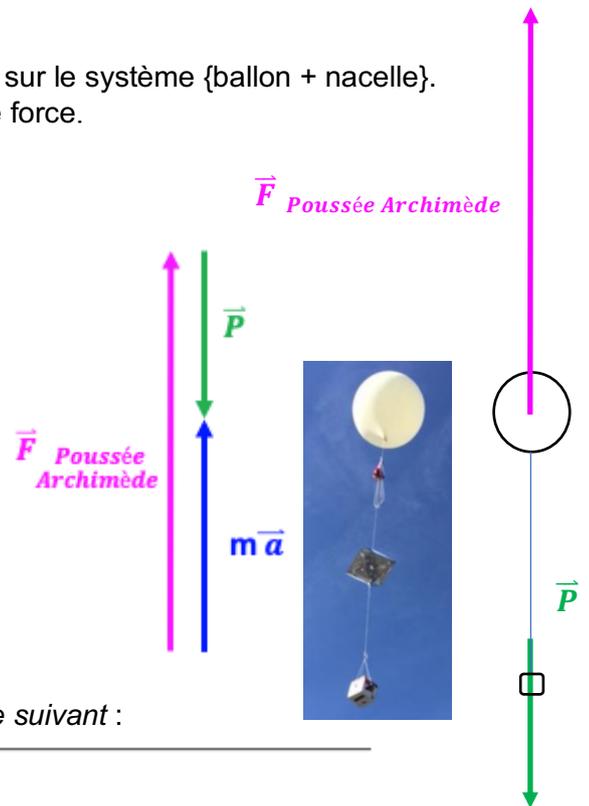
On prendra l'échelle suivante : 1,0 cm représente 20 N

Le poids total  $P = 45 \text{ N}$  est représenté ici par 2,25 cm

L'expression littérale de la poussée d'Archimède  $F_A$  est représenté ici par 5,4 cm

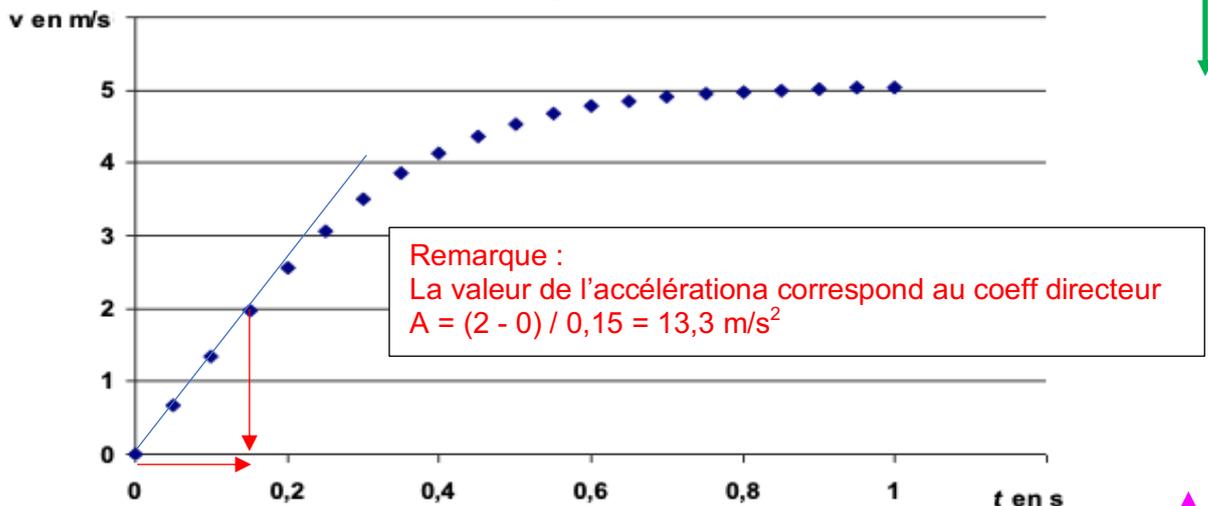
- 1.4 Déterminer le vecteur accélération subie par le système {ballon + nacelle}.  
On indiquera la direction, le sens et la valeur de vecteur

Direction verticale, sens vers le haut,  
valeur  $a = (F_A - P) / m = 63 / 4,6 = 13,6 \text{ m/s}^2$



## 2. Vitesse limite du ballon

Un relevé de la vitesse, au cours du temps, donne le graphique suivant :



- 2.1 Déterminer la vitesse limite atteinte par le ballon sonde.  $V_{lim} = 5,0 \text{ m/s}$

- 2.2 Quelle est la valeur de la force de frottement exercée par l'air lorsque la vitesse limite est atteinte par le ballon sonde ?

Toutes les forces se compensent, puisque la vitesse est constante (et le mvt est rectiligne)

$$\vec{F}_{\text{Poussée Archimède}} = \vec{f} + \vec{P} \text{ alors } f = F - P = 108 - 45 = 63 \text{ N}$$

- 2.3 Quelle est la valeur de la force que doit exercer celui qui tient la nacelle immobile avant le décollage ?

Le ballon-sonde\_lache\_Forbach\_Photo Philippe RIEDINGER\_2017

Toutes les forces se compensent,  
puisque la vitesse est constante (nulle !)  
... et le mvt est rectiligne

$$\vec{F}_{\text{Mains / Nacelle}} = \vec{f} \text{ de norme } 63 \text{ N}$$

Le principe d'inertie n'est autre ...  
qu'une application particulière de la 3<sup>ème</sup> loi de Newton)  
avec un système au repos (immobile, à vitesse nulle !)

