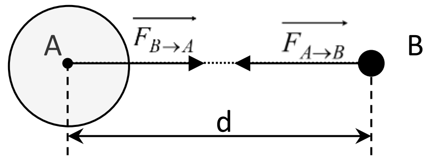
Expériences en impesanteur : vol « zéro g »

L'impesanteur est l'absence ressentie de pesanteur. L'état d'impesanteur permet d'étudier des phénomènes physiques, chimiques ou biologiques habituellement masqués par la gravité sur Terre. Il peut être obtenu dans un avion en vol parabolique (l'Airbus A300 « zéro G » par exemple) ou dans une station spatiale en orbite autour de la Terre (la Station Spatiale Internationale ISS par exemple). Nous nous proposons d'étudier ces deux situations.

Document 1 : interaction gravitationnelle :

Deux corps A et B, séparés par une distance d = AB et de masses respectives m_A et m_B, sont soumis à deux forces directement opposées, dont l'intensité est proportionnelle au produit des masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui sépare ces masses :

$$\boxed{F_{A\to B} = F_{B\to A} = G\cdot\frac{m_A\cdot m_B}{d^2}}$$

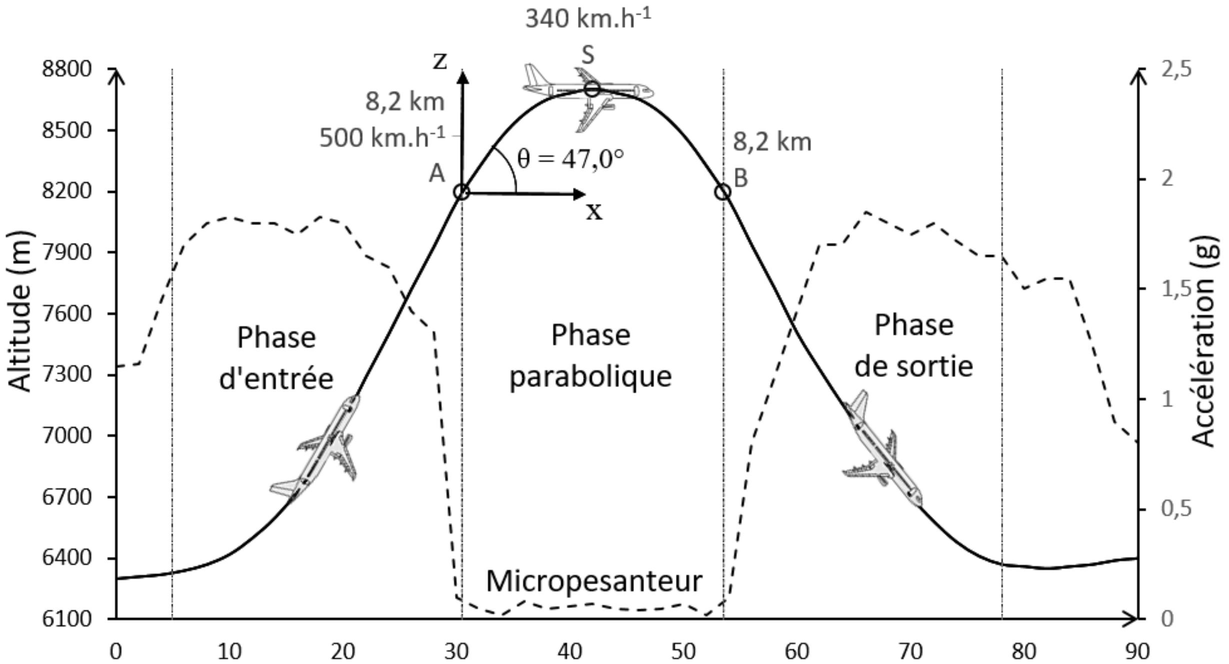


Unités :
$F_{A\to B}$ et $F_{B\to A}$ en Newton (N)
m_A et m_B en kilogramme (kg)
d est en mètre (m)
et G=6,67×10^{-11}N.m^2.kg^{-2} G est appelée constante gravitationnelle

On assimile le poids $\overrightarrow{P}$ d'un corps B à la force $\overrightarrow{F_{T\to B}}$ gravitationnelle qu'exerce la Terre sur ce corps.

Document 2 : Vol parabolique de l'Airbus A 300 zéro G

La figure 1 traduit une situation simplifiée lors d'un vol parabolique



Description du vol : l'avion, en vol horizontal vers 6,3 km d'altitude, monte à environ 7,7 km en se cabrant à 47,0 ° (phase d'entrée). Le pilote diminue ensuite la poussée des réacteurs de façon à juste compenser les frottements de l'air. L'avion n'est alors soumis qu'à son poids et entre en situation de « chute libre » (phase parabolique) vers 8,2 km d'altitude. Son élan lui permet d'atteindre une altitude voisine de 8,7 km avant de retomber. Le pilote augmente à nouveau la poussée des réacteurs vers 8,2 km d'altitude (phase de sortie) puis l'avion reprend son vol horizontal vers 6,3 km. L'opération dure

environ une minute pour obtenir 21 secondes d'impesanteur. Cette séquence est répétée 30 fois au cours d'un vol.
En pratique, l'impesanteur parfaite (ou « zéro g ») n'est pas tout à fait réalisée dans la phase parabolique où l'on obtient plutôt une micropesanteur (0,05g).

Données :

- Masse de la Terre : $M_T = 5{,}98.10^{24}$ kg
- Rayon de la Terre : $R_T = 6{,}38.10^{3}$ km

1. Champ de pesanteur terrestre

1.1. Donner l'expression du champ de pesanteur de la Terre g(z) à l'altitude z en fonction de la constante de gravitation universelle G, de la masse de la Terre M_T , du rayon de la Terre R_T et de l'altitude z.

1.2. Calculer la valeur g_0 à l'altitude z = 0 km et g_A à l'altitude z_A = 8,20 km.

1.3. On considère qu'on peut négliger la variation de g entre les deux altitudes si elle est inférieure à 1%. Peut-on négliger la variation entre g_0 et z_A ?

2. Phase parabolique

On s'intéresse au mouvement du centre d'inertie de l'avion de masse m dans le repère (A, x, z) de la figure 1, au cours de la phase parabolique du vol. L'avion atteint cette phase à l'altitude z_A = 8,20 km avec une vitesse initiale $v_A = 500$ km.h^{-1} faisant un angle θ = 47,0 ° par rapport à l'horizontale.
On prendra la valeur g = 9,80 m.s^{-2} pour les calculs numériques.

2.1. Etablir les expressions littérales des équations horaires de la vitesse $v_x(t)$ et $v_z(t)$ et du mouvement x(t) et z(t) dans le repère (A, x, z) en proposant un raisonnement rigoureux.

2.2. En déduire l'expression littérale de la trajectoire z(x) dans le repère (A, x, z).

2.3. Soit S le sommet de la trajectoire de l'avion. Calculer la durée t_s de la phase ascendante pour aller de A et S.

2.4. En déduire l'altitude maximale z_S atteinte par l'avion ainsi que sa vitesse v_S en ce point. Comparer avec les informations données.

2.5. L'avion quitte sa phase parabolique au point B à l'altitude z_B = 8,20 km. Calculer la durée totale t_B de la phase parabolique et la comparer aux informations données.

Expériences en impesanteur

1.1.	$g(z) = G.\frac{M_T}{(R_T+h)^2}$
1.2.	$g_0 = 9{,}80\ m.s^{-2}$ $g_A = 9{,}77\ m.s^{-2}$
1.3.	$\frac{\Delta g}{g_0} = 0{,}3\%\ \ < 1\ \%$ G considéré comme constant.
2.1.	Bilan des forces dans le repère $\vec{P}\left\vert\begin{matrix}0\\ -mg\end{matrix}\right.$ (situation de chute libre) 2ème loi de Newton $\vec{a}\left\vert\begin{matrix}0\\ -g\end{matrix}\right.$ Vitesse $\vec{v}\left\vert\begin{matrix}v_x(t) = V_A\cos\alpha\\ v_z(t) = -g\cdot t + V_A\sin\alpha\end{matrix}\right.$ Equations horaires $\overrightarrow{OM}\left\vert\begin{matrix}x(t) = V_A\cos\alpha\cdot t\\ z(t) = -\frac{1}{2}\cdot g\cdot t^2 + V_A\sin\alpha\cdot t\end{matrix}\right.$
2.2.	$z = -\frac{1}{2v_A^2}\cdot\frac{g}{\cos^2\alpha}\cdot x^2 + \tan\alpha\cdot x$
2.3.	$t_S = \frac{v_A.sin\alpha}{g}$ A.N. $t_S = 10{,}4\ s$
2.4.	$z_S = 8{,}73\times 10^3\ m$ conforme à 8,7 km $v_S = 94{,}7\ m.s^{-1} = 341\ km.h^{-1}$ conforme à 340 m.s^{-1}
2.5.	$t_B = 2\times t_S = 20{,}8\ s$ conforme à 21s