7 LE POIDS APPARENT

Quels sont le poids apparent (grandeur et direction) et le nombre de g subi par un pilote d'avion de chasse de 70 kg quand il est catapulté d'un porte-avion sachant que l'avion accélère jusqu'à une vitesse de 77 m/s (150 nœuds) sur une distance de 94,5 m (sur le USS Nimitz) ?

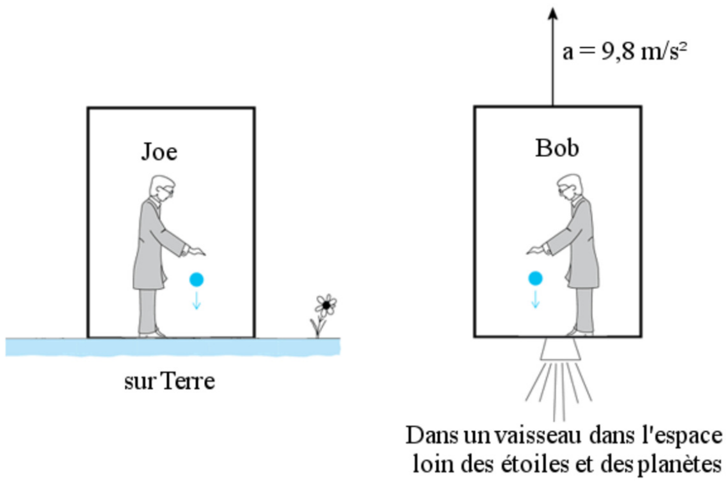
commons.wikimedia.org/wiki/File:US_Navy_071006-N-4166B-033_An_F-A-18_Hornet_attached_to_the_Warhawks_of_Strike_Fighter_Squadron_(VFA)_97_conducts_a_touch_and_go_landing_and_takeoff_aboard_the_Nimitz-class_aircraft_carrier_USS_Abraham_Lincoln_(CVN_72).jpg

Découvrez la réponse à cette question dans ce chapitre.

7.1 LE VECTEUR POIDS APPARENT

La formule du poids apparent

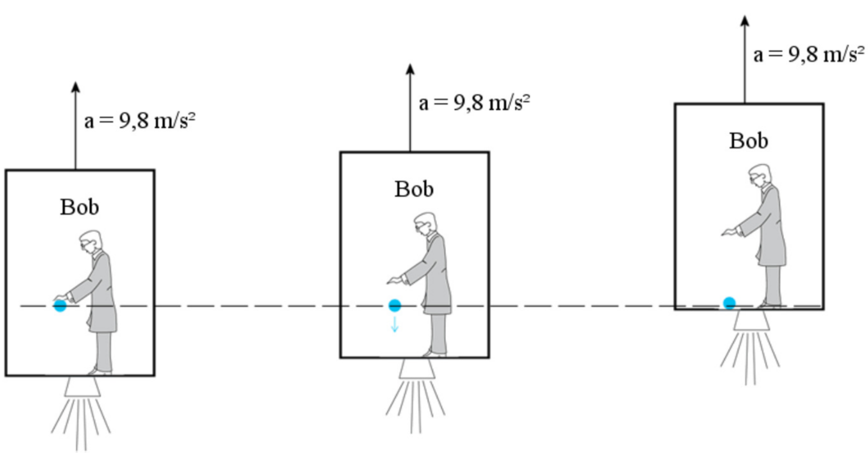
Le point de départ de la relativité générale d'Einstein est le principe d'équivalence. Pour l'illustrer, prenons les deux situations illustrées sur la figure. Dans la figure de gauche, Joe est enfermé dans une boite posée à la surface de la Terre. Dans la figure de droite, Bob est enfermé dans une boite dans l'espace loin de toutes masses importantes. Cette boite accélère dans la direction indiquée sur la figure avec une accélération de 9,8 m/s².



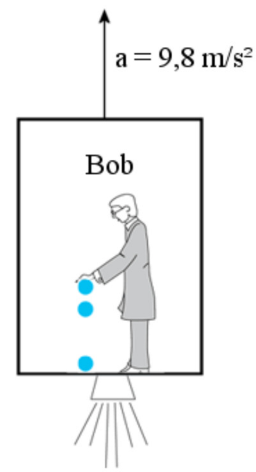
thinkingscifi.wordpress.com/2012/07/21/intelligence-and-imagination/

Le principe d'équivalence dit que tout ce qui se passe dans la boite doit être absolument identique pour Bob et Joe. Par exemple, examinons ce qui se produit si Bob et Joe lâchent une balle qu'ils tiennent dans leur main. Quand Joe lâche sa balle, la force de gravitation fait tomber la balle vers le sol avec une accélération de 9,8 m/s².

Quand Bob lâche sa balle, il n'y a plus de force sur la balle et elle cesse d'accélérer alors que la boite de Bob continue d'accélérer vers le haut. Supposons qu'au moment où Bob lâche sa balle, la vitesse du vaisseau est nulle. On a alors le mouvement illustré sur la figure suivante.

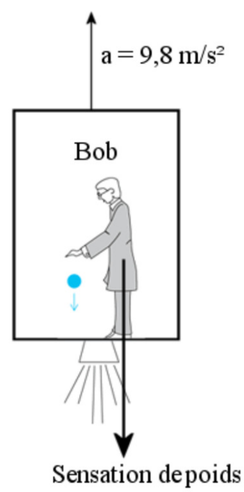


La balle reste en place, puisqu'aucune force n'agit sur elle, pendant que la boite de Bob accélère vers le haut.



De l'intérieur de la boite, ça donnera l'impression que la balle s'est dirigée vers le sol avec une accélération de 9,8 m/s². En fait, le mouvement de la balle observé par Bob est identique au mouvement de la balle observé par Joe.

Le principe d'équivalence signifie aussi que si vous êtes enfermé dans une boite et que vous observez des objets accélérant vers le bas de la boite, il n'y a aucun moyen de déterminer si cela se produit parce qu'il y a de la gravitation ou parce que vous êtes dans une boite qui accélère. Aucune expérience ne pourra vous dire si vous êtes sur Terre ou si vous êtes en train d'accélérer à 9,8 m/s².

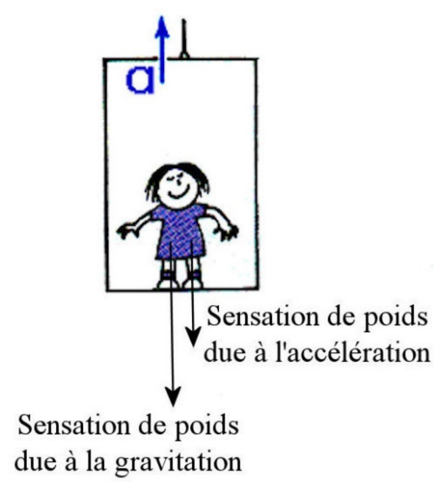


Si tout est exactement identique, alors Bob doit ressentir une sensation de poids tout à fait identique à celle ressentie par Joe faite par la force de gravitation. Comme Joe se sent attiré vers le plancher, Bob doit également se sentir attiré aussi vers le plancher, donc dans la direction opposée à l'accélération. De plus, si la force de gravitation est proportionnelle à la masse, alors l'effet sur Bob doit aussi être proportionnel à la masse de Bob. Ainsi, la grandeur de cette sensation de poids sur Bob doit donc être *ma*.

Si on accélère et qu'on subit une force de gravitation, la sensation de poids sera simplement la somme de ces deux effets. C'est cette somme qui est le poids apparent.

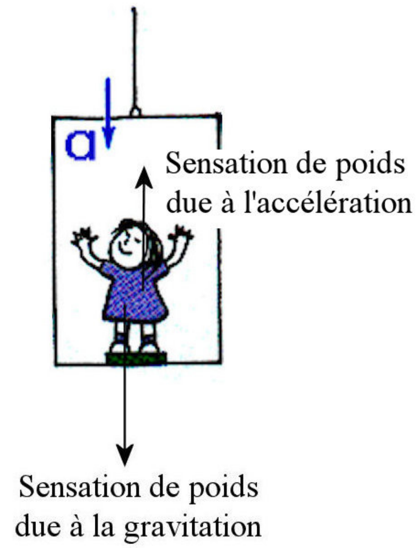
$$\vec{P}_{app} = m\vec{g} + \left(-m\vec{a}\right)$$

Pour comprendre la signification de cette équation, regardons ce qui se passe quand vous prenez l'ascenseur pour monter quelques étages. Quand l'ascenseur commence son mouvement, il accélère vers le haut, ce qui donne une sensation de poids dans la direction opposée, soit vers le bas. Cette sensation s'ajoute à la sensation de poids fait par la force de gravitation et on se sent alors plus lourd.



www.ux1.eiu.edu/~cfadd/1150/05UCMGrav/Wt.html

Quand l'ascenseur arrive à destination, il freine et accélère donc vers le bas. Cela ajoute une sensation de poids vers le haut à la sensation faite par la force de gravitation vers le bas. On se sent alors plus léger.



Pour calculer le poids apparent, on va plutôt travailler avec les composantes (avec l'axe des x horizontal et l'axe des y vers le haut). On a donc les équations suivantes.

Le poids apparent à partir de l'accélération

$$\vec{P}_{app} = m\vec{g} + \left(-m\vec{a}\right)$$

En composantes :

$$P_{app\ x} = -ma_x$$
$$P_{app\ y} = -mg - ma_y$$

avec l'axe des x horizontal et l'axe des y vers le haut

On peut également obtenir une autre formule pour calculer le poids apparent en utilisant la deuxième loi de Newton. Cette formule est

$$\vec{P}_{app} = m\vec{g} + \left(-m\vec{a}\right)$$
$$\vec{P}_{app} = m\vec{g} + \left(-\sum \vec{F}\right)$$

Ce qui donne

Le poids apparent à partir des forces

$$\vec{P}_{app} = -\left(\sum \vec{F} - m\vec{g}\right)$$

En composantes :

$$P_{app\ x} = -\sum F_x$$
$$P_{app\ y} = -\sum F_y - mg$$

avec l'axe des x horizontal et l'axe des y vers le haut

Cette formule nous dit qu'on peut trouver le poids apparent en faisant la somme des forces sur l'objet, mais en ne comptant pas la force de gravitation. Le poids apparent est égal à la somme de ces forces, mais dans la direction opposée. C'est ce qui fait que certains définissent le poids apparent comme la force qu'on doit faire pour soutenir l'objet.

Erreur fréquente : Utiliser les mauvais axes pour calculer les composantes du poids apparent.

Les équations des composantes ont été obtenues pour un axe des y pointant vers le haut et un axe des x horizontal. Vous ne pouvez pas tourner les axes.

Erreur fréquente : Mettre directement des chiffres dans les équations $\vec{P}_{app} = m\vec{g} + (-m\vec{a})$ ou $\vec{P}_{app} = -\left(\sum \vec{F} - m\vec{g}\right)$

Ces équations sont des équations vectorielles. Ainsi, on obtient rarement la bonne réponse en mettant directement les valeurs de g de a ou de F directement dans ces équations. Il faut plutôt travailler avec les composantes x et y de ces équations.

Le nombre de *g*

Il est souvent utile de comparer le poids apparent au poids réel sur Terre pour se donner une meilleure idée de la sensation de poids. En faisant le rapport de la grandeur du poids apparent sur le poids réel, on obtient le nombre de g.

Le nombre de *g*

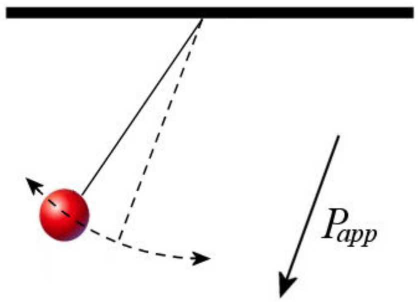
$$n_g = \frac{\left|P_{app}\right|}{P_{\text{reel sur Terre}}} = \frac{\left|P_{app}\right|}{m \cdot 9{,}8 \frac{m}{s^2}}$$

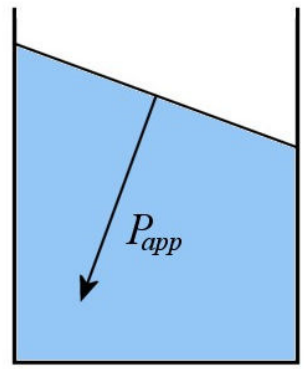
Ainsi, si le nombre de g vaut 1,2, cela signifie qu'on se sent 1,2 fois plus lourd que normalement.

Tout se passe comme si la gravitation était dans la direction du poids apparent

Le principe d'équivalence nous dit qu'on ne peut pas faire la différence entre l'effet de la gravitation et l'effet de l'accélération. En clair, cela veut dire que tout se passe exactement comme si la gravitation était dans la direction du poids apparent.

Si on lâche un objet, il va tomber dans la direction du poids apparent. S'il y a un pendule fixé au plafond, il ne va pas osciller d'un côté à l'autre de la verticale, mais d'un côté à l'autre de la direction de poids apparent. S'il y a un récipient avec de l'eau, la surface ne sera pas horizontale, mais elle sera perpendiculaire à la direction du poids apparent.





De plus, tout se passe comme si la gravitation était multipliée par n_g. Par exemple, tout va se passer comme si g était 2 fois plus grand si $n_g = 2$. Si on laisse tomber un objet vers le sol, l'accélération de l'objet sera de 19,6 m/s² si $n_g = 2$. La normale d'un objet posé sur le sol serait 2 fois plus grande (si le sol est perpendiculaire à la direction du poids apparent). La poussée d'Archimède serait 2 fois plus grande et elle serait dans la direction opposée au poids apparent.

7.2 LE POIDS APPARENT AVEC DES ACCÉLÉRATIONS EN LIGNE DROITE

Exemple 7.2.1

Quels sont le poids apparent et le nombre de g subi par une personne de 60 kg dans un ascenseur dans les situations suivantes ?

a) Dans un ascenseur qui monte à vitesse constante.

La seule chose qui peut changer le poids apparent est une accélération. Comme l'accélération est nulle ici, le poids apparent est donc égal au poids. On a donc

$$\begin{aligned} P_{app\ y} &= -mg \\ &= -60kg \cdot 9,8\tfrac{m}{s^2} \\ &= -588N \end{aligned}$$

Le poids apparent est donc de 588 N vers le bas.

Le nombre de g est

$$\begin{aligned} n_g &= \frac{588N}{588N} \\ &= 1 \end{aligned}$$

La personne dans cet ascenseur se sent donc comme si elle avait le même poids qu'elle a normalement sur Terre dans un ascenseur en mouvement à vitesse constante.

b) Dans un ascenseur qui accélère vers le haut avec une accélération de 2 m/s².

Le poids apparent est

$$\begin{aligned} P_{app\ y} &= -mg - ma_y \\ &= -60kg \cdot 9,8\tfrac{m}{s^2} - 60kg \cdot 2\tfrac{m}{s^2} \\ &= -708N \end{aligned}$$

Le poids apparent est donc de 708 N vers le bas.

Le nombre de g est

$$\begin{aligned} n_g &= \frac{708N}{588N} \\ &= 1,204 \end{aligned}$$

La personne dans cet ascenseur se sent donc comme si elle avait un poids valant 1,204 le poids qu'elle a normalement sur Terre. C'est ce genre de sensation qu'on est dans un ascenseur qui amorce son mouvement vers le haut (et qui accélère donc vers le haut).

c) Dans un ascenseur qui accélère vers le bas avec une accélération de 2 m/s².

Le poids apparent est

$$\begin{aligned} P_{app\ y} &= -mg - ma_y \\ &= -60kg \cdot 9,8\tfrac{m}{s^2} - 60kg \cdot \left(-2\tfrac{m}{s^2}\right) \\ &= -468N \end{aligned}$$

Le poids apparent est donc de 468 N vers le bas.

Le nombre de g est

$$\begin{aligned} n_g &= \frac{468N}{588N} \\ &= 0,796 \end{aligned}$$

La personne dans cet ascenseur se sent donc comme si elle avait un poids valant 0,796 fois le poids qu'elle a normalement sur Terre. C'est ce genre de sensation qu'on a dans un ascenseur qui arrête son mouvement vers le haut (et qui accélère donc vers le bas).

d) Dans un ascenseur qui accélère vers le bas avec une accélération de 9,8 m/s².

Le poids apparent est

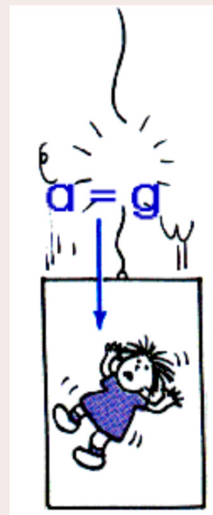
$$\begin{aligned} P_{app\ y} &= -mg - ma_y \\ &= -60kg \cdot 9{,}8\tfrac{m}{s^2} - 60kg \cdot \left(-9{,}8\tfrac{m}{s^2}\right) \\ &= 0N \end{aligned}$$

Le poids apparent est donc de 0 N.

Le nombre de g est

$$\begin{aligned} n_g &= \frac{0N}{588N} \\ &= 0 \end{aligned}$$

La personne dans cet ascenseur se sent donc comme si elle avait un poids nul. Elle a l'impression qu'il n'y a plus de gravitation et elle flotte librement dans l'ascenseur (jusqu'à ce qu'elle devienne de l'écrapou quand l'ascenseur arrive au bas de la cage). En chute libre, l'effet de l'accélération annule toujours exactement l'effet de la gravitation et notre poids apparent est toujours nul.



www.ux1.eiu.edu/~cfadd/1150/05UCMGrav/Wt.html

e) Dans un ascenseur qui accélère vers le bas avec une accélération de 15 m/s².

Le poids apparent est

$$\begin{aligned} P_{app} &= -mg - ma_y \\ &= -60kg \cdot 9{,}8\tfrac{m}{s^2} - 60kg \cdot \left(-15\tfrac{m}{s^2}\right) \\ &= 312N \end{aligned}$$

Le poids apparent est donc de 312 N vers le haut (puisqu'il est positif).

Le nombre de g est

$$\begin{aligned} n_g &= \frac{312N}{588N} \\ &= 0{,}531 \end{aligned}$$

La personne dans cet ascenseur se sent donc comme si elle avait un poids valant 0,531 fois le poids qu'elle a normalement sur Terre, mais dirigé vers le haut. Elle marche donc au plafond de l'ascenseur.

(Notez qu'il y a une corde qui tire l'ascenseur vers le bas, car son accélération ne peut pas dépasser 9,8 m/s² s'il n'y a que la gravitation qui tire l'ascenseur vers le bas.)

Selon la formule du poids apparent à partir des forces, on peut mesurer le changement de poids apparent dans un ascenseur avec une balance. Il n'y a alors qu'une seule force qui agit sur la personne si on exclut le poids : c'est la normale. Cela veut dire que la normale est de même grandeur (mais de direction opposée) que le poids apparent dans ce cas puisque

$$\begin{aligned} P_{app\ y} &= -\sum F_y - mg \\ &= -(-mg + F_N) - mg \\ &= -F_N \end{aligned}$$

Comme une balance mesure la force de contact entre la personne et la balance, donc la normale, on peut voir le changement de poids apparent sur la balance. On verra la valeur indiquée par la balance changer au départ et à l'arrivée (donc quand il y a des accélérations). C'est ce qu'on peut voir sur ce vidéo.
http://www.youtube.com/watch?v=z42xuQLkkGQ

Exemple 7.2.2

Quel est le nombre de *g* subi par une personne dans une fusée au décollage si l'accélération de la fusée est de 6 m/s² vers le haut ?

Le poids apparent est

$$\begin{aligned} P_{app\ y} &= -mg - ma_y \\ &= -m(g + a_y) \end{aligned}$$

On ne peut pas calculer le poids apparent puisqu'on ne sait pas la masse de l'astronaute. On peut cependant trouver le nombre de *g*.

$$\begin{aligned} n_g &= \frac{|P_{app}|}{mg} \\ &= \frac{|-m(g + a_y)|}{mg} \end{aligned}$$

$$= \frac{\left|-\left(g+a_y\right)\right|}{g}$$
$$= \frac{\left(9,8\frac{m}{s^2}+6\frac{m}{s^2}\right)}{9,8\frac{m}{s^2}}$$
$$=1,61$$

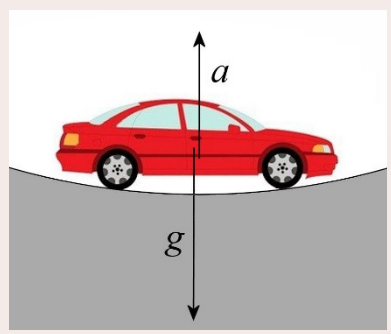
Contrairement à la croyance populaire, les astronautes ne subissent pas un nombre de g très important au décollage. La force exercée par la fusée est très importante, mais elle ne donne pas une accélération si grande à la fusée. Tout le monde pourrait subir ce nombre de g sans le moindre entrainement.

7.3 LE POIDS APPARENT LORS DE MOUVEMENTS CIRCULAIRES

Dès qu'on est en mouvement circulaire, notre poids apparent n'est plus égal à notre poids réel, car il y a alors une accélération.

Exemple 7.3.1

Léo, qui a une masse de 60 kg, est dans une voiture qui passe dans un creux à 90 km/h. Le rayon du creux est de 125 m.



a) Quel est le poids apparent de Léo ?

Comme il n'y a que de l'accélération en y, les composantes du poids apparent de Léo sont

$$P_{app\ x} = 0$$
$$P_{app\ y} = -mg - ma_y$$

Il faut donc trouver l'accélération de Léo. L'accélération est

$$a_y = \frac{v^2}{r}$$
$$= \frac{\left(25\frac{m}{s}\right)^2}{125m}$$
$$= 5\frac{m}{s^2}$$

Le poids apparent de Léo est donc

$$P_{app\ y} = -mg - ma_y$$

$$= -60kg \cdot 9{,}8\tfrac{m}{s^2} - 60kg \cdot 5\tfrac{m}{s^2}$$
$$= -888N$$

b) Quel est le nombre de g subi par Léo ?

Le nombre de g est

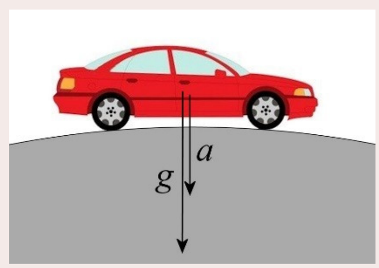
$$\begin{aligned} n_g &= \frac{|P_{app}|}{mg} \\ &= \frac{888N}{588N} \\ &= 1{,}51 \end{aligned}$$

Le poids apparent reste vers le bas et Léo a l'impression de peser 151 % de son poids habituel.

Exemple 7.3.2

Léo, qui a une masse de 60 kg, est dans une voiture qui passe sur une bosse à 90 km/h. Le rayon de la bosse est de 125 m.

a) Quel est le poids apparent de Léo ?



fr.depositphotos.com/2577683/stock-illustration-Car.html

Comme il n'y a que de l'accélération en y, les composantes du poids apparent de Léo sont

$$P_{app\ x} = 0$$
$$P_{app\ y} = -mg - ma_y$$

Il faut donc trouver l'accélération de la personne. L'accélération est

$$\begin{aligned} a_y &= -\frac{v^2}{r} \\ &= -\frac{\left(25\tfrac{m}{s}\right)^2}{125m} \\ &= -5\tfrac{m}{s^2} \end{aligned}$$

Le poids apparent est donc

$$\begin{aligned} P_{app\ y} &= -mg - ma_y \\ &= -60kg \cdot 9{,}8\tfrac{m}{s^2} - 60kg \cdot \left(-5\tfrac{m}{s^2}\right) \\ &= -288N \end{aligned}$$

b) Quel est le nombre de *g* subi par Léo ?

Le nombre de *g* est

$$\begin{aligned} n_g &= \frac{\left|P_{app}\right|}{mg} \\ &= \frac{288N}{588N} \\ &= 0,49 \end{aligned}$$

Le poids apparent reste vers le bas, mais la personne a l'impression de ne peser que 49 % de son poids habituel.

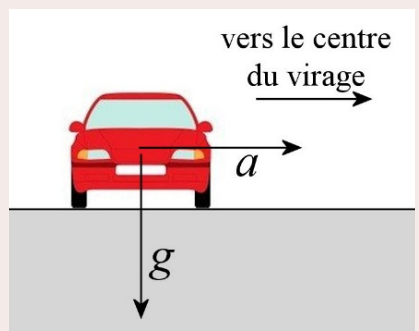
Exemple 7.3.3

Gladys, qui a une masse de 60 kg, est dans une voiture qui prend un virage à 90 km/h. Le rayon du virage est de 100 m.

a) Quelle est la grandeur du poids apparent de Gladys ?

Comme il n'y a que de l'accélération en *x*, les composantes du poids apparent sont

$$\begin{aligned} P_{app\,x} &= -ma_x \\ P_{app\,y} &= -mg \end{aligned}$$



fr.depositphotos.com/2577683/stock-illustration-Car.html

Pour calculer la composante en *x*, il faut connaitre l'accélération. L'accélération est

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{v^2}{r} \\ &= \frac{\left(25\frac{m}{s}\right)^2}{100m} \\ &= 6,25\tfrac{m}{s^2} \end{aligned}$$

Les composantes du poids apparent sont donc

$$\begin{aligned} P_{app\,x} &= -ma_x \\ &= -60kg \cdot 6,25\tfrac{m}{s^2} \\ &= -375N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{app\,y} &= -mg \\ &= -60kg \cdot 9,8\tfrac{m}{s^2} \\ &= -588N \end{aligned}$$

La grandeur du poids apparent est donc

$$\begin{aligned} P_{app} &= \sqrt{P_{app\,x}{}^2 + P_{app\,y}{}^2} \\ &= \sqrt{(-375N)^2 + (-588N)^2} \\ &= 697,4N \end{aligned}$$

b) Quel est le nombre de g subi par Gladys dans le virage ?

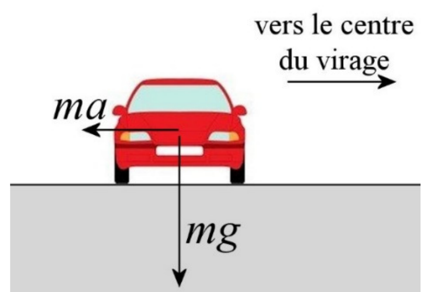
Le nombre de g est

$$\begin{aligned} n_g &= \frac{|P_{app}|}{mg} \\ &= \frac{697,4N}{588N} \\ &= 1,186 \end{aligned}$$

Examinons la direction du poids apparent dans la voiture pendant ce virage. La direction du poids apparent est donnée par cette somme vectorielle.

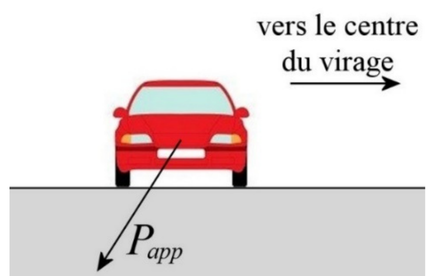
$$\vec{P}_{app} = m\vec{g} + (-m\vec{a})$$

Voici la direction des deux vecteurs $m\vec{g}$ et $-m\vec{a}$ (qui est un vecteur de grandeur ma dans la direction opposée à l'accélération.)



Si on additionne ces 2 vecteurs, on obtient la direction du poids apparent montrée sur la figure de droite.

La personne dans la voiture se sent donc attirée vers le bas et vers l'extérieur du virage. (C'est cette composante du poids vers l'extérieur que les gens vont faussement attribuer à une force centrifuge.)

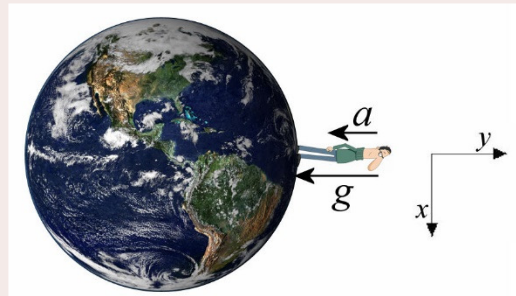


On peut voir ce dernier effet dans ce vidéo montrant comment change l'orientation de la surface d'un liquide dans une voiture quand on prend un virage.
http://www.youtube.com/watch?v=yOFERQMtGNM

Généralement, le nombre de g n'est pas très grand quand on prend un virage en voiture. Il pourrait difficilement dépasser 1,5 g (si la route n'est pas inclinée). Cependant, en formule 1, le nombre de g dans un virage peut monter jusqu'à 6, voire jusqu'à 7.
https://www.youtube.com/watch?v=WGoVT1J9yMk

Exemple 7.3.4

Parce que la Terre tourne, chaque personne sur Terre fait un mouvement circulaire. Cela fait en sorte que le poids apparent sur Terre n'est pas égal à notre véritable poids. Sachant cela, quel est le nombre de g subi par une personne à l'équateur ?



Comme il n'y a que de l'accélération en y (rappelez-vous, l'axe des y doit être opposé à la gravitation), les composantes du poids apparent sont

$$P_{app\,x} = 0$$
$$P_{app\,y} = -mg - ma_y$$

Il faut donc trouver l'accélération de la personne pour déterminer le nombre de g. Comme la personne fait un cercle d'un rayon de 6380 km en 24 h (en fait un peu moins que 24 h…), l'accélération centripète, vers le centre de la Terre, est

$$\begin{aligned} a_y &= -\frac{4\pi^2 r}{T^2} \\ &= -\frac{4\pi^2 \left(6,38\times10^6 m\right)}{\left(86400 s\right)^2} \\ &= -0,03374 \tfrac{m}{s^2} \end{aligned}$$

Le nombre de g est donc

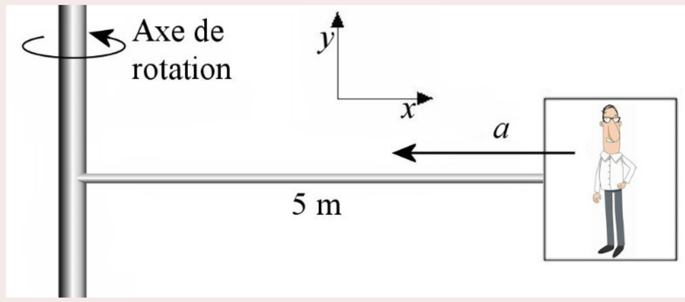
$$\begin{aligned} n_g &= \frac{\left|P_{app}\right|}{mg} \\ &= \frac{\left|-mg - ma_y\right|}{mg} \\ &= \frac{\left|-g - a_y\right|}{g} \\ &= \frac{\left|\left(-9,8 \tfrac{m}{s^2} - -0,03374 \tfrac{m}{s^2}\right)\right|}{9,8 \tfrac{m}{s^2}} \\ &= 0,9965 \end{aligned}$$

Ainsi à l'équateur, on ressent un poids qui est 99,65 % de celui qu'on ressentirait si on était au pôle (où il n'y a pas d'accélération due à la rotation de la Terre).

Pour soumettre une personne à un nombre important de g, on peut l'assoir dans une boite qu'on fait tourner au bout d'une longue tige. Avec l'accélération qu'il y a lors d'un mouvement circulaire, le poids apparent augmente. Plus ça tourne vite, plus il y a d'accélération, plus le poids apparent devient grand. Voici une centrifugeuse de ce type en action.
http://www.youtube.com/watch?v=sG6PPWxjgu0

Exemple 7.3.5

Une centrifugeuse ayant un rayon de 5 m fait un tour en 1,5 seconde. Quel est le nombre de g subi par la personne dans la centrifugeuse ?



Comme il n'y a que de l'accélération en x, les composantes du poids apparent sont

$$P_{app\,x} = -ma_x$$
$$P_{app\,y} = -mg$$

La grandeur du poids apparent est donc

$$P_{app} = \sqrt{(mg)^2 + (ma_x)^2}$$

Il nous faudra donc la grandeur de l'accélération. Dans un mouvement circulaire uniforme, on peut la trouver avec

$$\begin{aligned} a_x &= -\frac{4\pi^2 r}{T^2} \\ &= -\frac{4\pi^2 5m}{(1,5s)^2} \\ &= -87,73\tfrac{m}{s^2} \end{aligned}$$

On ne peut pas trouver le poids apparent, car on ne sait pas la masse de la personne dans la centrifugeuse. Cependant, on peut trouver le nombre de g avec

$$\begin{aligned} n_g &= \frac{P_{app}}{mg} \\ &= \frac{\sqrt{(mg)^2 + (ma_x)^2}}{mg} \\ &= \frac{\sqrt{m^2 g^2 + m^2 a_x^2}}{mg} \end{aligned}$$

$$= \frac{\sqrt{m^2\left(g^2 + a_x^2\right)}}{mg}$$

$$= \frac{\cancel{m}\sqrt{g^2 + a_x^2}}{\cancel{m}g}$$

$$= \frac{\sqrt{\left(9{,}8\tfrac{m}{s^2}\right)^2 + \left(-87{,}73\tfrac{m}{s^2}\right)^2}}{9{,}8\tfrac{m}{s^2}}$$

$$= 9{,}01$$

Notez que les masses s'annulent toujours dans le calcul du nombre de g et qu'on peut prendre le raccourci suivant pour calculer le nombre de g quand l'accélération est horizontale.

$$n_g = \frac{\sqrt{g^2 + a_x^2}}{g}$$

7.4 LE POIDS APPARENT EN AVION

Dès qu'on accélère en avion, notre sensation de poids change. Voyons quelques cas.

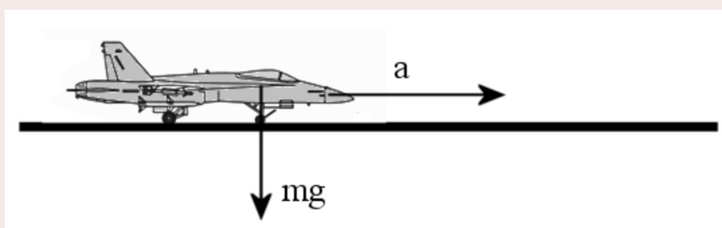
Accélération vers l'avant ou l'arrière de l'avion

Exemple 7.4.1

Quels sont le poids apparent (grandeur et direction) et le nombre de g subi par un pilote d'avion de chasse de 70 kg quand il est catapulté d'un porte-avion sachant que, lors du catapultage, l'avion accélère jusqu'à une vitesse de 77 m/s (150 nœuds) sur une distance de 94,5 m (sur le USS Nimitz) ?

Les deux composantes du poids apparent sont

$$P_{app\,x} = -ma_x$$
$$P_{app\,y} = -mg$$



www.fas.org/programs/ssp/man/uswpns/air/fighter/f18.html

Pour calculer la composante en x, il faut connaitre l'accélération. Comme on sait que la vitesse passe de 0 à 77 m/s sur une distance de 94,5 m, l'accélération est

$$2a_x(x - x_0) = v^2 - v_0^2$$

$$2 \cdot a_x \cdot (94{,}5m - 0m) = \left(77\tfrac{m}{s}\right)^2 - 0$$

$$a_x = 31{,}4\,\tfrac{m}{s^2}$$

Les composantes du poids apparent sont donc

$$\begin{aligned} P_{app\,x} &= -ma_x \\ &= -70kg \cdot 31{,}4\,\tfrac{m}{s^2} \\ &= -2198N \end{aligned} \qquad \begin{aligned} P_{app\,y} &= -mg \\ &= -70kg \cdot 9{,}8\,\tfrac{m}{s^2} \\ &= -686N \end{aligned}$$

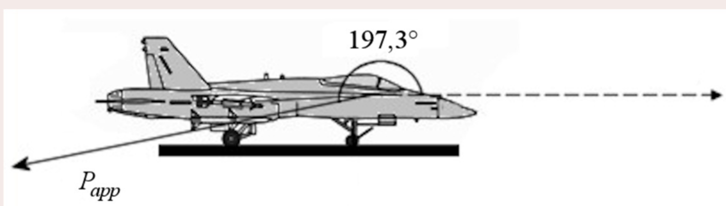
La grandeur du poids apparent est donc

$$\begin{aligned} P_{app} &= \sqrt{P_{app\,x}{}^2 + P_{app\,y}{}^2} \\ &= \sqrt{(-2198N)^2 + (-686N)^2} \\ &= 2302N \end{aligned}$$

La direction du poids apparent est

$$\begin{aligned} \theta &= \arctan \frac{P_{app\,y}}{P_{app\,x}} \\ &= \arctan \frac{-686N}{-2198N} \\ &= 197{,}3° \end{aligned}$$

Ce qui donne la direction suivante.



Le pilote se sent donc attiré vers l'arrière de l'avion et un peu vers le bas.

Le nombre de g subi est

$$\begin{aligned} n_g &= \frac{P_{app}}{mg} \\ &= \frac{2302N}{686N} \\ &= 3{,}36 \end{aligned}$$

Notre pilote se sent donc 3,36 fois plus lourd.

Notez qu'un F-18 ne peut pas atteindre seul une accélération de 31,4 m/s². La poussée des moteurs est, au maximum, de 196 000 N alors que la masse minimale est de 10 400 kg. Cela permettrait d'atteindre, sans aucune friction, une accélération maximale de 18,8 m/s².

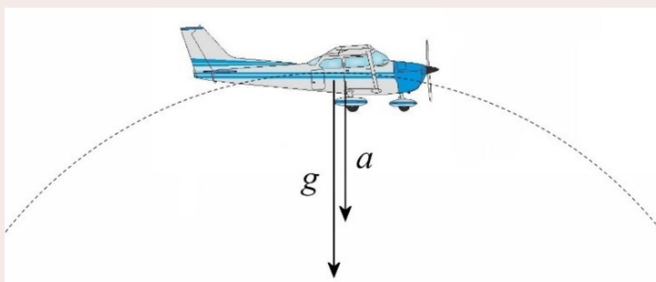
Pour arriver à une accélération de 31,4 m/s², on utilise une catapulte. Il s'agit d'un mécanisme qui permet de tirer l'avion le long de la piste pour lui donner une plus grande accélération. Ce mécanisme est sous la piste et il s'accroche à la roue avant de l'avion. Évidemment, le crochet se détache tout seul en bout de piste quand l'avion décolle.
https://www.youtube.com/watch?v=eoI98gjhx3Q

Accélération vers le bas ou vers le haut

Exemple 7.4.2

Élodie pilote un Cessna volant à 100 nœuds qui fait un mouvement circulaire dans la direction montrée sur la figure. Le rayon du virage est de 500 m. Quel est le nombre de *g* subi par Élodie (qui a une masse de 50 kg) au point le plus haut ?

Au point le plus haut, l'accélération est dans la direction montrée sur cette figure.



www.pinterest.ca/pin/631418810232343601/

Les deux composantes du poids apparent sont

$$P_{app\ x} = 0$$
$$P_{app\ y} = -mg - ma_y$$

Puisque l'accélération est

$$\begin{aligned} a_y &= -\frac{v^2}{r} \\ &= -\frac{\left(51{,}5 \tfrac{m}{s}\right)^2}{500m} \\ &= -5{,}3 \tfrac{m}{s^2} \end{aligned}$$

on a

$$\begin{aligned} P_{app\ y} &= -mg - ma_y \\ &= -50kg \cdot 9{,}8 \tfrac{m}{s^2} - 50kg \cdot \left(-5{,}3 \tfrac{m}{s^2}\right) \\ &= -225N \end{aligned}$$

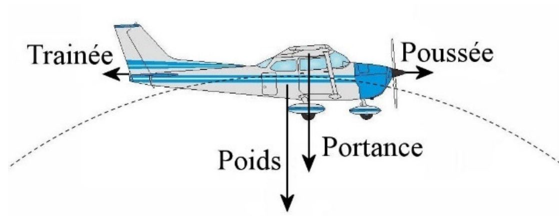
Le poids apparent est donc de 225 N vers le bas.

Le nombre de g est

$$\begin{aligned} n_g &= \frac{225N}{490N} \\ &= 0,459 \end{aligned}$$

Élodie se sent donc comme si elle avait un poids valant 45,9 % du poids qu'elle a normalement. Elle se sent donc plus légère.

Supposons maintenant que l'accélération vers le bas soit plus grande que 9,8 m/s² dans l'exemple précédent. Notez que pour que cela se produise, il faut que la portance soit dirigée vers le bas, comme sur la figure de droite.

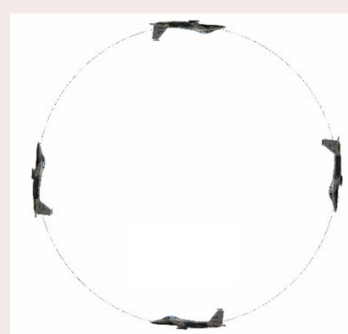


Si, l'accélération avait été de 15 m/s² vers le bas dans l'exemple précédent, alors le poids apparent aurait été de

$$\begin{aligned} P_{app\ y} &= -mg - ma_y \\ &= -50kg \cdot 9,8\tfrac{m}{s^2} - 50kg \cdot \left(-15\tfrac{m}{s^2}\right) \\ &= 260N \end{aligned}$$

Comme la valeur du poids apparent est positive, le poids apparent est vers le plafond de l'avion. Dès que l'accélération vers le bas dépasse 9,8 m/s², le poids apparent est vers le plafond de l'avion. Tout va se passer comme si la gravitation était dirigée vers le plafond de l'avion.
https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=CtnXWwzn368
Ça c'est un peu dégueu…
https://www.youtube.com/watch?v=NGcojK436LQ
Lors de turbulences, une accélération importante vers le bas peut rapidement transformer un poids apparent vers le bas en un poids apparent vers le haut.
https://www.youtube.com/watch?v=envRYX6JnXo

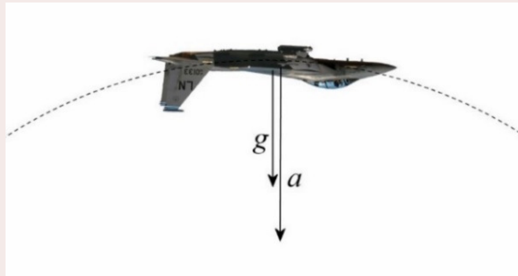
Exemple 7.4.3



Un F/A-18E volant à 300 nœuds fait une boucle. Le rayon du virage est de 560 m.

a) Quel est le nombre de g subi par le pilote au point le plus haut ?

Au point le plus haut, l'accélération est dans la direction montrée sur la figure suivante.



Le poids apparent est

$$P_{app\ y} = -mg - ma_y$$

Puisque l'accélération est

$$\begin{aligned} a_y &= -\frac{v^2}{r} \\ &= -\frac{\left(154,4\tfrac{m}{s}\right)^2}{560m} \\ &= -42,6\tfrac{m}{s^2} \end{aligned}$$

on a

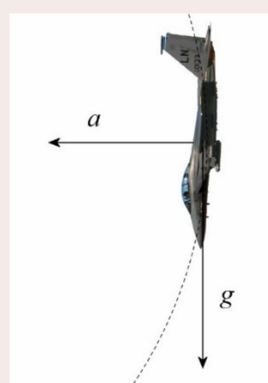
$$\begin{aligned} P_{app\ y} &= -mg - ma_y \\ &= -m\cdot 9,8\tfrac{m}{s^2} - m\cdot\left(-42,6\tfrac{m}{s^2}\right) \\ &= m\cdot 32,8\tfrac{m}{s^2} \end{aligned}$$

Le poids apparent est vers le haut (puisque la valeur est positive).

Le nombre de g est

$$\begin{aligned} n_g &= \frac{m\cdot 32,8\frac{m}{s^2}}{m\cdot 9,8\frac{m}{s^2}} \\ &= 3,35 \end{aligned}$$

Le pilote dans cet avion se sent donc comme s'il avait un poids valant 3,35 fois le poids qu'il a normalement. Comme la composante en y est positive, il se sent attirer vers le haut, ce qui signifie qu'il reste en contact avec son siège.



b) Quel est le nombre de g subi par le pilote quand il descend verticalement ?

À ce moment, l'accélération est dans la direction montrée la figure de droite. Les composantes du poids apparent sont

$$P_{app\,x} = -ma_x$$
$$P_{app\,y} = -mg$$

Puisque l'accélération est

$$a_x = -\frac{v^2}{r}$$
$$= -42{,}6\,\tfrac{m}{s^2}$$

on a

$$P_{app\,x} = -ma_x \qquad P_{app\,y} = -mg$$
$$= -m \cdot \left(-42{,}6\,\tfrac{m}{s^2}\right) \qquad = -m \cdot 9{,}8\,\tfrac{m}{s^2}$$
$$= m \cdot 42{,}6\,\tfrac{m}{s^2} \qquad = -m \cdot 9{,}8\,\tfrac{m}{s^2}$$

Le poids apparent est donc

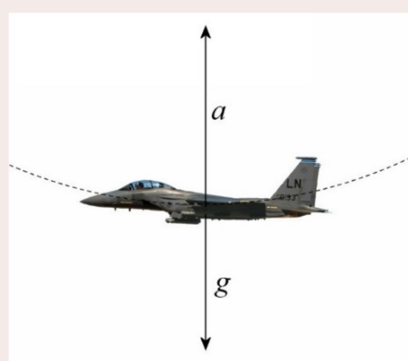
$$n_g = \frac{P_{app}}{mg}$$
$$= \frac{\sqrt{(mg)^2 + (ma_x)^2}}{mg}$$

On a vu qu'avec cette formule, les *m* s'annulent, On a donc

$$n_g = \frac{\sqrt{g^2 + a_x^2}}{g}$$
$$= \frac{\sqrt{\left(42{,}6\,\tfrac{m}{s^2}\right)^2 + \left(9{,}8\,\tfrac{m}{s^2}\right)^2}}{9{,}8\,\tfrac{m}{s^2}}$$
$$= 4{,}46$$

Le pilote dans cet avion se sent donc comme s'il avait un poids valant 4,46 fois le poids qu'il a normalement.

c) Quel est le nombre de g subi par le pilote au point le plus bas ?



Au point le plus bas, l'accélération est dans la direction montrée sur la figure de droite.

Le poids apparent est

$$P_{app\,y} = -mg - ma_y$$

Puisque l'accélération est

$$\begin{aligned} a_y &= \frac{v^2}{r} \\ &= 42,6 \tfrac{m}{s^2} \end{aligned}$$

on a

$$\begin{aligned} P_{app\ y} &= -mg - ma_y \\ &= -m \cdot 9,8 \tfrac{m}{s^2} - m \cdot \left(42,6 \tfrac{m}{s^2}\right) \\ &= -m \cdot 52,4 \tfrac{m}{s^2} \end{aligned}$$

Le poids apparent est donc vers le bas.

Le nombre de *g* est

$$\begin{aligned} n_g &= \frac{m \cdot 52,4 \tfrac{m}{s^2}}{m \cdot 9,8 \tfrac{m}{s^2}} \\ &= 5,35 \end{aligned}$$

Le pilote dans cet avion se sent donc comme s'il avait un poids valant 5,35 fois le poids qu'il a normalement. Comme la composante en *y* est négative, il se sent attirer vers le bas.

On remarque que c'est au point le plus bas (quand l'avion accélère vers le haut) que le pilote subit le plus grand nombre de *g*.

Le nombre de *g* maximal que peut tolérer un humain

Dans l'exemple précédent, le pilote subit, au point le plus bas, 5,35 *g*. Le pilote de cet avion se sent donc un peu plus de 5 fois plus lourd que d'habitude. Cela amène la question suivante : comment le corps humain réagit-il quand il est soumis à un grand nombre de *g* ?

Sans entrainement, 3 ou 4 *g* peuvent devenir rapidement inconfortables. C'est pourquoi le nombre de *g* maximal qu'on peut atteindre dans des montagnes russes est d'environ 4 *g* vers le bas et de 0,5 *g* vers le haut. (On supporte nettement moins bien les *g* vers le haut puisque le sang s'accumule alors dans la tête.)

Si on reste un peu trop longtemps à 4 *g* ou plus, il y a de bonnes chances qu'il y ait perte de conscience. Dans ce cas, le sang du corps s'accumule dans les membres inférieurs et il y aura un manque de sang dans le cerveau. Cela peut entrainer une perte de conscience, ce qui peut être catastrophique si cela se produit en pilotant un avion de combat. Ce passager d'un F-18 perd connaissance pendant les 20 secondes à 6,8 *g*.
https://www.youtube.com/watch?v=4laCspgsIbk

C'est pourquoi les petits avions commerciaux sont limités à 3,8 *g* et les gros transporteurs à 2,5 *g*. Avec un avion de chasse, on peut cependant aller jusqu'à une dizaine de *g*. Par exemple, les commandes d'un F-18 ne permettront pas au pilote de dépasser 7,5 *g* (valeur qui monte à 10 *g* en appuyant sur le g-lim ovrd pour *g-limit override*).

Toutefois, personne ne peut rester conscient à une dizaine de *g* sans entrainement. Pour arriver à supporter ce nombre important de *g*, on doit contracter tous les muscles du bas du corps en même temps pour empêcher le sang de s'accumuler dans les muscles du bas du corps. Cela permet de garder un peu de sang dans la tête et de rester conscient. On travaille aussi sur la respiration pour augmenter la pression d'air dans le thorax pour augmenter la pression sanguine. Après un entrainement de plusieurs mois, les aspirants-pilotes américains doivent être en mesure de supporter un 9 *g* pendant 10 secondes (pour atteindre le nombre de *g* important montré dans les tests précédents, on place les pilotes dans une centrifugeuse). Ils ont deux chances pour réussir ce test sinon ils ne seront pas pilotes de combat. Voici certains de ces pilotes.
http://www.youtube.com/watch?v=jKNDhEdHoBc

Mais peut-on aller plus loin que 9 *g* ? On a développé des combinaisons de pilote qui serrent les jambes quand il y a des accélérations importantes, empêchant ainsi le sang de s'accumuler à cet endroit. Cela permet à certains pilotes de supporter jusqu'à 14 *g*. C'est pas mal le maximum qu'un pilote très entrainé peut encaisser. Ce pilote arrive à supporter 12 *g*.
https://www.youtube.com/watch?v=JrUCGZO5H9s

Durant les années 40 et 50, le médecin John Stapp de l'armée de l'air américaine a cherché à savoir jusqu'où on pouvait aller avec une série du test avec des accélérations de courtes durées de plus en plus grandes. Voici d'ailleurs un de ces tests.
http://www.youtube.com/watch?v=3UEYxf4fl_A
Stapp est allé jusqu'à 46,2 *g*. Puisqu'il avait la tête penchée vers l'avant dans ce test, le sang s'est accumulé dans sa tête et cela fit éclater les capillaires dans ses yeux. Ces derniers se sont alors emplis de sang et il fut aveugle pendant quelques jours.

Si l'accélération agit pendant un très court laps de temps, les fluides du corps n'auront pas le temps de se déplacer et on peut alors résister à des nombres de *g* beaucoup plus grand. Il n'est pas rare que des gens survivent à des accidents de voiture alors qu'ils ont subi jusqu'à 50 *g*. Au-delà de 50 *g*, de sérieuses blessures peuvent survenir, mais on peut quand même survivre à un accident dans lequel on subit 100 *g*. Kenny Bräck a même survécu à cet accident au cours duquel il encaissa, durant un très court moment, 214 *g* ! (On le sait parce qu'il y a des accéléromètres dans les voitures de course.)
http://www.youtube.com/watch?v=Hy8fgGiI1WA
Bräck fit un retour en course 2 ans plus tard… mais il n'était plus le même pilote.

Accélération de côté (virage)

Exemple 7.4.4

Un Airbus A330 effectue un virage standard (période de 2 minutes) à 250 nœuds.

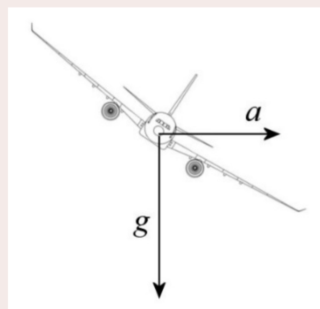
a) Quel est l'angle d'inclinaison de l'avion ?

L'angle d'inclinaison est

$$\begin{aligned} 2\pi v &= Tg \tan\beta \\ 2\pi \cdot 128,7 \tfrac{m}{s} &= 120s \cdot 9,8 \tfrac{N}{kg} \cdot \tan\beta \\ 0,6876 &= \tan\beta \\ \beta &= 34,51° \end{aligned}$$

b) Quel est le nombre de g subi par un passager de l'Airbus ?

Pendant le virage, il y a une accélération centripète horizontale. Comme il n'y a que de l'accélération en x, les composantes du poids apparent sont



$$\begin{aligned} P_{app\,x} &= -ma_x \\ P_{app\,y} &= -mg \end{aligned}$$

Il nous faut donc l'accélération. Dans un mouvement circulaire uniforme, on peut la trouver avec

$$a_x = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

Pour la calculer, il nous faut le rayon de la trajectoire. Comme l'avion fait un tour en 120 secondes à une vitesse de 250 nœuds, la circonférence du cercle est

$$\begin{aligned} \ell &= vt \\ &= 128,7 \tfrac{m}{s} \cdot 120s \\ &= 15\,444m \end{aligned}$$

Cela signifie que le rayon est

$$\begin{aligned} r &= \frac{\ell}{2\pi} \\ &= \frac{15\,444m}{2\pi} \\ &= 2458m \end{aligned}$$

L'accélération est donc

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{4\pi^2 r}{T^2} \\ &= \frac{4\pi^2 \cdot 2458m}{(120s)^2} \\ &= 6,739 \tfrac{m}{s^2} \end{aligned}$$

Les composantes du poids apparent sont donc

$$\begin{aligned} P_{app\ x} &= -ma_x \\ &= -m \cdot 6,739 \tfrac{m}{s^2} \end{aligned} \qquad \begin{aligned} P_{app\ y} &= -mg \\ &= -m \cdot 9,8 \tfrac{m}{s^2} \end{aligned}$$

Même si on ne sait pas la masse de la personne, on peut trouver le nombre de g.

$$\begin{aligned} n_g &= \frac{P_{app}}{mg} \\ &= \frac{\sqrt{\left(m \cdot 9,8 \tfrac{m}{s^2}\right)^2 + \left(m \cdot 6,739 \tfrac{m}{s^2}\right)^2}}{m \cdot 9,8 \tfrac{m}{s^2}} \\ &= \frac{\sqrt{\left(9,8 \tfrac{m}{s^2}\right)^2 + \left(6,739 \tfrac{m}{s^2}\right)^2}}{9,8 \tfrac{m}{s^2}} \\ &= 1,21 \end{aligned}$$

On atteint rarement des valeurs de g élevées dans un avion de ligne. Cette valeur de 1,2 g est cependant tout à fait acceptable. Les passagers vont se sentir 1,2 fois plus lourds, ce qu'ils pourront facilement supporter.

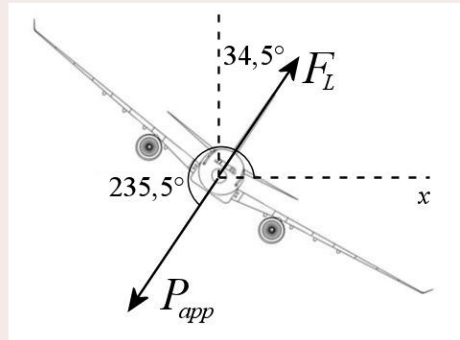
c) Dans quelle direction est le poids apparent ?

On trouve la direction du vecteur avec

$$\begin{aligned} \theta &= \arctan \frac{P_{app\ y}}{P_{app\ x}} \\ &= \arctan \frac{-mg}{-ma_x} \\ &= \arctan \frac{-g}{-a_x} \\ &= \arctan \frac{-9,8 \tfrac{m}{s^2}}{-6,739 \tfrac{m}{s^2}} \\ &= 235,4° \end{aligned}$$

(On a ajouté 180° puisque le diviseur est négatif. Notez qu'on ne pouvait pas simplifier les signes négatifs, car on aurait alors perdu ce signe négatif qui nous indiquait d'ajouter 180°.)

La figure montre la direction du poids apparent dans ce cas.

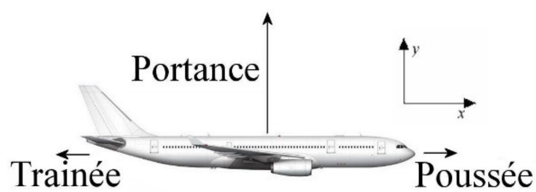


La direction du poids apparent dans l'avion

Dans l'exemple précédent, la direction du poids apparent est exactement opposée à celle de la portance. Ce n'est pas accidentel. C'est toujours le cas quand l'avion tourne à vitesse constante. En effet, on se rappelle que le poids apparent est égal à l'opposé de la somme de force sauf le poids.

$$\vec{P}_{app} = -\left(\sum \vec{F} - m\vec{g}\right)$$

Donc, si on ne compte pas le poids, il reste les 3 forces montrées sur la figure de droite.



<u>Si la trainée et la poussée s'annulent</u>

Si la poussée et la trainée s'annulent mutuellement et il ne reste que la portance. Cela veut dire que le poids apparent est de même grandeur que la portance et opposé à celle-ci.

Le poids apparent et la portance (si la trainée et la poussée s'annulent)

$$\vec{P}_{app} = -\vec{F}_L$$

Cela veut dire aussi que le nombre de g est

$$n_g = \frac{\left|P_{app}\right|}{mg} = \frac{F_L}{mg}$$

Comme F_L/mg est égal au facteur de charge, on constate que le nombre de g est égal au facteur de charge.

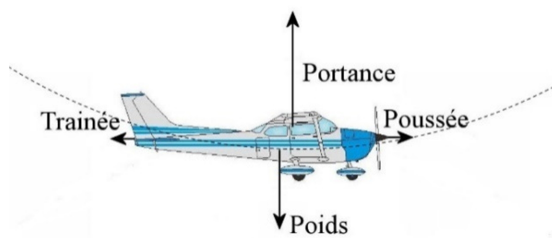
Nombre de *g* et facteur de charge (si la trainée et la poussée s'annulent)

$$n_g = n$$

(C'est un peu pour ça que le symbole du facteur de charge est *n*.)

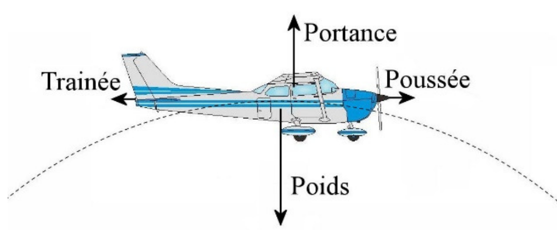
C'est donc pour cela que les facteurs de charges des petits avions commerciaux sont limités à 3,8 pour la catégorie normale et à 4,4 pour la catégorie utilitaire et que les gros avions de transport sont limités à 2,5. Ce sont en fait les limites du nombre de g que pourront subir les occupants de l'avion. En deçà de ces limites, on ne devrait pas perdre connaissance.

Voyons si ces équations sont cohérentes avec ce qu'on a calculé dans les exemples précédents.



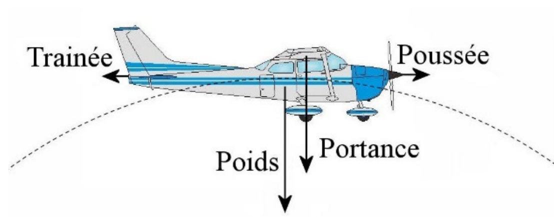
Au point le plus bas d'un mouvement circulaire à vitesse constante, la portance doit être plus grande que le poids de l'avion (pour avoir une force centripète vers le haut). Comme la portance est égale au poids apparent, le poids apparent est plus grand que le poids et n_g est supérieur à 1. Les personnes dans l'avion vont alors se sentir plus lourdes que quand il n'y avait pas d'accélération. Cela signifie aussi que le facteur de charge est plus grand que 1 au point le plus bas de ce mouvement.

Dans l'exemple du F-18 qui fait une boucle verticale à vitesse constante, on avait trouvé que le nombre de g au point le plus bas était de 5,33. Au chapitre 6, on avait calculé que le facteur de charge de cet avion au point le plus bas est aussi de 5,33. Comme prévu, les valeurs sont identiques et plus grandes que 1.



Au point le plus haut d'un mouvement circulaire à vitesse constante (avec une accélération inférieure à 9,8 m/s²), la portance doit être plus petite que le poids de l'avion (pour avoir une force centripète vers le bas). Comme la portance est égale au poids apparent, le poids apparent est plus petit que le poids et n_g est inférieur à 1. Les personnes dans l'avion vont alors se sentir moins lourdes que quand il n'y avait pas d'accélération. Cela signifie aussi que le facteur de charge est plus petit que 1 au point le plus haut de ce mouvement.

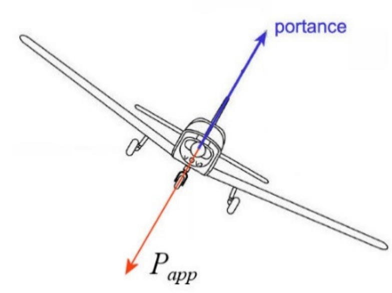
Dans l'exemple du Cessna qui fait ce mouvement, on avait trouvé que le nombre de g au point le plus haut était de 0,459. Comme prévu, la valeur est inférieure à 1. On saurait aussi que le facteur de charge au point le plus bas est de 0,459.



Si l'accélération au point le plus haut est supérieure à 9,8 m/s², alors la portance doit être dirigée vers le bas pour qu'on puisse avoir suffisamment de force centripète. Le poids apparent, qui est dans la direction opposée à la portance, doit donc être dirigé vers le haut. C'est effectivement ce que nous avaient donné les équations pour ce mouvement.

L'équation

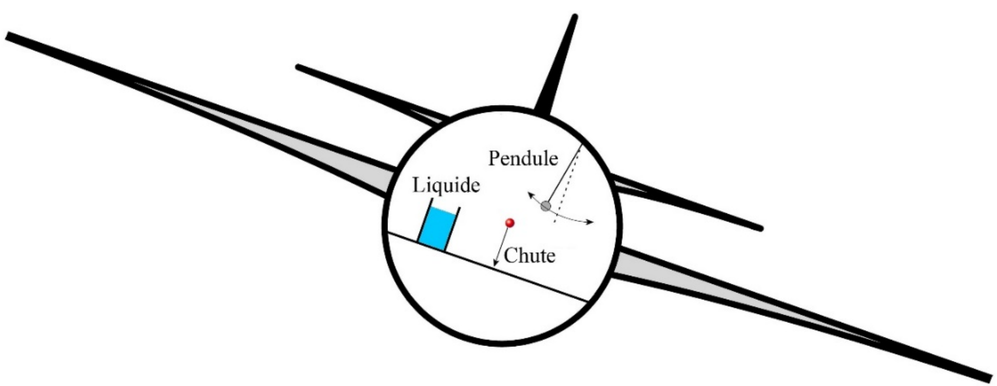
$$\vec{P}_{app} = -\vec{F}_L$$



montre clairement que si l'avion s'incline dans un virage, alors le poids apparent doit également s'incliner (parce que les deux vecteurs sont opposés).

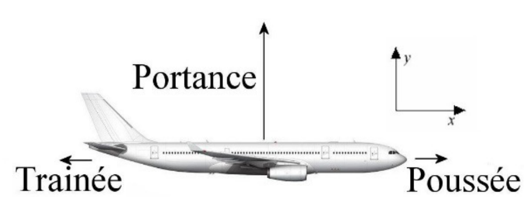
Comme la portance est toujours perpendiculaire au plancher de l'avion, <u>le poids apparent doit aussi être perpendiculaire au plancher de l'avion</u>. Cela signifie qu'on se sent attiré directement vers le plancher de l'avion, même quand l'avion est incliné. On ne se sent pas attiré vers un côté de l'avion, même si l'angle d'inclinaison dans le virage est très prononcé.

Comme le principe d'équivalence dit qu'on ne peut pas faire la distinction entre l'effet de la gravitation et l'effet de l'accélération, <u>tout se passe comme si la gravitation était toujours dirigée exactement vers le plancher de l'avion</u>. Si on laisse tomber un objet, il va tomber directement vers le plancher de l'avion même si l'avion est incliné. S'il y a une boule sur le plancher, elle ne va pas rouler vers un côté de l'avion. S'il y a un verre d'eau dans l'avion, la surface de l'eau restera parallèle au plancher et ne s'inclinera pas dans le verre. S'il y a un pendule, il va osciller autour de la direction du poids apparent.



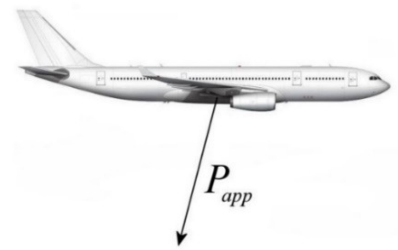
Tout se passe comme si la gravitation était dirigée exactement vers le plancher de l'avion. On peut même se verser un verre d'eau normalement pendant un virage.
https://www.youtube.com/watch?v=g99ho_ExApU
https://www.youtube.com/watch?v=_7n0hflAxD4

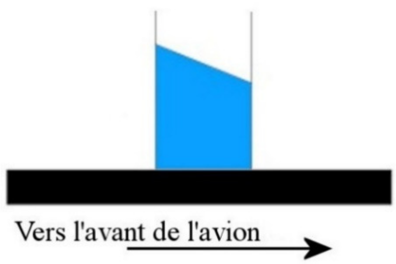
<u>Si la trainée et la poussée ne s'annulent pas</u>



On se rappelle qu'on doit additionner les 3 forces montrées à droite pour trouver le poids apparent.

Si la poussée est plus grande que la trainée, la somme de ces 3 forces est alors vers le haut, un peu incliné vers le devant de l'avion. Comme le poids apparent est dans la direction opposée à cette somme, le poids apparent est vers le bas et un peu vers l'arrière. Cette fois-ci, les personnes dans l'avion auront l'impression que la gravitation les attire vers le bas, mais aussi un peu vers l'arrière de l'avion.

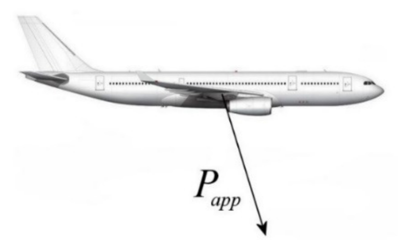


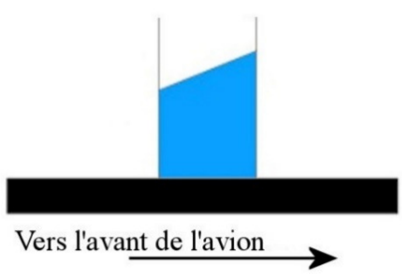


Comme le principe d'équivalence dit qu'on ne peut pas faire la distinction entre l'effet de la gravitation et l'effet de l'accélération, tout se passe comme si la gravitation était dirigée un peu vers l'arrière de l'avion. Par exemple, si quelqu'un a un verre d'eau pendant que l'avion accélère, il verra la surface de l'eau s'incliner de sorte que le niveau d'eau sera plus élevé vers l'arrière de l'avion.

Notez qu'on a un poids apparent un peu vers l'arrière dès que la poussée est plus grande que la trainée. Cela se produit quand l'avion accélère, mais aussi quand l'avion monte à vitesse constante. Cela signifie qu'une montée à vitesse constante donne exactement la même sensation qu'un avion qui accélère. Impossible de faire la distinction entre les deux sensations sans regarder l'horizon ou les instruments de vol.

Si la poussée est plus petite que la trainée, la somme des 3 forces est alors vers le haut, un peu incliné vers le derrière de l'avion. Comme le poids apparent est dans la direction opposée à cette somme, le poids apparent est vers le bas et un peu vers l'avant. Cette fois-ci, les personnes dans l'avion auront l'impression que la gravitation les attire vers le bas, mais aussi un peu vers l'avant de l'avion.





Tout se passe exactement comme si la gravitation était aussi un peu vers l'avant de l'avion. Par exemple, si quelqu'un a un verre d'eau pendant que l'avion ralentit, il verra alors la surface de l'eau s'incliner de sorte que le niveau d'eau sera plus élevé vers l'avant de l'avion.

Notez qu'on a un poids apparent un peu vers l'avant dès que la poussée est plus petite que la trainée. Cela se produit quand l'avion décélère, mais aussi quand l'avion descend à vitesse constante. Cela signifie qu'une descente à vitesse constante donne exactement la même sensation qu'un avion qui décélère. Impossible de faire la distinction entre les deux sensations sans regarder l'horizon ou les instruments de vol.

Le poids apparent peut donc être dirigé un peu vers l'avant ou l'arrière de l'avion si la trainée n'est pas égale à la poussée. Toutefois, le poids apparent ne peut pas être dévié vers un des côtés de l'avion par ces forces. Cela veut dire que le poids apparent dans l'avion n'a jamais de composante vers un des côtés de l'avion. Quand on est dans l'avion, tout se passe comme si la gravitation était directement vers le plancher. La gravitation pourra sembler être un peu vers l'avant ou l'arrière de l'avion si la trainée et la poussée ne sont pas égales, mais elle ne semblera jamais être vers un des côtés de l'avion.

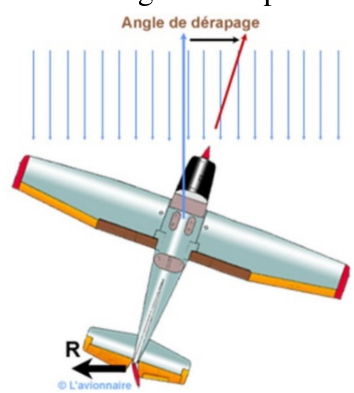
En résumé, cela veut dire qu'on ne sent pas l'inclinaison dans l'avion ! Il n'y a qu'une seule différence pendant un virage : la gravitation semble plus grande dans un virage parce que le nombre de *g* est supérieur à 1 (et l'augmentation n'est pas très grande pour les vols commerciaux). À part cette différence, tout se passe, dans l'avion, comme si l'avion n'était pas incliné.

La règle suivante est donc très importante.

Il est impossible de savoir si l'avion est incliné si on se fie uniquement à la sensation de gravitation puisque le poids apparent ne sera jamais dirigé vers un des côtés de l'avion.

Pour qu'on se sente attiré vers un des côtés de l'avion, il faut qu'il y ait des forces qui agissent vers un côté ou l'autre de l'avion. Ces forces peuvent être générées par des variations rapides de la vitesse du vent horizontal. C'est ce qui peut se produire lors des turbulences, mais la force de côté ne va jamais rester du même côté très longtemps. Habituellement, la force va plutôt passer d'un côté à l'autre de l'avion quand il y a des turbulences.

En vol, on peut aussi générer des forces de côté avec un lacet important (figure). La friction de l'air agirait alors avec un certain angle par rapport à l'avion ce qui engendrerait une sensation de poids vers un côté.



www.lavionnaire.fr/CelluleGouvernes.php

On pourrait aussi avoir des forces de côté quand l'avion est en contact avec le sol et encore là, c'est plutôt rare que le sol fasse une force vers un côté ou l'autre de l'avion (à moins d'une perte de contrôle sur la piste).

7.5 DÉSORIENTATION DES PILOTES

Rappelons-nous le principe d'équivalence : tout se passe exactement comme si on avait une gravitation dans le sens du poids apparent. L'effet de l'accélération est impossible à distinguer de l'effet de la gravitation.

Cela signifie qu'une personne dans un avion peut facilement perdre ses repères puisqu'on a les effets suivants.

1- On peut avoir l'impression que l'avion monte alors qu'il accélère (ou vice-versa).
2- On peut avoir l'impression que l'avion descend quand il ralentit (ou vice-versa).
3- On ne sent jamais l'inclinaison de l'avion dans un virage.

Habituellement, tout cela ne cause pas vraiment de problèmes quand on voit l'horizon. En voyant l'horizon, on peut facilement voir si l'avion est incliné, s'il monte ou s'il descend. La situation peut se compliquer si la mauvaise visibilité empêche de voir l'horizon. Dans ce cas, il faut se fier à l'horizon artificiel.

En cas de mauvaise visibilité et de panne de gyroscope (l'horizon artificiel ne fonctionne plus dans ce cas), la situation peut rapidement dégénérer. Les pilotes n'ont plus aucun moyen (vraiment aucun moyen) de savoir si l'avion est incliné. S'ils sentent une attraction vers l'arrière, ils ne savent pas du tout si l'avion monte ou s'il accélère et s'ils sentent une attraction vers l'avant, ils ne savent pas du tout si l'avion descend ou s'il ralentit (à moins de regarder attentivement l'indicateur de vitesse).

Le 28 novembre 1974, l'horizon artificiel cesse de fonctionner sur le vol 2415 d'Aeroflot alors que les conditions de visibilité étaient très mauvaises. Les pilotes sont alors complètement désorientés lors d'un virage et l'avion s'écrase peu après son décollage de Moscou.

Le 11 octobre 1983, le vol 710 d'Air Illinois s'écrase près de Pinckneyville en Illinois. Pendant le vol, il y a un problème avec un générateur. Comme le générateur gauche avait souvent des problèmes sur cet avion, le pilote déconnecte ce générateur. Toutefois, c'était le générateur de droite qui venait de rendre l'âme. Avec un générateur défectueux et un générateur déconnecté, les batteries deviennent alors l'unique source d'électricité. (Les pilotes tentent de rebrancher le générateur en bon état, mais en vain.) Malgré ce problème, l'équipage décide de poursuivre le vol. Malheureusement, les batteries se déchargent avant d'arriver à destination. Tous les instruments cessent alors de fonctionner, incluant l'horizon artificiel. Volant dans des nuages en pleine nuit, les pilotes ne peuvent plus connaitre l'inclinaison de l'avion et finissent par s'écraser (Mayday, saison 22 épisode 8). Les 10 occupants de l'avion périssent.

Le 22 décembre 1999, le vol 8509 de la Korean Air Cargo s'écrase à Great Hallingbury en Angleterre. Il y a eu un bris sur un gyroscope du Boeing 747, ce qui envoyait de mauvaises informations à l'horizon artificiel du pilote. Quand l'avion amorce un virage en pleine nuit juste après le décollage, l'horizon artificiel du pilote ne montre aucune inclinaison. Le pilote accentue sans cesse le virage de l'avion en se demandant bien pourquoi l'avion ne s'incline pas. Comme il y a 3 gyroscopes, il y a eu une alarme avertissant les pilotes qu'il y a un désaccord entre les gyroscopes. Normalement, l'équipage peut facilement savoir quel horizon affiche de mauvaises informations puisqu'ils voient les 3 horizons artificiels dans le cockpit. Le copilote, qui voit bien que l'inclinaison devient trop grande sur son horizon, n'ose pas intervenir. L'ingénieur (ils étaient 3 dans le cockpit) intervient et donne l'avertissement « bank » 4 fois en 19 secondes. Toutefois, le capitaine ignore les avertissements de l'alarme et de l'ingénieur. Comme son horizon ne montre aucune inclinaison, il augmente de plus en plus l'inclinaison de l'avion. 55 secondes après le décollage, l'aile gauche touche le sol alors que l'avion se déplace à 300 nœuds, qu'il est incliné de 90° et qu'il descend avec un angle de 40° puisqu'il a décroché depuis quelques secondes (Mayday, saison 11 épisode 7).

Il y a même des accidents alors que les horizons artificiels fonctionnent très bien.

Le 2 juillet 1994, le vol 1016 de la US Air s'écrase un peu avant l'atterrissage à Charlotte en Caroline du Nord. L'Airbus A300 traverse un orage imprévu très important pendant l'approche. L'orage génère un important mouvement d'air vers le bas (un des plus rapides jamais mesuré), ce qui fait descendre l'avion plus rapidement que prévu. Alors que l'avion se retrouve plutôt près du sol, le pilote descend le nez de l'avion, ce qui mène à l'écrasement. Tout porte à croire que le pilote a cru que l'avion avait un angle d'attaque très élevé alors qu'il était parfaitement horizontal. La visibilité était mauvaise, mais un simple regard vers l'horizon artificiel lui aurait indiqué que l'avion était horizontal (Mayday, saison 17 épisode 6). Parfois, la sensation de poids peut tellement nous convaincre que l'avion a une certaine orientation qu'on en vient à penser que l'horizon artificiel doit être défectueux. Cependant, l'horizon artificiel est nettement plus fiable que la sensation de poids ressentie par le pilote (Mayday, saison 17 épisode 6).

Le 31 mars 1995, le vol 371 de Tarom s'écrase à Baloteşti en Roumanie. Il y avait un problème avec le contrôle automatique de poussée du moteur gauche sur cet Airbus A310. Pendant la montée, il arrivait que la poussée du moteur retombe toute seule à la puissance minimum. Heureusement, le pilote était au courant de la situation et surveillait la poussée. Mais pendant la montée, le pilote a un malaise et perd connaissance. Très peu de temps après, la poussée du moteur tombe à sa puissance minimale. Trop occupé à tenter de comprendre ce qui arrive au pilote, le copilote ne remarque pas la baisse de poussée et ne regarde pas l'horizon non plus. La poussée plus importante d'un côté fait lentement incliner l'avion et le copilote n'a absolument pas conscience que l'avion s'incline. Quand il finit par regarder l'horizon, il est trop tard (Mayday, saison 19 épisode 6).

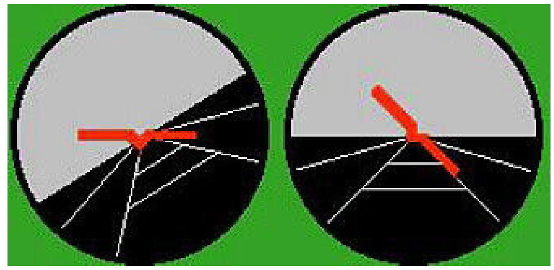
Le 28 décembre 2014, le vol 8501 d'Indonesia AirAsia s'écrase en pleine nuit dans la mer de Java. Un problème avec le contrôleur de la gouverne de direction de l'Airbus A320 déclenche 4 alarmes consécutives dans le cockpit. On peut facilement compenser pour régler le problème, mais le pilote, exaspéré par cette alarme récurrente, décide d'employer une autre méthode en coupant l'alimentation de l'ordinateur de bord avec les fusibles dans le but de faire un « reset ». Mais ce « reset » entraine aussi l'arrêt de plusieurs systèmes, dont le pilote automatique, l'avertisseur de décrochage et l'avertisseur d'inclinaison. Pendant que l'attention de l'équipage est sur les fusibles, rien ni personne ne contrôle l'avion. La gouverne de direction défectueuse prend alors un angle de 3°, ce qui génère un lacet. Quand il y a un lacet, une aile est davantage exposée au flux d'air que l'autre aile, ce qui amène une différence de portance entre les 2 ailes. Cette différence entraine alors une inclinaison de l'avion (c'est ce qu'un appelle un roulis induit). Pendant 9 secondes, l'avion s'incline de plus en plus sans que personne s'en rende compte. Quand les pilotes regardent leurs instruments, ils se rendent compte que l'avion est incliné de 54° ! Sans aide de l'ordinateur, ils doivent piloter manuellement. Le copilote, alors aux commandes, est complètement désorienté et a du mal à corriger l'inclinaison et finalement fait faire une montée à l'avion à 6000 pieds par minute. Quant au pilote, il lui donne la commande contradictoire « pull down » et le copilote continue de tirer sur les commandes. Le pilote prend alors les commandes et pousse sur le manche, mais sans appuyer assez longtemps sur le bouton qui lui permet d'effectivement prendre les commandes et enlever le contrôle au copilote. Dans cette configuration, les commandes des 2 pilotes s'annulaient… L'avion continue de monter, perd de la vitesse et finit par décrocher (Mayday, saison 16 épisode 9).

Le 23 février 2019, le vol 3591 de Atlas Airlines s'écrase pendant son approche à l'aéroport de Houston. Quand le copilote accroche accidentellement et sans s'en rendre compte la commande d'abandon de l'atterrissage (*go around*), les systèmes automatisés du Boeing 767 remettent les gaz et l'avion accélère. Comme une accélération donne la même sensation qu'un avion dont le nez monte, le copilote, qui est aux commandes, pousse le manche pour faire descendre le nez de l'avion. L'avion est dans les nuages à ce moment et le copilote ne peut pas voir l'horizon. Il continue cette manœuvre pendant plusieurs secondes sans jamais regarder l'horizon artificiel. Quand l'avion sort des nuages, il est déjà trop tard (Mayday, saison 23 épisode 9).

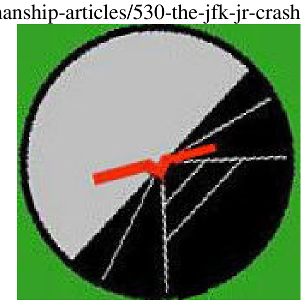
Cette désorientation du pilote est aussi à l'origine de l'écrasement de l'hélicoptère dans lequel prenait place Kobe Bryant le 26 janvier 2020. Le poids apparent est aussi toujours directement vers le plancher dans un hélicoptère même si l'hélicoptère s'incline. Encore une fois, on ne peut pas sentir l'inclinaison de l'hélicoptère. Pris dans un brouillard intense près de Los Angeles, le pilote, probablement trop occupé à chercher un repère visuel dans le brouillard, ne remarque pas que son hélicoptère s'incline. L'hélicoptère perd alors rapidement de l'altitude et s'écrase (Mayday, saison 22 épisode 10).

Plusieurs pilotes ont trouvé la mort en volant aux instruments la nuit. Pendant qu'ils cherchent des repères visuels (comme des lumières), ils ne portent pas attention à l'inclinaison de l'avion. L'avion peut alors s'incliner lentement et les passagers ne sentent pas l'inclinaison. Habituellement, le pilote se rend compte que l'avion est incliné quand il regarde ses instruments et corrige la situation. Toutefois, il arrive que des pilotes inexpérimentés comprennent mal les informations de l'horizon artificiel et corrigent l'inclinaison dans le mauvais sens (ou bien ils ne regardent carrément pas les instruments). L'inclinaison devient alors très grande et la composante verticale de la portance devient trop petite pour compenser le poids de l'avion. L'altitude de l'avion commence alors à diminuer et l'avion amorce un mouvement vers le sol, tout en continuant de tourner. Un mouvement en spiral vers le sol s'amorce (qu'on appelle, en anglais, la *graveyard spiral*). Pour tenter de compenser la perte d'altitude, le pilote tire sur le manche, ce qui ne fait que diminuer le rayon de courbure de la spirale (tout en augmentant le nombre de g subi par les occupants). Le pilote est alors complètement désorienté. On pense que c'est ainsi que John Kennedy Jr s'est écrasé le 16 juillet 1999 (Mayday, saison 14 épisode 6).

Cette erreur d'interprétation de l'horizon artificiel s'est même produite sur un vol commercial. Le 14 septembre 2008, un Boeing 737 d'Aeroflot s'écrase alors qu'il s'apprêtait à se poser à Perm en Russie. Navigant aux instruments dans les nuages la nuit sans pilote automatique, les pilotes du vol 821 ont mal interprété l'horizon et ils ont fait la correction inverse alors que l'avion après pris une certaine inclinaison. Il faut dire que les pilotes avaient précédemment piloté des avions russes (Antonov et Tupolev) avant de se retrouver sur le Boeing 737. Or, les avions russes utilisaient un type différent d'horizon. Sur la figure, on voit, à gauche, le modèle installé sur le Boeing et, à droite, le modèle utilisé sur les avions russes. On comprend mieux d'où peut venir la confusion… (Mayday, saison 19, épisode 8).



smartpilot.ca/airmanship/airmanship-articles/9-airmanship/airmanship-articles/530-the-jfk-jr-crash



Des études ont montré qu'une légère modification de l'horizon pouvait éviter les erreurs d'interprétation de l'horizon. En faisant tourner un peu le symbole représentant l'avion sur l'horizon artificiel dans le sens de la correction apportée, on diminue de beaucoup les corrections inverses. On doit alors chercher à aligner la ligne rouge et l'horizon.

Si l'avion n'accélère pas, alors le poids apparent est exactement le même que le poids que l'on a normalement sur Terre, peu importe la vitesse de l'avion. Quand l'Airbus A330 du vol 447 Rio-Paris d'Air France a décroché en plein vol de croisière, les personnes à bord n'ont pas ressenti la descente puisque le poids apparent n'a pas changé. L'avion est resté horizontal pendant toute sa descente qui se faisait pratiquement à vitesse constante (vitesse verticale de 108 nœuds, soit 11 000 pieds/min, et vitesse horizontale de 107 nœuds). Comme la vitesse verticale a augmenté plutôt lentement, l'accélération a été très faible et le poids apparent est resté pratiquement égal au poids réel. Les passagers et l'équipage n'ont donc pas ressenti la descente. La seule chose qui indiquait la descente était l'altimètre.

7.6 L'IMPESANTEUR[1]

Il se peut que la sensation de poids dû à l'accélération soit complètement annulée par la sensation de poids dû à la gravitation, comme c'était le cas avec l'ascenseur en chute libre. Alors le poids apparent devient nul et les personnes flottent alors comme s'il n'y avait pas de gravité. On dit alors qu'ils sont en état d'impesanteur ou d'apesanteur.

En fait, dès qu'on accélère vers le bas avec la même accélération que l'accélération gravitationnelle, notre poids apparent devient nul. Cela inclut évidemment tous les cas de

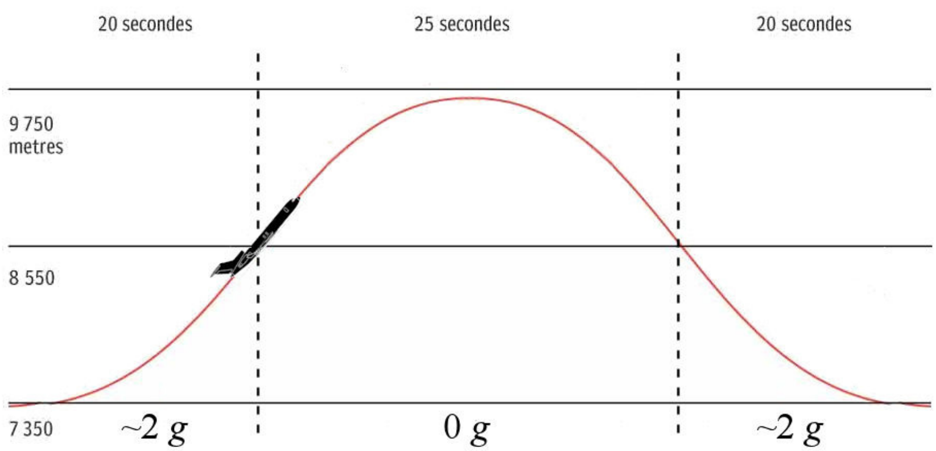
[1] Le terme « apesanteur » est souvent utilisé pour désigner l'absence de poids apparent ; cependant, les confusions orales fréquentes entre « l'apesanteur » et « la pesanteur » ont conduit à utiliser le terme « impesanteur ». L'Académie française constate cependant que le terme a du mal à s'imposer.

chute libre. C'est d'ailleurs ce qui se passe pour les occupants de la station spatiale. On a vu que la station spatiale en orbite autour de la Terre fait un mouvement de chute libre sans fin vers la Terre. Ainsi, l'accélération de la station spatiale est exactement la même que l'accélération gravitationnelle et le poids apparent des astronautes est nul.

Erreur fréquente : Penser que la force de gravitation sur les astronautes en orbite est nulle.

Ce n'est pas le poids (la force de gravitation) qui est nul, c'est le poids apparent. En réalité, le poids des astronautes en orbite est à peine inférieur à ce qu'il est sur Terre. D'ailleurs, si le poids était nul, il n'y aurait pas de force sur les astronautes et ils ne pourraient pas faire de mouvement circulaire autour de la Terre, car il n'y aurait pas de force centripète.

Pas besoin d'être dans la station spatiale pour se retrouver en état d'impesanteur, il suffit d'accélérer vers le bas avec une accélération de 9,8 m/s². Évidemment, on peut s'enfermer dans une boite et se laisser tomber, mais il y a quelques problèmes : la friction de l'air qui va diminuer notre accélération et, évidemment, le choc avec le sol. On peut faire un peu mieux avec un avion. On donne une trajectoire parabolique comme celle-ci à l'avion.



www.telegraph.co.uk/travel/travel-truths/how-do-zero-gravity-planes-work-parabolic-flights/

La partie courbe la plus haute de la trajectoire est une parabole, la même parabole qu'aurait un objet en chute libre. Cela signifie que pendant environ 25 secondes on accélère avec une accélération de 9,8 m/s² vers le bas et que le poids apparent devient nul pendant cette partie de trajectoire. Voici un vidéo montrant les occupants d'un avion faisant une telle trajectoire.
http://www.youtube.com/watch?v=Lhu198E8z2U

On peut même le faire en touriste.
http://www.youtube.com/watch?v=pH2TCEiYwKs

On peut aussi le faire avec son propre avion.
https://www.youtube.com/watch?v=bsdr3-dey2Y

On peut aussi le faire pour un clip de OK go.
https://www.youtube.com/watch?v=LWGJA9i18Co

RÉSUMÉ DES ÉQUATIONS

Le poids apparent à partir de l'accélération

$$\vec{P}_{app} = m\vec{g} + (-m\vec{a})$$

En composantes :

$$P_{app\ x} = -ma_x$$
$$P_{app\ y} = -mg - ma_y$$

avec l'axe des x horizontal et l'axe des y vers le haut

Le poids apparent à partir des forces

$$\vec{P}_{app} = -\left(\sum \vec{F} - m\vec{g}\right)$$

En composantes :

$$P_{app\ x} = -\sum F_x$$
$$P_{app\ y} = -\sum F_y - mg$$

avec l'axe des x horizontal et l'axe des y vers le haut

Le nombre de g

$$n_g = \frac{\left|P_{app}\right|}{P_{\text{reel sur Terre}}} = \frac{\left|P_{app}\right|}{m \cdot 9{,}8 \frac{m}{s^2}}$$

Le poids apparent et la portance (si la trainée et la poussée s'annulent)

$$\vec{P}_{app} = -\vec{F}_L$$

Nombre de g et facteur de charge (si la trainée et la poussée s'annulent)

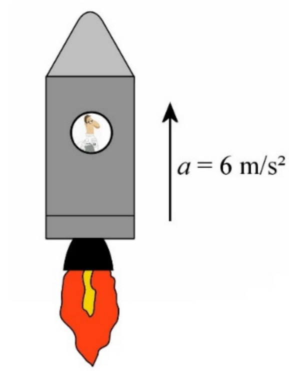
$$n_g = n$$

EXERCICES

7.2 Le poids apparent avec des accélérations en ligne droite

1. Karl, d'une masse de 70 kg, est dans une fusée. Au décollage, la fusée a une accélération de 6 m/s² vers le haut.

    a) Quel est le poids de Karl (grandeur et direction) ?
    b) Quel est le poids apparent de Karl (grandeur et direction) ?
    c) Quel est le nombre de *g* subi par Karl ?



2. Karl, d'une masse de 70 kg, est dans une fusée. Cette fois-ci, la fusée décolle verticalement, mais à partir de la surface de la Lune (où *g* ne vaut que 1,6 N/kg). Au décollage, la fusée a une accélération de 6 m/s² vers le haut.

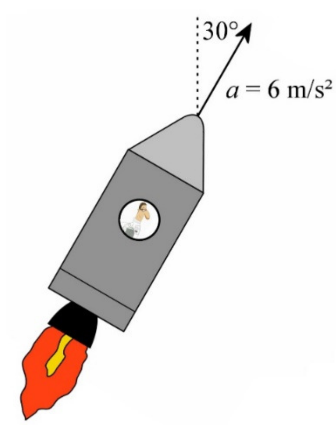
    a) Quel est le poids de Karl (grandeur et direction) ?
    b) Quel est le poids apparent de Karl (grandeur et direction) ?
    c) Quel est le nombre de *g* subi par Karl ?

3. White Zombie est une voiture électrique aux allures modestes, mais ayant des performances extraordinaires. Elle peut atteindre une vitesse de 100 km/h en seulement 1,8 s, laissant loin derrière des voitures telles que des Ferrari. En supposant que l'accélération est constante, quel est le nombre de *g* subi par le pilote pendant cette accélération ?

theelectricautoreview.com/2010/03/25/electric-drag-racing-white-zombie/

4. Karl, d'une masse de 70 kg, est dans une fusée. Un peu après le décollage de la Terre, la fusée a une accélération de 6 m/s² dans une direction faisant 30° avec la verticale.

    a) Quel est le poids apparent de Karl (grandeur et direction) ?
    b) Quel est le nombre de g subi par Karl ?

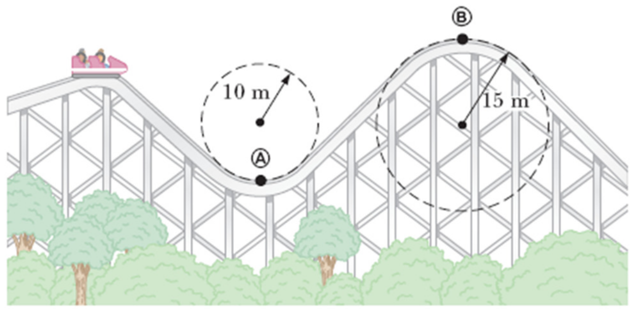


7.3 Le poids apparent avec des accélérations dues à des mouvements circulaires

5. Odette, d'une masse de 120 kg, est dans une voiture de montagnes russes qui roule sur la piste montrée sur cette figure.

   a) Quels sont le poids apparent et le nombre de *g* subi par Odette quand la voiture passe au point A si la vitesse du charriot est de 25 m/s à cet endroit ?

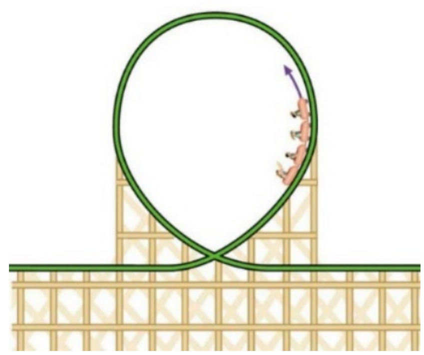
   b) Quels sont le poids apparent et le nombre de *g* subi par Odette quand la voiture passe au point B si la vitesse de charriot est de 10 m/s à cet endroit ?



www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/physics-archive-2011-november-02

6. Quelle devrait être la période de rotation de la Terre si on voulait que le poids apparent d'une personne devienne nul à l'équateur ? (Prenez 6378 km pour le rayon de la Terre.)

7. Victor, d'une masse de 50 kg, fait un tour de montagnes russes. Sur le parcours, il y a une boucle telle qu'illustrée sur cette figure. Au sommet, le rayon de courbure de la piste est de 10 m. Quel doit être la vitesse du charriot pour que Victor ait un poids apparent dirigé vers le haut dont la grandeur est égale au double de la grandeur de son poids ?

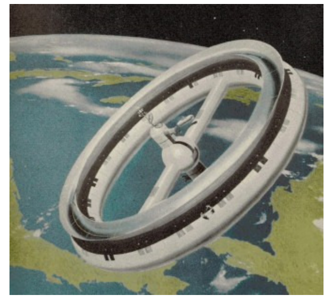


cnx.org/content/m42086/latest/?collection=col11406/latest

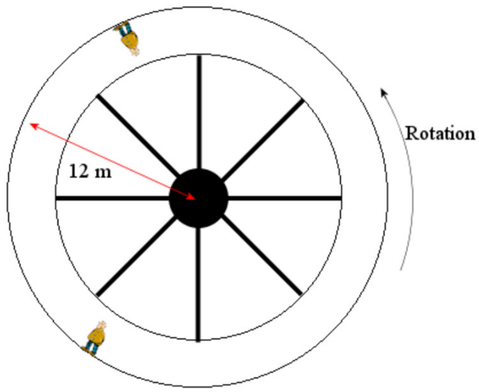
8. Le pilote de cette formule 1 subit 4 g dans ce virage. Quel est le rayon de courbure du virage si la formule 1 va à 180 km/h ?

digitalcatharsis.wordpress.com/tag/crowne-plaza-hotel/

9. Pour éviter de se retrouver en impesanteur dans l'espace, on propose de construire une station spatiale tournante ayant la forme montrée sur la figure de droite. Avec la rotation de la station, les astronautes font un mouvement circulaire qui leur donne une accélération et donc un poids apparent. Les astronautes marcheraient sur le mur externe de la station comme montré sur cette figure.



www.rogersrocketships.com/page_view.cfm?id=24



Avec les dimensions montrées sur la figure, quelle devrait être la période de rotation de la station pour que les personnes dans la station aient un poids apparent égal à leur poids sur Terre si cette station est dans l'espace, loin de toutes planètes ou étoiles ?

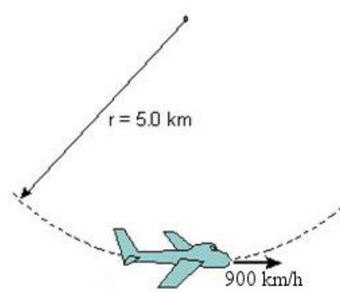
www.batesville.k12.in.us/Physics/PhyNet/Mechanics/Circular%20Motion/answers/assign_4_answers.htm

7.4 Le poids apparent en avion

10. Lors du décollage d'un Airbus A350, l'accélération sur la piste est 2,4 m/s². Quel est le nombre de *g* subi par les occupants de l'avion ?

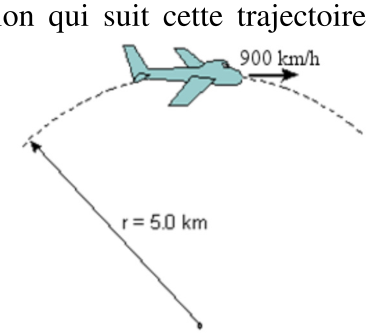
11. Juliette, qui a une masse de 60 kg, est dans un avion qui suit cette trajectoire circulaire à vitesse constante.

    a) Quel est le poids apparent de Juliette (grandeur et direction) ?
    b) Quel est le nombre de g subi par Juliette ?



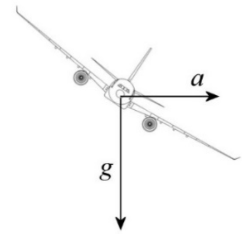
www.physics.fsu.edu/users/ng/Courses/phy2053c/HW/Ch05/ch05.htm

12. Juliette, qui a une masse de 60 kg, est dans un avion qui suit cette trajectoire circulaire à vitesse constante.



    a) Quel est le poids apparent de Juliette (grandeur et direction) ?
    b) Quel est le nombre de g subi par Juliette ?
    c) Quelle devrait être la vitesse de l'avion (en km/h et en nœuds) pour que le poids apparent de Juliette soit nul (tout en gardant un rayon de courbure de 5000 m) ?

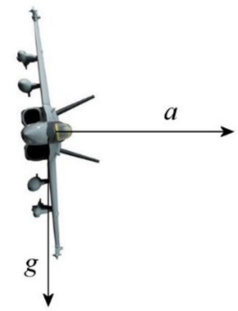
13. Mathéo fait un virage standard (2 minutes pour faire un tour). Quel est le nombre de g subi par Mathéo s'il fait le virage à…



a) 200 nœuds ?
b) 400 nœuds ?

14. Dans un F-18, un pilote ne doit pas dépasser 9 g.

a) Quel est le rayon de courbure d'un virage si le pilote subit 9 g dans un F-18 volant à 800 nœuds ?
b) Quelle est l'inclinaison de l'avion dans le virage ?
c) Quelle est la portance si la masse de l'avion est de 20 000 kg ?

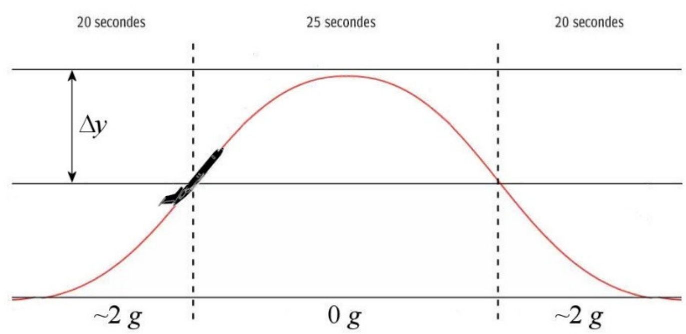


www.nitroplanes.com/93a18-f18-grey-kit.html

7.6 L'impesanteur

15. Quand le poids apparent reste nul dans un avion pendant 25 secondes, cela signifie que l'avion fait un mouvement de projectile pendant ces 25 secondes. Ici, l'avion se déplace à 400 nœuds au début du mouvement parabolique.

a) Quel est l'angle de montée de l'avion quand commence cette partie du vol ?
b) Quelle est la variation d'altitude (en pieds) pendant la partie ascendante du mouvement de projectile ?



RÉPONSES

7.2 Le poids apparent avec des accélérations en ligne droite

1. a) 686 N vers le bas b) 1106 N vers le bas c) 1,612
2. a) 112 N vers le bas b) 532 N vers le bas c) 0,775 5
3. 1,865
4. a) 1070,5 N à -101,3° b) 1,56

7.3 Le poids apparent avec des accélérations dues à des mouvements circulaires

5. a) 8676 N vers le bas, $n_g = 7{,}378$ b) 376 N vers le bas $n_g = 0{,}32$
6. 84,48 min
7. 17,15 m/s
8. 65,87 m
9. 6,953 s

7.4 Le poids apparent en avion

10. 1,030
11. a) 1338 N vers le bas b) 2,276
12. a) 162 N b) 0,276 c) 797 km/h = 430 kts
13. a) 1,141 b) 1,487
14. a) 1934 m b) 83,6° c) 1 764 000 N

7.5 L'impesanteur

15. a) 36,5° b) 2512 pieds