Chapitre 2.8 – Le poids apparent et la gravité artificielle

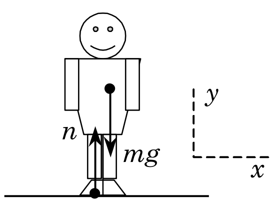
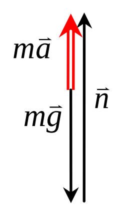
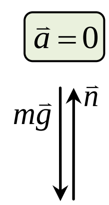
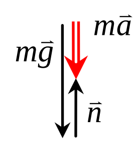
La balance et le poids apparent

Une balance mesure le poids apparent.

La balance est un outil qui permet de **mesurer** la **force normale** appliquée sous un objet afin que celui-ci possède une accélération verticale nulle par rapport à la balance. Utilisée normalement, une balance mesure le poids d'un objet. Cependant, lorsque la balance possède une accélération, la force normale n'est pas égale au poids de l'objet. On utilisera alors l'expression « **poids apparent** » comme **synonyme** à la **force normale** lorsqu'une balance effectuera une mesure :

$$\text{poids apparent} \equiv \text{force normale}$$

Situation 1 : *Le poids apparent d'Albert.* Albert a une masse de 90 kg. On désire déterminer son poids apparent dans les situations suivantes. **(a)** Il vient de sauter d'un plongeon et il n'a pas encore touché la surface de l'eau. **(b)** Il est debout sur le sol. **(c)** Il est dans un ascenseur qui se déplace vers le haut et qui freine au taux de 2 m/s^2. **(d)** Il est dans un ascenseur qui se déplace vers le bas et qui freine au taux de 2 m/s^2.

Schéma des forces	Appliquer la 2^e loi de Newton	Accélération $a_y > 0$	Accélération $a_y = 0$	Accélération $a_y < 0$
	$\sum \vec{F} = m\vec{a}$ où $\vec{n} + m\vec{g} = m\vec{a}$			

Appliquons la 2^e loi de Newton selon l'axe y d'évaluer l'expression de la force normale tel que l'accélération a_y est positive lorsqu'elle est orientée vers le haut : (voir système d'axe)

$\sum F_y = ma_y \quad \Rightarrow \quad n - mg = ma_y$ (Évaluer $\sum F_y$)

$\Rightarrow \quad n = ma_y + mg$ (Isoler n, le poids apparent)

$\Rightarrow \quad \boxed{n = m(a_y + g)}$ (Factoriser m)

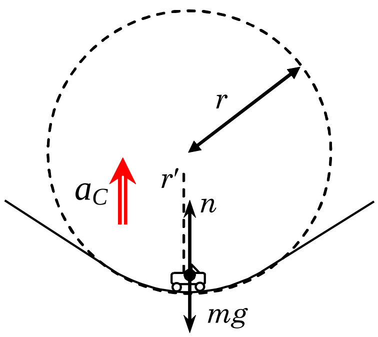
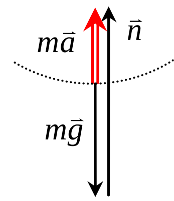
(a) Chute libre : $a_y = -9{,}8 \text{ m/s}^2 \quad \Rightarrow \quad n = (90)((-9{,}8) + (9{,}8)) = 0 \text{ N} \quad (n = 0)$

(b) Immobile : $a_y = 0 \text{ m/s}^2 \quad \Rightarrow \quad n = (90)((0) + (9{,}8)) = 882 \text{ N} \quad (n = mg)$

(c) Ascenseur acc.↓ : $a_y = -2 \text{ m/s}^2 \quad \Rightarrow \quad n = (90)((-2) + (9{,}8)) = 702 \text{ N} \quad (n < mg)$

(d) Ascenseur acc.↑ : $a_y = 2 \text{ m/s}^2 \quad \Rightarrow \quad n = (90)((2) + (9{,}8)) = 1062 \text{ N} \quad (n > mg)$

Situation 3 : *Le poids apparent au fond d'un ravin.* Albert ($m = 90\ \text{kg}$) roule en voiture sur une route qui descend puis remonte les pentes d'un ravin. Au point le plus bas de la trajectoire, le rayon de courbure de la route est $r = 150\ \text{m}$ et la voiture se déplace à $v = 25\ \text{m/s}$ $(90\ \text{km/h})$. On désire calculer le poids apparent d'Albert à cet endroit.

Voici le schéma des forces de la situation	Résolution de la 2e loi de Newton graphiquement
	 $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ où $\vec{n} + m\vec{g} = m\vec{a}$

Appliquons la 2e loi de Newton selon l'axe *r'* afin d'évaluer une expression pour la force normale (le poids apparent) sachant que la voiture demeure sur sa trajectoire circulaire ($a_{r'} = a_C$)

$\sum F_{r'} = m a_{r'}$ $\Rightarrow$ $n - mg = m a_{r'}$ (Évaluer $\sum F_{r'}$)

$\Rightarrow$ $n - mg = m\dfrac{v^2}{r}$ (Remplacer $a_{r'} = a_C = \dfrac{v^2}{r}$)

$\Rightarrow$ $n = m\dfrac{v^2}{r} + mg$ (Isoler *n*)

$\Rightarrow$ $n = m\left(\dfrac{v^2}{r} + g\right)$ (Factoriser *m*)

$\Rightarrow$ $n = (90)\left(\dfrac{(25)^2}{(150)} + (9{,}8)\right)$ (Remplacer les valeurs numériques)

$\Rightarrow$ $\boxed{n = 1257\ \text{N}}$ (Évaluer la normale)

On constate que :

- La voiture possède un poids apparent supérieur à mg lorsque le virage est dans le bas ravin peu importe le module de la vitesse.
- On peut déduire que le poids apparent sera inférieur à mg lorsque le virage sera sur le haut d'une montagne, mais avec un module de vitesse inférieur à une vitesse limite.
- Sur le haut d'une montage, le poids apparent sera égal à zéro ($n = 0$) lorsque $mg = mv^2 / r$, car la voiture quittera la surface de la route. Il ne pourra plus effectuer son mouvement circulaire, mais fera plutôt un mouvement de projectile.

L’apesanteur

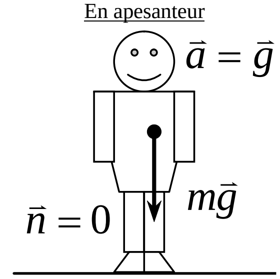
La sensation de la gravité se fait par le biais de notre perception de notre poids apparent (force normale) ce qui dépend de notre environnement :

- On se sent « lourd » lorsqu’une surface nous applique une force normale $n > mg$.
- On se sent « léger » lorsqu’une surface nous applique une force normale $n < mg$.

Lorsqu’il n’y a pas de surface pour nous appliquer une force normale, cela ne signifie pas qu’il n’y a pas de gravité. Sans surface pour annuler la force gravitationnelle, un corps peut tomber en chute libre avec une accélération égale à $\vec{g}$.

Un objet qui effectue une telle chute est en **apesanteur**, car il croît « ne pas sentir » la force gravitationnelle. C’est ce qui se produit lorsqu’un objet est en orbite autour d’une planète. L’objet tombe sans arrêt vers la planète et la force gravitationnelle ne fait que réorienter le vecteur vitesse pour former une trajectoire circulaire.

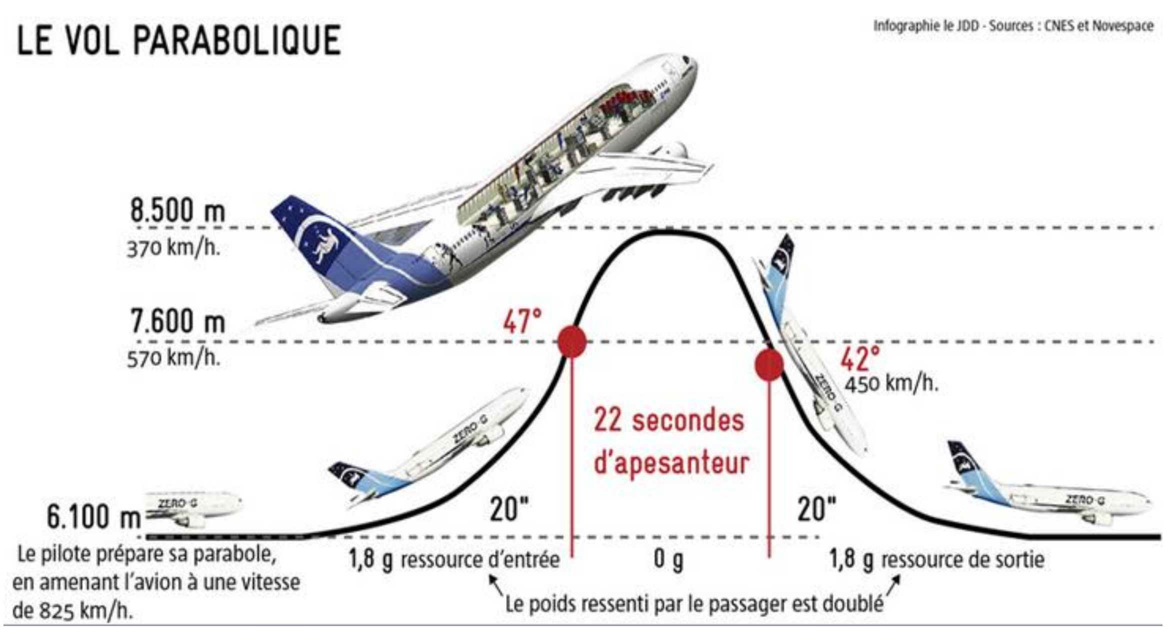
En apesanteur



En apesanteur, le corps humain tombe au rythme du sol occasionnant une force normale nulle.

Astronaute en orbite

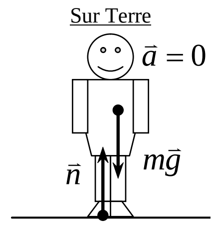
Un avion en chute libre à très haute altitude



http://infoaeroquebec.net/derniere-campagne-de-vols-paraboliques-de-la300-zero-g/

La gravité artificielle

Le corps humain a évolué sur la Terre depuis plus de 200 000 ans et dépend de ses paramètres. Puisque la Terre produit une force gravitationnelle proportionnelle à $g = 9{,}8\ \text{m/s}^2$ et que l'homme a évolué à la surface de cette planète subissant une force normale annulant l'effet de la force gravitationnelle, il faut réaliser que le **corps humain** a **besoin** du **stresse** engendré par la **force normale** $n = mg$ pour bien fonctionner.



Sur Terre, le corps humain a la sensation d'être « comme dans un étau ».

Exemple : Les astronautes qui voyagent dans l'espace doivent être suivis en physiothérapie en revenant de leur voyage, car leurs os ont « grandis ». Cela occasionne beaucoup de souffrance lorsqu'ils reviennent sur Terre. De plus ils doivent suivre des programmes d'entraînement physique dans l'espace s'ils veulent éviter de perdre trop de masse musculaire.

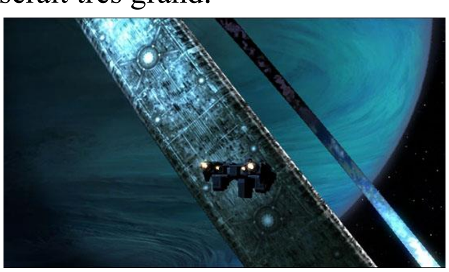
Si l'on veut un jour peupler une autre planète, il faudra trouver un moyen de transport produisant une **« gravité artificielle »** égale à 9,8 m/s². Plusieurs films de science fiction ont déjà exploré le sujet :

2001 Odyssée de l'espace (1968)
Mission vers Mars (2000)

Le vaisseau spatial et l'habitacle en rotation[1] :

La stratégie utilisée est de **faire tourner** un **habitacle cylindrique** du vaisseau à une vitesse précise afin **d'utiliser la force normale** (rôle d'une force centripète) pour donner **l'illusion** de la **présence** d'une **force gravitationnelle**. Ainsi, la force normale ne lutte pas contre la force gravitationnelle, mais sert à produit l'accélération centripète.

Dans le jeu de science fiction Halo[2], on image la création d'une pseudo planète en forme d'anneau (*ring world*) qui maximiserait la surface habitable d'une planète conventionnelle. Pour produire une « gravité artificielle », l'anneau aurait une vitesse de rotation relativement faible, car le rayon de l'anneau serait très grand.


Ring world vu de l'espace


Ring world vu de l'intérieur

[1] Les images ont été tirées du film *Misson to Mars*.
[2] Les images ont été tirées du jeu *Halo*, Xbox

Situation A : *L'habitacle des astronautes*. Une fusée spatiale possède un habitacle pour astronaute en forme de cylindre de 8 m de rayon. Quelle est la période de rotation de l'habitacle pour générer une « gravité artificielle » semble à celle de la Terre.

Sur Terre, la présence de la force gravitationnelle nous permet d'évaluer la force normale de la façon suivante selon l'axe verticale y (axe parallèle au champ gravitationnel $\vec{g}$) :

$\sum F_y = ma_y \quad \Rightarrow \quad n - mg = ma_y$ (Appliquer la 2^e loi de Newton en y)

$\Rightarrow \quad n - mg = 0$ (En équilibre, donc $a_y = 0$)

$\Rightarrow \quad \boxed{n = mg}$ (Isoler la normale, sur **Terre**)

Dans l'habitacle, l'astronaute est <u>en apesanteur</u> (la gravité explique le mouvement de la fusée, mais n'explique pas le mouvement circulaire de l'astronaute dans l'habitacle). Pour maintient l'astronaute dans son habitacle en rotation, <u>seule la force normale est disponible</u>.

Pour cette raison, appliquons la 2^e loi de Newton selon l'axe r' pour évaluer l'expression de la normale n :

$\sum F_{r'} = ma_{r'} \quad \Rightarrow \quad n = ma_{r'}$ (Évaluer $\sum F_{r'}$ sans gravité $\vec{g}$)

$\Rightarrow \quad \boxed{n = m\dfrac{v^2}{r}}$ (Remplacer $a_{r'} = a_C = v^2 / r$, en A)

Afin d'évaluer la vitesse v de rotation de l'habitacle pour obtenir une gravité apparente équivalente à celle sur Terre, remplaçons $n = mg$ dans l'expression précédente

$n = m\dfrac{v^2}{r} \quad \Rightarrow \quad (mg) = m\dfrac{v^2}{r}$ (Remplacer la valeur de n par mg)

$\Rightarrow \quad \boxed{v = \sqrt{gr}}$ (Simplifier m et isoler v)

On peut évaluer la période de rotation grâce à l'équation suivante :

$v = \dfrac{\Delta x}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad v = \dfrac{2\pi\ r}{T}$ (Remplacer $\Delta x = 2\pi r$ et $\Delta t = T$)

$\Rightarrow \quad T = \dfrac{2\pi\ r}{v}$ (Isoler la période T)

$\Rightarrow \quad T = \dfrac{2\pi\ r}{\left(\sqrt{gr}\right)}$ (Remplacer $v = \sqrt{gr}$)

$\Rightarrow \quad \boxed{T = 2\pi\sqrt{\dfrac{r}{g}}}$ (Simplifier $\sqrt{r}$)

$\Rightarrow \quad T = 2\pi\sqrt{\dfrac{(8)}{(9{,}8)}}$ (Remplacer valeurs num.)

$\Rightarrow \quad \boxed{T = 5{,}68\ \text{s}}$ (Évaluer T)

Exercices

2.8.5 ***Presque envolé.*** Une voiture franchit le sommet d'une colline. Au sommet, le rayon de courbure de la route est égal à 200 m. Quelle est la vitesse maximale de la voiture pour qu'elle reste en contact avec la route ?

Solutions

2.8.5 ***Presque envolé.***

Avec la 2e loi de Newton :

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \qquad \Rightarrow \qquad m\vec{g} + \vec{n} = m\vec{a}$$

Prenons le système d'axe en y orienté vers le haut pour les $y > 0$. Puisque nous voulons la vitesse maximale pour que la voiture reste en contacte sur la trajectoire circulaire, nous posons :

- $\vec{n} = 0$: Pas de contact avec le sol.
- $\vec{a} = \vec{a}_C$: L'accélération de la voiture est de type centripète.

Ainsi :

$$m\vec{g} + \vec{n} = m\vec{a} \qquad \Rightarrow \qquad -mg = -ma_C$$

$$\Rightarrow \qquad g = \frac{v^2}{r}$$

$$\Rightarrow \qquad v = \sqrt{gr} = \sqrt{(9,8)(200)}$$

$$\Rightarrow \qquad v = 44,27 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow \qquad \boxed{v = 159,4 \text{ km/h}}$$

77