

# Solutionnaire du chapitre 6

1. a) La grandeur de la force centripète est

$$\begin{aligned}F_c &= \frac{mv^2}{r} \\&= \frac{200\text{kg} \cdot (34 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{33\text{m}} \\&= 7006\text{N}\end{aligned}$$

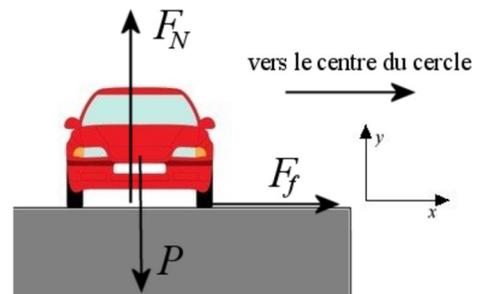
b) La grandeur de la force centripète est

$$\begin{aligned}F_c &= \frac{mv^2}{r} \\&= \frac{200\text{kg} \cdot (34 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{24\text{m}} \\&= 9633\text{N}\end{aligned}$$

## 2. Les forces agissant sur l'objet

Dans le virage, il y a 3 forces sur la voiture.

- 1) La force de gravitation ( $mg$ ) vers le bas.
- 2) Une normale ( $F_N$ ) vers le haut.
- 3) Une friction ( $F_f$ ) vers le centre du cercle.



### Somme des forces

Les sommes des forces sont

$$\begin{aligned}\sum F_x &= F_f \\ \sum F_y &= -mg + F_N\end{aligned}$$

### La 2<sup>e</sup> loi de Newton

Puisque l'accélération centripète est dirigée vers les  $x$  positifs, on a

$$\begin{aligned}\sum F_x = ma_x &\rightarrow F_f = m \frac{v^2}{r} \\ \sum F_y = ma_y &\rightarrow -mg + F_N = 0\end{aligned}$$

Solution des équations

L'équation des forces en  $x$  donne  $F_f = m \frac{v^2}{r}$

On a la vitesse maximale quand la friction est maximale

$$F_{f \max} = m \frac{v_{\max}^2}{r}$$

Puisque la friction maximale est

$$F_{f \max} = \mu_s F_N$$

On a

$$\mu_s F_N = m \frac{v_{\max}^2}{r}$$

Comme l'équation des forces en  $y$  nous donne  $F_N = mg$ , on a

$$\mu_s mg = m \frac{v_{\max}^2}{r}$$

$$\mu_s g = \frac{v_{\max}^2}{r}$$

$$v_{\max} = \sqrt{\mu_s rg}$$

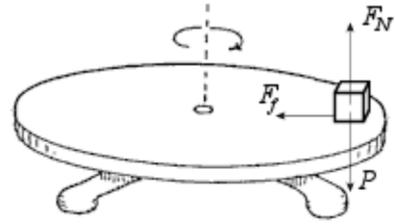
La vitesse maximale est donc

$$\begin{aligned}v_{\max} &= \sqrt{\mu_s rg} \\ &= \sqrt{0,5 \cdot 100m \cdot 9,8 \frac{N}{kg}} \\ &= 22,1 \frac{m}{s} \\ &= 79,7 \frac{km}{h}\end{aligned}$$

### 3. Forces agissant sur l'objet

Il y a 3 forces sur le bloc.

- 1) Une force de gravitation de  $mg$  vers le bas.
- 2) Une normale  $F_N$  vers le haut.
- 3) Une force de friction  $F_f$  vers le centre de la trajectoire circulaire.



#### Somme des forces

Les sommes des forces sont (avec un axe des  $x$  vers le centre de la trajectoire circulaire)

$$\begin{aligned}\sum F_x &= F_f \\ \sum F_y &= -mg + F_N\end{aligned}$$

#### 2<sup>e</sup> loi de Newton

Puisque la force centripète est dirigée dans la direction de l'axe des  $x$ , on a

$$\begin{aligned}\sum F_x = ma_x &\rightarrow F_f = m \frac{4\pi^2 r}{T^2} \\ \sum F_y = ma_y &\rightarrow -mg + F_N = 0\end{aligned}$$

Comme on ne cherche pas la vitesse, mais la période de rotation, on utilise la formule de la force centripète avec la période de rotation.

#### Solution des équations

L'équation des forces en  $x$  donne  $F_f = m \frac{4\pi^2 r}{T^2}$

On voit qu'on a la période la plus petite quand la friction est à sa valeur maximale.

$$F_{f \max} = m \frac{4\pi^2 r}{T_{\min}^2}$$

Puisque la friction maximale est

$$F_{f \max} = \mu_s F_N$$

On a

$$\mu_s F_N = m \frac{4\pi^2 r}{T_{\min}^2}$$

Comme l'équation des forces en y nous donne  $F_N = mg$ , on a

$$\mu_s mg = m \frac{4\pi^2 r}{T_{\min}^2}$$

$$\mu_s g = \frac{4\pi^2 r}{T_{\min}^2}$$

$$T_{\min} = \sqrt{\frac{4\pi^2 r}{\mu_s g}}$$

La période minimale est donc

$$\begin{aligned} T_{\min} &= \sqrt{\frac{4\pi^2 \cdot 0,1m}{0,6 \cdot 9,8 \frac{N}{kg}}} \\ &= 0,8194s \end{aligned}$$

#### 4. Point le plus bas de la trajectoire

##### Forces agissant sur l'objet

Au point le plus bas de la trajectoire, il y a 2 forces sur la voiture.

- 1) Une force de gravitation de 9800 N vers le bas.
- 2) Une normale ( $F_N$ ) vers le haut.

##### Somme des forces

La somme des forces en y est donc (on utilise un axe des y vers le haut)

$$\sum F_y = -9800N + F_N$$

##### 2<sup>e</sup> loi de Newton

Puisque la force centripète est dirigée dans la direction de l'axe des y, on a

$$\sum F_y = ma_y \quad \rightarrow \quad -9800N + F_N = m \frac{v^2}{r}$$

### Solution des équations

La normale est donc

$$\begin{aligned} -9800N + F_N &= 1000kg \cdot \frac{(12 \frac{m}{s})^2}{5m} \\ -9800N + F_N &= 28\,800N \\ F_N &= 38\,600N \end{aligned}$$

### **Point le plus haut de la trajectoire**

#### Forces agissant sur l'objet

Au point le plus haut de la trajectoire, il y a 2 forces sur la voiture.

- 1) Une force de gravitation de 9800 N vers le bas.
- 2) Une normale ( $F_N$ ) vers le bas.

#### Somme des forces

L'équation des forces en y est donc (on utilise un axe des y vers le haut)

$$\sum F_y = -9800N - F_N$$

#### 2<sup>e</sup> loi de Newton

Puisque la force centripète est dirigée dans la direction opposée à l'axe des y, on a

$$\sum F_y = ma_y \quad \rightarrow \quad -9800N - F_N = -m \frac{v^2}{r}$$

### Solution des équations

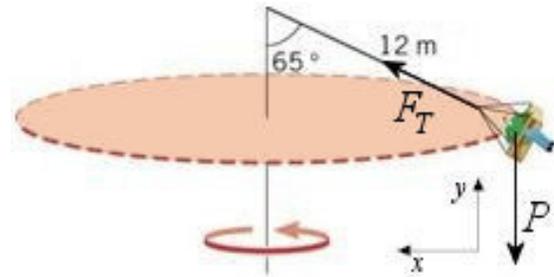
La normale est donc

$$\begin{aligned} -9800N - F_N &= -1000kg \cdot \frac{(12 \frac{m}{s})^2}{5m} \\ -9800N - F_N &= -28\,800N \\ F_N &= 19\,000N \end{aligned}$$

### 5. Forces agissant sur l'objet

Il y a 2 forces sur la personne.

- 1) Une force de gravitation de  $mg$  vers le bas.
- 2) La force exercée par la corde ( $F_T$ ) à  $25^\circ$ .



#### Sommes des forces

Les sommes des forces sont (avec un axe des  $x$  vers le centre du mouvement circulaire)

$$\begin{aligned}\sum F_x &= F_T \cos 25^\circ \\ \sum F_y &= mg + F_T \sin 25^\circ\end{aligned}$$

#### 2<sup>e</sup> loi de Newton

Puisque la force centripète est dans la direction de l'axe des  $x$ , on a

$$\begin{aligned}\sum F_x = ma_x &\quad \rightarrow \quad F_T \cos 25^\circ = m \frac{4\pi^2 r}{T^2} \\ \sum F_y = ma_y &\quad \rightarrow \quad mg + F_T \sin 25^\circ = 0\end{aligned}$$

Comme on ne cherche pas la vitesse, mais la période de rotation, on utilise la formule de la force centripète avec la période de rotation.

#### Solution des équations

L'équation des forces en  $y$  nous permet de trouver la force exercée par la corde.

$$\begin{aligned}mg + F_T \sin 25^\circ &= 0 \\ F_T &= \frac{mg}{\sin 25^\circ} \\ F_T &= \frac{60\text{kg} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}{\sin 25^\circ} \\ F_T &= 1391,3\text{N}\end{aligned}$$

L'équation des forces en  $x$  devient alors

$$F_T \cos 25^\circ = m \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

$$1391,3N \cdot \cos 25^\circ = m \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

Le rayon de la trajectoire est

$$\frac{r}{12m} = \sin 65^\circ$$

$$r = 12m \cdot \sin 65^\circ$$

On a donc

$$1391,3N \cdot \cos 25^\circ = 60kg \cdot \frac{4\pi^2 \cdot 12m \cdot \sin 65^\circ}{T^2}$$

$$T = 4,52s$$

**6.** a) Trouvons premièrement l'accélération tangentielle. On la trouve avec

$$F_t = ma_t$$

$$1,5N = 3kg \cdot a_t$$

$$a_t = 0,5 \frac{m}{s^2}$$

Pour trouver l'accélération centripète, il nous faut la vitesse de l'objet. Cette vitesse est

$$v = v_0 + a_t t$$

$$= 0 \frac{m}{s} + 0,5 \frac{m}{s^2} \cdot 2s$$

$$= 1 \frac{m}{s}$$

L'accélération centripète est donc

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

$$= \frac{\left(1 \frac{m}{s}\right)^2}{1,2m}$$

$$= 0,8333 \frac{m}{s^2}$$

L'accélération totale est donc de

$$\begin{aligned}
 a &= \sqrt{a_c^2 + a_t^2} \\
 &= \sqrt{\left(0,8333 \frac{m}{s^2}\right)^2 + \left(0,5 \frac{m}{s^2}\right)^2} \\
 &= 0,9718 \frac{m}{s^2}
 \end{aligned}$$

b) Le tube est la seule chose qui fait la force centripète. La force qu'il exerce doit donc être égale à la force centripète. Cette force est

$$\begin{aligned}
 T &= ma_c \\
 &= 3kg \cdot 0,8333 \frac{m}{s^2} \\
 &= 2,5N
 \end{aligned}$$

**7.** a) L'accélération centripète est

$$\begin{aligned}
 a_c &= \frac{v^2}{r} \\
 &= \frac{\left(10 \frac{m}{s}\right)^2}{5m} \\
 &= 20 \frac{m}{s^2}
 \end{aligned}$$

b) Les forces agissant sur l'objet

Il y a 2 forces sur Gontran.

- 1) Une force de gravitation de 637 N vers le bas.
- 2) La force exercée par la corde ( $T$ ).

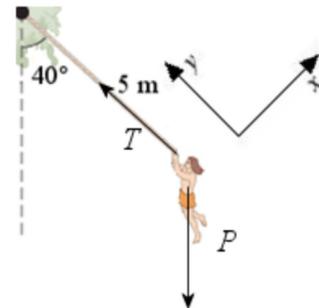
Somme des forces

Les équations des forces sont donc

$$\begin{aligned}
 \sum F_x &= mg \cos(-130^\circ) \\
 \sum F_y &= T + mg \sin(-130^\circ)
 \end{aligned}$$

2<sup>e</sup> loi de Newton

Puisque la force centripète est dans la direction de l'axe des y, on a



$$\begin{aligned}\sum F_x = ma_x &\rightarrow mg \cos(-130^\circ) = ma_t \\ \sum F_y = ma_y &\rightarrow T + mg \sin(-130^\circ) = m \frac{v^2}{r}\end{aligned}$$

Solution des équations

Avec l'équation des forces en  $x$ , on a

$$\begin{aligned}mg \cos(-130^\circ) &= ma_t \\ a_t &= g \cos(-130^\circ) \\ a_t &= -6,299 \frac{m}{s^2}\end{aligned}$$

c) L'accélération est donc

$$\begin{aligned}a &= \sqrt{a_c^2 + a_t^2} \\ &= \sqrt{\left(20 \frac{m}{s^2}\right)^2 + \left(6,299 \frac{m}{s^2}\right)^2} \\ &= 20,969 \frac{m}{s^2}\end{aligned}$$

**8.** Le champ est

$$\begin{aligned}g &= \frac{GM}{r^2} \\ &= \frac{6,674 \times 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2} \cdot 5,972 \times 10^{24} kg}{\left(7,371 \times 10^6 m\right)^2} \\ &= 7,336 \frac{N}{kg}\end{aligned}$$

**9.** a) Le champ est

$$\begin{aligned}g &= \frac{GM}{r^2} \\ &= \frac{6,674 \times 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2} \cdot 6,4185 \times 10^{23} kg}{\left(3,386 \times 10^6 m\right)^2} \\ &= 3,736 \frac{N}{kg}\end{aligned}$$

b) Le poids de la personne est

$$\begin{aligned}
 P &= mg \\
 &= 70\text{kg} \cdot 3,736 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \\
 &= 261,5\text{N}
 \end{aligned}$$

c) Comme le poids de cette personne sur Terre est de  $70\text{ kg} \cdot 9,8\text{ N/kg} = 686\text{ N}$ , le rapport entre le poids sur la Mars et le poids sur Terre est

$$\frac{261,5\text{N}}{686\text{N}} = 0,381$$

Le poids sur Mars est donc seulement 38,1 % du poids de la personne sur Terre.

**10.** On a

$$\begin{aligned}
 T &= 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM_c}} \\
 27,32 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60\text{s} &= 2\pi \sqrt{\frac{(3,844 \times 10^8\text{ m})^3}{6,674 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \cdot M_{\text{Terre}}}} \\
 M_{\text{Terre}} &= 6,03 \times 10^{24}\text{ kg}
 \end{aligned}$$

**11.** a) Avec ce qu'on sait avec Io, on peut trouver la masse de Jupiter.

$$\begin{aligned}
 T &= 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM_c}} \\
 1,796 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60\text{s} &= 2\pi \sqrt{\frac{(4,217 \times 10^8\text{ m})^3}{6,674 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \cdot M_{\text{Jupiter}}}} \\
 M_{\text{Jupiter}} &= 1,8422 \times 10^{27}\text{ kg}
 \end{aligned}$$

On utilise alors cette information pour trouver la période de Ganymède.

$$\begin{aligned}
 T &= 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM_c}} \\
 &= 2\pi \sqrt{\frac{(1,0704 \times 10^9 \text{ m})^3}{6,674 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \cdot 1,8422 \times 10^{27} \text{ kg}}} \\
 &= 627\,529 \text{ s} = 7,263 \text{ j}
 \end{aligned}$$

b) La vitesse de Ganymède est

$$\begin{aligned}
 v &= \sqrt{\frac{GM_c}{r}} \\
 &= \sqrt{\frac{6,674 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \cdot 1,8422 \times 10^{27} \text{ kg}}{1,0704 \times 10^9 \text{ m}}} \\
 &= 10\,717 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 10,717 \frac{\text{km}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

**12.** La période de rotation est

$$\begin{aligned}
 T &= 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM_c}} \\
 &= 2\pi \sqrt{\frac{(1,837 \times 10^6 \text{ m})^3}{6,674 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \cdot 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}}} \\
 &= 7063 \text{ s} = 1,962 \text{ h}
 \end{aligned}$$

**13.** On trouve la distance avec

$$\begin{aligned}
 T &= 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM_c}} \\
 2 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s} &= 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{6,674 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \cdot 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}}} \\
 r &= 6,7044 \times 10^7 \text{ m} = 67\,044 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Ceci est la distance à partir du centre de la Terre. La distance à partir de la surface est donc

$$dist = 67\,044 \text{ km} - 6371 \text{ km} = 60\,673 \text{ km}$$

**14.** a) La circonférence de la trajectoire est

$$circ = 2\pi r$$

Comme l'avion se déplace à 128,7 m/s pendant deux minutes, la circonférence du cercle est aussi

$$\begin{aligned} circ &= vt \\ &= 128,7 \frac{m}{s} \cdot 120s \\ &= 15\,440m \end{aligned}$$

On a donc

$$\begin{aligned} 15\,440m &= 2\pi r \\ r &= 2457m \end{aligned}$$

b) L'angle d'inclinaison est donné par

$$rg \tan \beta = v^2$$

On a donc

$$\begin{aligned} 2457m \cdot 9,8 \frac{m}{s^2} \cdot \tan \beta &= \left(128,7 \frac{m}{s}\right)^2 \\ \tan \beta &= 0,688 \\ \beta &= 34,5^\circ \end{aligned}$$

c) Le facteur de charge est

$$\begin{aligned} n &= \frac{1}{\cos \beta} \\ &= \frac{1}{\cos 34,5^\circ} \\ &= 1,21 \end{aligned}$$

**15.** On peut trouver l'angle avec

$$2\pi v = Tg \tan \beta$$

En passant d'un cap vers le nord à un cap vers l'est, on a fait  $\frac{1}{4}$  d'un tour complet. Si on avait fait un tour au complet, le temps aurait donc été 4 fois plus long. On a donc

$$T = 360 \text{ s}$$

Comme l'avion se déplace à 205,9 m/s, on a

$$\begin{aligned} 2\pi \cdot 205,9 \frac{\text{m}}{\text{s}} &= 360\text{s} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot \tan \beta \\ 0,367 &= \tan \beta \\ \beta &= 20,1^\circ \end{aligned}$$

**16.** a) La vitesse est

$$\begin{aligned} v_{\min} &= \sqrt{\frac{2mg}{C_{L\max} \rho A}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 260\,000\text{kg} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}{1,5 \cdot 0,302 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 442\text{m}^2}} \\ &= 159,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ &= 310,0\text{kts} \end{aligned}$$

b) Comme l'inclinaison est de  $15^\circ$ , le facteur de charge est

$$\begin{aligned} n &= \frac{1}{\cos \beta} \\ &= \frac{1}{\cos 15^\circ} \\ &= 1,0353 \end{aligned}$$

La vitesse de décrochage est donc

$$\begin{aligned} v_{\min n} &= v_{\min} \sqrt{n} \\ &= 310,0\text{kts} \cdot \sqrt{1,0353} \\ &= 315,4\text{kts} \end{aligned}$$

**17.** a) Comme la portance doit être égale au poids de l'avion, on a

$$\begin{aligned}
 F_L &= mg \\
 &= 260\,000\text{kg} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \\
 &= 2\,548\,000\text{N}
 \end{aligned}$$

On trouve ensuite le coefficient de portance avec

$$\begin{aligned}
 F_L &= \frac{1}{2} C_L \rho A v^2 \\
 2\,548\,000\text{N} &= \frac{1}{2} \cdot C_L \cdot 0,302 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 442\text{m}^2 \cdot (205,9 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \\
 2\,548\,000\text{N} &= C_L \cdot 2\,829\,514\text{N} \\
 C_L &= 0,901
 \end{aligned}$$

b) En virage, la portance est

$$\begin{aligned}
 F_L &= \frac{mg}{\cos \beta} \\
 &= \frac{260\,000\text{kg} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}{\cos 20^\circ} \\
 &= 2\,711\,525\text{N}
 \end{aligned}$$

On trouve ensuite le coefficient de portance avec

$$\begin{aligned}
 F_L &= \frac{1}{2} C_L \rho A v^2 \\
 2\,711\,525\text{N} &= \frac{1}{2} \cdot C_L \cdot 0,302 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 442\text{m}^2 \cdot (205,9 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \\
 2\,711\,525\text{N} &= C_L \cdot 2\,829\,514\text{N} \\
 C_L &= 0,958
 \end{aligned}$$

c) Comme la poussée des moteurs est égale à la trainée quand la vitesse est constante, il faut trouver de combien la trainée augmente pour trouver de combien la poussée doit augmenter.

Commençons par trouver la trainée avant le virage. Pour la calculer, il nous faut le coefficient de trainée de l'avion. Le coefficient est

$$\begin{aligned}
 C_d &= C_{d0} + \frac{C_L^2 A}{e\pi S^2} \\
 &= 0,031 + \frac{(0,901)^2 \cdot 442m^2}{0,73 \cdot \pi \cdot (64,75m)^2} \\
 &= 0,031 + 0,037 \\
 &= 0,068
 \end{aligned}$$

La trainée est donc

$$\begin{aligned}
 F_d &= \frac{1}{2} C_d A \rho v^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 0,068 \cdot 442m^2 \cdot 0,302 \frac{kg}{m^3} \cdot (205,9 \frac{m}{s})^2 \\
 &= 192\,407N
 \end{aligned}$$

Trouvons maintenant la trainée pendant le virage. Le coefficient est

$$\begin{aligned}
 C_d &= C_{d0} + \frac{C_L^2 A}{e\pi S^2} \\
 &= 0,031 + \frac{(0,958)^2 \cdot 442m^2}{0,73 \cdot \pi \cdot (64,75m)^2} \\
 &= 0,031 + 0,042 \\
 &= 0,073
 \end{aligned}$$

La trainée est donc

$$\begin{aligned}
 F_d &= \frac{1}{2} C_d A \rho v^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 0,073 \cdot 442m^2 \cdot 0,302 \frac{kg}{m^3} \cdot (205,9 \frac{m}{s})^2 \\
 &= 206\,555N
 \end{aligned}$$

L'augmentation de trainée est donc de

$$206\,555N - 192\,407N = 14\,148N$$

Il faudra donc augmenter la poussée de 14 148 N pour compenser cette augmentation de trainée. Cela représente une augmentation de la poussée d'environ 7,4 %.

**18.** L'angle d'inclinaison maximum est de

$$\begin{aligned}\cos \beta_{\max} &= \frac{v_{\min}^2}{v^2} \\ \cos \beta_{\max} &= \frac{300^2}{400^2} \\ \cos \beta_{\max} &= 0,5625 \\ \beta_{\max} &= 55,77^\circ\end{aligned}$$

On peut maintenant trouver le temps minimum pour faire un tour complet. Ce temps est

$$\begin{aligned}2\pi v &= Tg \tan \beta \\ 2\pi \cdot 205,9 \frac{m}{s} &= T \cdot 9,8 \frac{N}{kg} \cdot \tan 55,77^\circ \\ T &= 89,8s\end{aligned}$$

Comme on fait un quart de tout quand on passe du nord à l'est, le temps est

$$\frac{89,8s}{4} = 22,45s$$

**19.** L'équation de forces en y est

$$-F_L + mg = m \frac{v^2}{r}$$

On a donc

$$\begin{aligned}-F_L + 260\,000kg \cdot 9,8 \frac{N}{kg} &= 260\,000kg \cdot \frac{(247,0 \frac{m}{s})^2}{10\,000m} \\ -F_L + 2\,548\,000N &= 1\,586\,234N \\ -F_L &= -961\,766N \\ F_L &= 961\,766N\end{aligned}$$

En utilisant la formule de la portance, on a

$$\frac{1}{2} C_L \rho A v^2 = 961\,766\text{N}$$

$$\frac{1}{2} \cdot C_L \cdot 0,302 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 442\text{m}^2 \cdot \left(247,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 961\,766\text{N}$$

$$C_L \cdot 4\,071\,863\text{N} = 961\,766\text{N}$$

$$C_L = 0,236$$

**20.** L'équation de forces en y est

$$-F_L + mg = m \frac{v^2}{r}$$

Si on veut que la portance soit nulle, on a

$$0 + mg = m \frac{v^2}{r}$$

$$mg = m \frac{v^2}{r}$$

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

$$v = \sqrt{rg}$$

La vitesse est donc

$$v = \sqrt{5000\text{m} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}$$

$$= 221,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$= 430,1\text{kts}$$

**21.** a) Au point le plus bas de la trajectoire, le facteur de charge est

$$n = 1 + \frac{v^2}{rg}$$

Comme la figure nous dit qu'on ne doit pas dépasser  $n = 3,5$ , on a

$$n = 1 + \frac{v^2}{rg}$$

$$3,5 = 1 + \frac{(144,1 \frac{m}{s})^2}{r \cdot 9,8 \frac{N}{kg}}$$

$$2,5 = \frac{(144,1 \frac{m}{s})^2}{r \cdot 9,8 \frac{N}{kg}}$$

$$r = \frac{(144,1 \frac{m}{s})^2}{2,5 \cdot 9,8 \frac{N}{kg}}$$

$$r = 848m$$

b) On n'a pas la formule du facteur de charge au point le plus haut. On va la faire.

Au point le plus haut, on sait que les équations sont (quand l'avion n'est pas inversé)

$$F_t - F_d = ma_t$$

$$-F_L + mg = m \frac{v^2}{r}$$

La portance est donc

$$-F_L = -mg + m \frac{v^2}{r}$$

$$F_L = mg - m \frac{v^2}{r}$$

et le facteur de charge est donc

$$n = \frac{F_L}{mg}$$

$$= \frac{mg}{mg} - \frac{m}{mg} \frac{v^2}{r}$$

$$= 1 - \frac{v^2}{rg}$$

Comme la figure nous dit qu'on ne doit pas dépasser  $n = -1$ , on a

$$n = 1 - \frac{v^2}{rg}$$

$$-1 = 1 - \frac{(144,1 \frac{m}{s})^2}{r \cdot 9,8 \frac{N}{kg}}$$

$$-2 = - \frac{(144,1 \frac{m}{s})^2}{r \cdot 9,8 \frac{N}{kg}}$$

$$r = \frac{(144,1 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,8 \frac{N}{kg}}$$

$$r = 1059m$$

**22. a)**  
On a

$$a = \frac{v^2}{r}$$

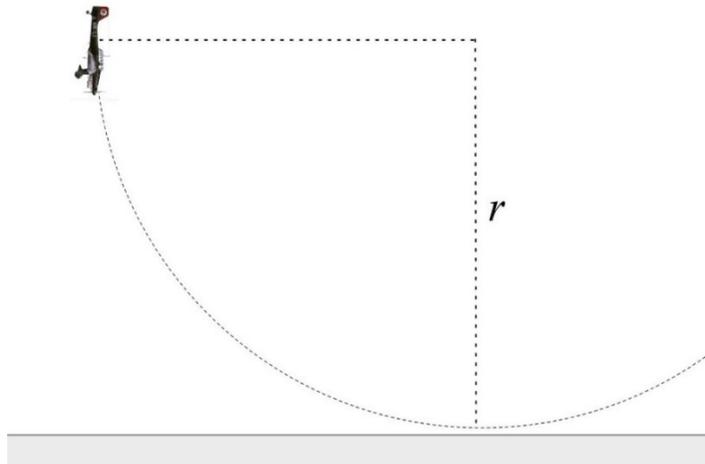
$$50 \frac{m}{s^2} = \frac{(164,7 \frac{m}{s})^2}{r}$$

$$r = \frac{(164,7 \frac{m}{s})^2}{50 \frac{m}{s^2}}$$

$$r = 542,5m$$

$$r = 1780ft$$

b) On a la trajectoire suivante.



On voit bien sur cette figure qu'on doit commencer à redresser quand l'altitude est égale au rayon de courbure du cercle. On doit donc commencer à redresser quand l'altitude est de 1780 pieds.

c) Au point le plus bas, on a

$$F_L - mg = m \frac{v^2}{r}$$

$$F_L - 4000 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 4000 \text{ kg} \cdot \frac{(164,7 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{542,5 \text{ m}}$$

$$F_L - 39\,200 \text{ N} = 200\,000 \text{ N}$$

$$F_L = 239\,200 \text{ N}$$

d) Le facteur de charge est

$$n = \frac{F_L}{mg}$$

$$= \frac{239\,200 \text{ N}}{4000 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}$$

$$= \frac{239\,200 \text{ N}}{39\,200 \text{ N}}$$

$$= 6,1$$

**23.** L'équation de forces en y est

$$F_L - mg = m \frac{v^2}{r}$$

On doit trouver la portance pour trouver le rayon de courbure. La portance est

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho A v^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 1,75 \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 442 \text{ m}^2 \cdot (77,2 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2$$

$$= 2\,844\,989 \text{ N}$$

On a donc

$$F_L - mg = m \frac{v^2}{r}$$

$$2\,765\,962\text{N} - 260\,000\text{kg} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 260\,000\text{kg} \cdot \frac{(77,2 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{r}$$

$$2\,765\,962\text{N} - 2\,548\,000\text{N} = 260\,000\text{kg} \cdot \frac{(77,2 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{r}$$

$$217\,962\text{N} = 260\,000\text{kg} \cdot \frac{(77,2 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{r}$$

$$0,838 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{(77,2 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{r}$$

$$r = \frac{(77,2 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{0,838 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$r = 7112\text{m}$$

**24.** a) Au point le plus bas, le facteur de charge est

$$n = 1 + \frac{v^2}{rg}$$

Pour le trouver, il nous faut le rayon de courbure. Ce rayon est

$$\begin{aligned} r &= \frac{180^\circ s}{\theta \pi} \\ &= \frac{180^\circ vt}{\theta \pi} \\ &= \frac{180^\circ \cdot 66,9 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 2\text{s}}{3^\circ \cdot \pi} \\ &= 2555\text{m} \end{aligned}$$

Le facteur de charge est donc

$$\begin{aligned} n &= 1 + \frac{v^2}{rg} \\ &= 1 + \frac{(66,9 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2555\text{m} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} \\ &= 1,18 \end{aligned}$$

b) La vitesse de décrochage est

$$\begin{aligned}v_{\min n} &= v_{\min} \sqrt{n} \\ &= 100 \text{ kts} \cdot \sqrt{1,18} \\ &= 108,6 \text{ kts}\end{aligned}$$

**25.** Au point le plus bas, le facteur de charge est

$$n = 1 + \frac{v^2}{rg}$$

Pour le trouver, il nous faut le rayon de courbure. Ce rayon est

$$\begin{aligned}r &= \frac{h}{1 - \cos \theta} \\ &= \frac{4,572 \text{ m}}{1 - \cos 4^\circ} \\ &= 1877 \text{ m}\end{aligned}$$

Le facteur de charge est donc

$$\begin{aligned}n &= 1 + \frac{v^2}{rg} \\ &= 1 + \frac{(66,9 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{1877 \text{ m} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} \\ &= 1,24\end{aligned}$$