Solutionnaire du chapitre 6

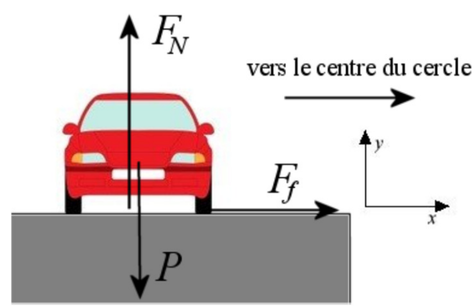
1. a) La grandeur de la force centripète est

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

b) La grandeur de la force centripète est

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

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 2e loi de Newton

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

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

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

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

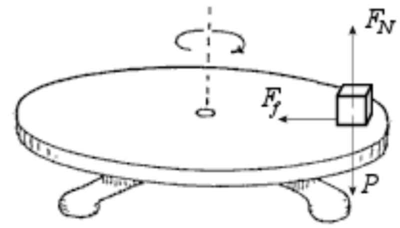
Comme l'équation des forces en *y* nous donne $F_N = mg$, on a

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

La vitesse maximale est donc

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

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)

$$\sum F_x = F_f$$
$$\sum F_y = -mg + F_N$$

2^e loi de Newton

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

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

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

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

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)

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

2e loi de Newton

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

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

Solution des équations

La normale est donc

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

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^e loi de Newton

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

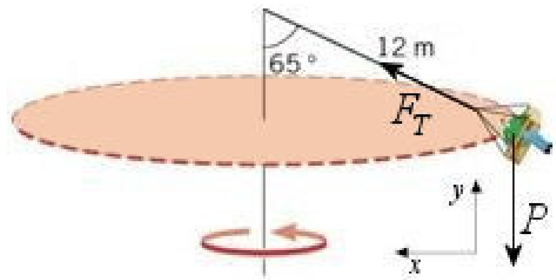
$$\sum F_y = ma_y \qquad \rightarrow \qquad -9800N - F_N = -m\frac{v^2}{r}$$

Solution des équations

La normale est donc

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

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°.

Sommes des forces

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

$$\sum F_x = F_T \cos 25°$$
$$\sum F_y = mg + F_T \sin 25°$$

2^e loi de Newton

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

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

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.

$$mg + F_T \sin 25° = 0$$
$$F_T = \frac{mg}{\sin 25°}$$
$$F_T = \frac{60kg \cdot 9,8\frac{N}{kg}}{\sin 25°}$$
$$F_T = 1391,3N$$

L'équation des forces en *x* devient alors

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

Le rayon de la trajectoire est

$$\frac{r}{12m} = \sin 65°$$
$$r = 12m \cdot \sin 65°$$

On a donc

$$1391,3N \cdot \cos 25° = 60kg \cdot \frac{4\pi^2 \cdot 12m \cdot \sin 65°}{T^2}$$
$$T = 4,52s$$

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

$$F_t = ma_t$$
$$1,5N = 3kg \cdot a_t$$
$$a_t = 0,5\tfrac{m}{s^2}$$

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

$$\begin{aligned} v &= v_0 + a_t t \\ &= 0\tfrac{m}{s} + 0,5\tfrac{m}{s^2} \cdot 2s \\ &= 1\tfrac{m}{s} \end{aligned}$$

L'accélération centripète est donc

$$\begin{aligned} a_c &= \frac{v^2}{r} \\ &= \frac{\left(1\tfrac{m}{s}\right)^2}{1,2m} \\ &= 0,8333\tfrac{m}{s^2} \end{aligned}$$

L'accélération totale est donc de

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

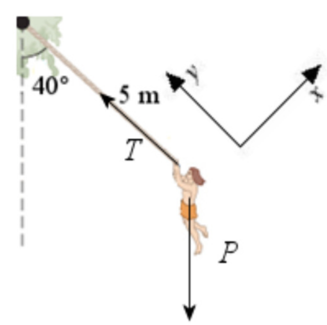
b) Le tube est la seule chose qui fait la force centripète. La force qu'il exerce doit donc être égale à la force centripète. Cette force est

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

7. a) L'accélération centripète est

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

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

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

2^e^ loi de Newton

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

$$\sum F_x = ma_x \qquad \rightarrow \qquad mg\cos(-130°) = ma_t$$
$$\sum F_y = ma_y \qquad \rightarrow \qquad T + mg\sin(-130°) = m\frac{v^2}{r}$$

Solution des équations

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

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

c) L'accélération est donc

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

8. Le champ est

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

9. a) Le champ est

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

b) Le poids de la personne est

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

c) Comme le poids de cette personne sur Terre est de 70 kg · 9,8 N/kg = 686 N, le rapport entre le poids sur la Mars et le poids sur Terre est

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

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

10. On a

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM_c}}$$

$$27{,}32 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60s = 2\pi\sqrt{\frac{\left(3{,}844\times10^8 m\right)^3}{6{,}674\times10^{-11}\,\tfrac{Nm^2}{kg^2}\cdot M_{Terre}}}$$

$$M_{Terre} = 6{,}03\times10^{24}kg$$

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

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM_c}}$$

$$1{,}796 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60s = 2\pi\sqrt{\frac{\left(4{,}217\times10^8 m\right)^3}{6{,}674\times10^{-11}\,\tfrac{Nm^2}{kg^2}\cdot M_{Jupiter}}}$$

$$M_{Jupiter} = 1{,}8422\times10^{27}kg$$

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

$$\begin{aligned}T &= 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM_c}}\\ &= 2\pi\sqrt{\frac{\left(1,0704\times10^9 m\right)^3}{6,674\times10^{-11}\frac{Nm^2}{kg^2}\cdot 1,8422\times10^{27}kg}}\\ &= 627\,529s = 7,263j\end{aligned}$$

b) La vitesse de Ganymède est

$$\begin{aligned}v &= \sqrt{\frac{GM_c}{r}}\\ &= \sqrt{\frac{6,674\times10^{-11}\frac{Nm^2}{kg^2}\cdot 1,8422\times10^{27}kg}{1,0704\times10^9 m}}\\ &= 10\,717\tfrac{m}{s} = 10,717\tfrac{km}{s}\end{aligned}$$

12. La période de rotation est

$$\begin{aligned}T &= 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM_c}}\\ &= 2\pi\sqrt{\frac{\left(1,837\times10^6 m\right)^3}{6,674\times10^{-11}\frac{Nm^2}{kg^2}\cdot 7,35\times10^{22}kg}}\\ &= 7063s = 1,962h\end{aligned}$$

13. On trouve la distance avec

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM_c}}$$

$$2\cdot 24\cdot 60\cdot 60s = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{6,674\times10^{-11}\frac{Nm^2}{kg^2}\cdot 5,97\times10^{24}kg}}$$

$$r = 6,7044\times10^7 m = 67\,044km$$

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

$$dist = 67\,044km - 6378km = 60\,666km$$

14. a) La longueur du virage est

$$\ell = 2\pi r$$

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

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

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

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

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 ¼ 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

$$2\pi \cdot 205,9\tfrac{m}{s} = 360s \cdot 9,8\tfrac{N}{kg} \cdot \tan\beta$$
$$0,367 = \tan\beta$$
$$\beta = 20,1°$$

16. a) La vitesse est

$$\begin{aligned} v_{\min} &= \sqrt{\frac{2mg}{C_{L\max}\rho A}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 260\,000kg \cdot 9,8\tfrac{N}{kg}}{1,5 \cdot 0,310\tfrac{kg}{m^3} \cdot 442m^2}} \\ &= 157,5\tfrac{m}{s} \\ &= 306kts \end{aligned}$$

b) La vitesse est

$$\begin{aligned} v_{\min} &= \sqrt{\frac{2mg}{C_{L\max}\rho A\cos\beta}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 260\,000kg \cdot 9,8\tfrac{N}{kg}}{1,5 \cdot 0,310\tfrac{kg}{m^3} \cdot 442m^2 \cdot \cos 15°}} \\ &= 160,2\tfrac{m}{s} \\ &= 311kts \end{aligned}$$

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

$$\frac{1}{2}C_L\rho Av^2 = mg$$
$$\frac{1}{2} \cdot C_L \cdot 0,310\tfrac{kg}{m^3} \cdot 442m^2 \cdot \left(205,9\tfrac{m}{s}\right)^2 = 260\,000kg \cdot 9,8\tfrac{N}{kg}$$
$$C_L \cdot 2\,904\,468N = 2\,548\,000N$$
$$C_L = 0,887$$

b) En virage, on a

$$\frac{1}{2}C_L\rho Av^2 = \frac{mg}{\cos\beta}$$

$$\frac{1}{2}\cdot C_L \cdot 0,310\tfrac{kg}{m^3}\cdot 442m^2\cdot\left(205,9\tfrac{m}{s}\right)^2 = \frac{260\,000kg\cdot 9,8\tfrac{N}{kg}}{\cos 20°}$$

$$C_L \cdot 2\,904\,468N = 2\,711\,525N$$

$$C_L = 0,934$$

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

$$\begin{aligned} C_d &= C_{d0} + \frac{C_L^2 A}{e\pi S^2} \\ &= 0,031 + \frac{(0,887)^2\cdot 442m^2}{0,725\cdot\pi\cdot(64,75m)^2} \\ &= 0,031 + 0,036 \\ &= 0,067 \end{aligned}$$

La trainée est donc

$$\begin{aligned} F_d &= \frac{1}{2}C_d A\rho v^2 \\ &= \frac{1}{2}\cdot 0,067\cdot 442m^2\cdot 0,310\tfrac{kg}{m^3}\cdot\left(205,9\tfrac{m}{s}\right)^2 \\ &= 194\,599N \end{aligned}$$

Trouvons maintenant la trainée pendant le virage. Le coefficient est

$$\begin{aligned} C_d &= C_{d0} + \frac{C_L^2 A}{e\pi S^2} \\ &= 0,031 + \frac{(0,934)^2\cdot 442m^2}{0,725\cdot\pi\cdot(64,75m)^2} \\ &= 0,031 + 0,040 \\ &= 0,071 \end{aligned}$$

La trainée est donc

$$\begin{aligned} F_d &= \frac{1}{2}C_d A\rho v^2 \\ &= \frac{1}{2}\cdot 0,071\cdot 442m^2\cdot 0,310\tfrac{kg}{m^3}\cdot\left(205,9\tfrac{m}{s}\right)^2 \\ &= 206\,217N \end{aligned}$$

L’augmentation de trainée est donc de

$$206\,217N - 194\,599N = 11\,618N$$

Il faudra donc augmenter la poussée de 11 618 N pour compenser cette augmentation de trainée. Cela représente une augmentation de la poussée d’environ 6 %.

18. L’équation de forces en *y* est

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

On a donc

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

En utilisant la formule de la portance, on a

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}C_L\rho A v^2 &= 961\,766N \\ \frac{1}{2}\cdot C_L\cdot 0,310\tfrac{kg}{m^3}\cdot 442m^2\cdot\left(247,0\tfrac{m}{s}\right)^2 &= 961\,766N \\ C_L\cdot 4\,179\,727N &= 961\,766N \\ C_L &= 0,230 \end{aligned}$$

19. 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

$$\begin{aligned} 0 + mg &= m\frac{v^2}{r} \\ mg &= m\frac{v^2}{r} \\ g &= \frac{v^2}{r} \\ v &= \sqrt{rg} \end{aligned}$$

La vitesse est donc

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{5000m \cdot 9,8\tfrac{N}{kg}} \\ &= 221\tfrac{m}{s} \\ &= 430kts \end{aligned}$$

20. a)

Pour avoir le virage avec le plus petit rayon, on doit avoir beaucoup de force centripète, donc une très grande portance.

$$F_{L\max} - mg = m\frac{v^2}{r_{\min}}$$

Il nous faut donc trouver la portance maximale.

$$F_{L\max} = \frac{1}{2}C_{L\max}\rho A v^2$$

On peut trouver le coefficient de portance maximum avec la vitesse de décrochage. On sait qu'à la vitesse de décrochage, la portance est égale au poids. On a donc

$$mg = \frac{1}{2}C_{L\max}\rho A v_{\min}^2$$

On ne connait pas l'altitude et l'aire des ailes, mais on peut quand même trouver $F_{L\max}$ en divisant une équation par l'autre. On a alors

$$\frac{F_{L\max}}{mg} = \frac{\frac{1}{2}C_{L\max}\rho Av^2}{\frac{1}{2}C_{L\max}\rho Av_{\min}^2}$$

On a alors

$$\frac{F_{L\max}}{mg} = \frac{v^2}{v_{\min}^2}$$
$$F_{L\max} = \frac{v^2}{v_{\min}^2}mg$$
$$F_{L\max} = \frac{(320kts)^2}{(60kts)^2}\cdot mg$$
$$F_{L\max} = 28,4\cdot mg$$

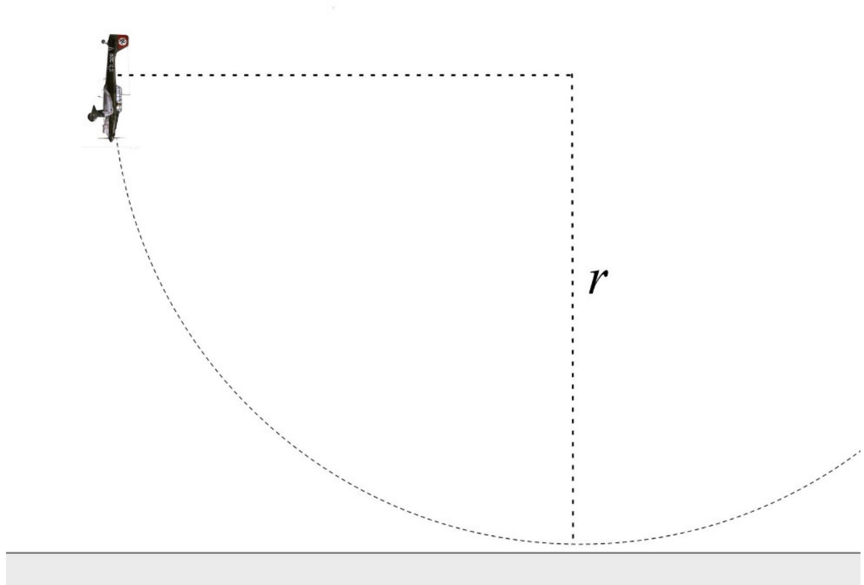
(En fait, on va voir au chapitre 7 que l'accélération générée par une portance aussi élevée serait beaucoup trop grande pour que le pilote reste conscient. Le rayon de courbure calculé est donc beaucoup trop petit.)

Comme on n'a pas la masse de l'avion, on ne peut pas calculer la valeur de la portance maximale.

L'équation des forces en *y* devient alors

$$F_{L\max} - mg = m\frac{v^2}{r_{\min}}$$
$$28,4\cdot mg - mg = m\frac{v^2}{r_{\min}}$$
$$27,4\cdot mg = m\frac{v^2}{r_{\min}}$$
$$27,4\cdot g = \frac{v^2}{r_{\min}}$$
$$r_{\min} = \frac{v^2}{27,4\cdot g}$$
$$r_{\min} = \frac{(164,7\,\frac{m}{s})^2}{28,4\cdot 9,8\,\frac{N}{kg}}$$
$$r_{\min} = 97,4m$$
$$r_{\min} = 320ft$$

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 320 pieds.

(Attention, le pilote ne pourrait pas rester conscient avec un rayon si bas. La véritable altitude est donc plus élevée que ça. On corrigera le tout au chapitre suivant.)

21. 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

$$\begin{aligned} F_L &= \frac{1}{2} C_L \rho A v^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,75 \cdot 1,2 \tfrac{kg}{m^3} \cdot 442 m^2 \cdot \left(77,2 \tfrac{m}{s}\right)^2 \\ &= 2\,844\,989 N \end{aligned}$$

On a donc

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

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

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

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

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

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

$$r = 7112m$$