Correction des exercices – TS2 2013
Chapitre 7 – Lois de Newton

1 Quels outils pour décrire le mouvement ?

N°7 p. 146 : Choisir un référentiel d'étude

a. Référentiel héliocentrique : centré sur le centre d'inertie du Soleil, avec trois axes pointant vers trois étoiles fixes ;

b. Référentiel géocentrique : centré sur le centre d'inertie de la Terre, avec trois axes pointant vers trois étoiles fixes ;

c. Référentiel terrestre, lié au sol ou à tout solide fixe par rapport au sol, avec un axe vertical pour la côte, et deux axes horizontaux pour l'abscisse et l'ordonnée ;

d. Référentiel « Jovien », centré le centre d'inertie de Jupiter, avec trois axes pointant vers trois étoiles fixes.

N°8 p. 146 : Vecteurs positions et vecteurs vitesses

1. Coordonnées des vecteurs :

$$\overrightarrow{OG_1}\left|\begin{array}{l} x_1 = 5\ \text{m} \\ y_1 = 15\ \text{m} \\ z_1 = 0 \end{array}\right. \quad ; \quad \overrightarrow{OG_2}\left|\begin{array}{l} x_2 = 10\ \text{m} \\ y_2 = 20\ \text{m} \\ z_2 = 0 \end{array}\right.$$

$$\text{et}\quad \overrightarrow{OG_3}\left|\begin{array}{l} x_3 = 22,5\ \text{m} \\ y_3 = 20\ \text{m} \\ z_3 = 0 \end{array}\right.$$

2. Norme d'un vecteur :

$$||\overrightarrow{OG}|| = \sqrt{x^2+y^2+z^2}$$

Application numérique :

$$\begin{array}{l} ||\overrightarrow{OG_1}|| = \sqrt{5^2+15^2} = 16\ \text{m} \\ ||\overrightarrow{OG_2}|| = \sqrt{10^2+20^2} = 22\ \text{m} \\ ||\overrightarrow{OG_2}|| = \sqrt{22,5^2+20^2} = 30\ \text{m} \end{array}$$

3. Vecteur vitesse $\overrightarrow{v}_2$ en G_2 :

$$\overrightarrow{v}_2 \triangleq \frac{\overrightarrow{G_1G_3}}{2\tau} = \frac{\overrightarrow{OG_3} - \overrightarrow{OG_1}}{2\tau}$$

Le symbole $\triangleq$ signifie « égal par définition ». La deuxième partie de l'expression est une application de la loi de Chasles. Avec $\tau = 0,8$ s entre chaque point, on effectue le calcul vectoriel pour chaque composante :

$$\overrightarrow{v}_2\left|\begin{array}{l} v_{x_2} = \dfrac{x_3-x_1}{2\tau} = \dfrac{22,5-5}{2\times 0,8} = 11\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \\ v_{y_2} = \dfrac{y_3-y_1}{2\tau} = \dfrac{20-15}{2\times 0,8} = 3,1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \\ v_{z_2} = \dfrac{z_3-z_1}{2\tau} = 0 \end{array}\right.$$

Norme du vecteur vitesse :

$$v_2 \triangleq \sqrt{v_{x_2}^2+v_{y_2}^2+v_{z_2}^2}$$

On peut directement trouver cette norme à partir de la longueur du segment G_1G_3 :

$$\overrightarrow{G_1G_3}\left|\begin{array}{l} x_3-x_1 = 22,5-5 = 17,5\ \text{m} \\ y_3-y_1 = 20-15 = 5\ \text{m} \\ z_3-z_1 = 0 \end{array}\right.$$

$$\Rightarrow\quad G_1G_3 = \sqrt{17,5^2+5^2} = 18\ \text{m}$$

$$\Rightarrow\quad v_2 = \frac{G_1G_3}{2\tau} = \frac{18}{2\times 0,8} = 11\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

N°13 p. 147 : Quantité de mouvement

1. $\overrightarrow{p} = m\,\overrightarrow{v}$ avec $\overrightarrow{p}$ vecteur quantité de mouvement, de norme $p = mv$ en kilogramme mètre par seconde (symbole $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^1$), m masse en kilogramme (symbole kg) et $\overrightarrow{v}$ vecteur vitesse, de norme v en mètre par seconde (symbole $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).

2. $p = 3,5\times 10^{-3}\times 75 = 0,26\ \text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

3. En première approximation, les incertitudes relatives d'un produit s'additionnent :

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta v}{v}$$

$$\Rightarrow\quad \Delta p = p\left(\frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta v}{v}\right)$$

Application numérique :

$$\Delta p = 0,26\times\left(\frac{0,1}{3,5}+\frac{1}{75}\right) = 0,01\ \text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Cette incertitude indique qu'il faut exprimer le résultat avec deux chiffres après la virgule :

$$p = 0,26\pm 0,01\ \text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Si on utilise la formule proposée dans le texte, qui est un calcul d'incertitudes moins restrictif et plus rigoureux, que nous détaillerons en juillet ou en août 2013 s'il nous reste du temps :

$$\Delta p = p\sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2+\left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2}$$

Application numérique :

$$\Delta p = 0,263\times\sqrt{\left(\frac{0,1}{3,5}\right)^2+\left(\frac{1}{75}\right)^2} = 0,008\ \text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$\Rightarrow\quad p = 0,263\pm 0,008\ \text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

2 Comment reconnaître un mouvement ?

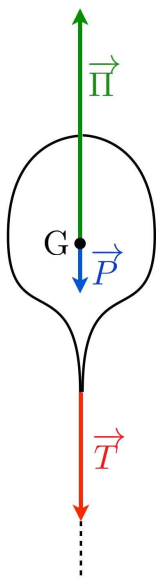
N°14 p. 147 : Représentation graphique

La représentation (a) correspond à un mouvement uniforme, d'accélération nulle (x fonction affine du temps donc vitesse constante). La (c) aussi (vitesse constante). La (e) aussi (accélération nulle). La (b) correspond à un mouvement uniformément accéléré (a_x est constant). La (d) est un mouvement uniformément décéléré, la composante v_x de la vitesse selon (Ox) étant une fonction affine du temps. Et enfin, la (f) correspond à l'absence de mouvement dans le référentiel choisit.

3 Quelles sont les lois de Newton ?

N°20 p. 148 : Propulsion d'un système isolé

1. À partir du moment ou le ballon est immobile dans le référentiel considéré, c'est qu'il est soumis à des forces qui se compensent, donc il est considéré comme pseudo-isolé.
2. Effectuons le bilan des forces s'exerçant sur un ballon gonflé à l'hélium, attaché à un fil :

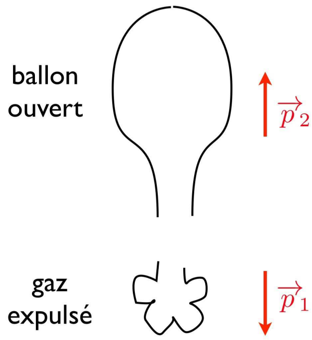


   – Son poids $\overrightarrow{\mathrm{P}}$, vertical, vers le bas, point d'application le centre d'inertie du ballon, valeur $\mathrm{P} = mg$, avec m la masse totale du ballon, c'est-à-dire la masse de polymère (matière plastique) et la masse de gaz (hélium) enfermé dans le ballon ;
   – La tension du fil $\overrightarrow{\mathrm{T}}$, verticale, vers le bas, point d'application le point d'attache du fil avec le ballon, valeur T inconnue ;
   – La poussée d'Archimède $\overrightarrow{\Pi}$, verticale, vers le haut, point d'application le centre d'inertie du ballon, valeur $\Pi = m_{\text{air}} g$ dite « égale et opposée au poids du fluide déplacé », qui se trouve être l'air en la circonstance.

   Pour la schématisation, on ne cherchera pas à respecter la première loi de Newton :

$$\sum \overrightarrow{\mathrm{F}}_{\text{ext}} = \overrightarrow{0} \quad \Rightarrow \quad \overrightarrow{\mathrm{P}} + \overrightarrow{\Pi} + \overrightarrow{\mathrm{T}} = \overrightarrow{0}$$

   à moins de vouloir être particulièrement rigoureux et précis.
3. L'hélium s'échappe brutalement du ballon, qui se dégonfle, et étant propulsé à grande vitesse pendant quelques secondes sur quelques mètres par l'hélium s'échappant en sens inverse. C'est le principe de la propulsion par réaction qui est ainsi illustrée.
4. Juste après l'ouverture du ballon, l'hélium s'échappe verticalement vers le bas, donc le ballon se déplace verticalement vers le haut.



   La quantité de mouvement de l'ensemble { ballon + gaz échappé } est constante car ce système peut toujours être considéré comme pseudo-isolé (la vitesse du ballon est encore suffisamment faible pour que les frottements restent négligeables en ce début de mouvement). Comme le ballon était initialement immobile, la quantité de mouvement de l'ensemble reste nulle :

$$\overrightarrow{p} = \overrightarrow{0}$$

   Ainsi, la quantité de mouvement $\overrightarrow{p}_1$ du gaz explusé est alors égale et opposée à celle acquise par le ballon $\overrightarrow{p}_2$:

$$\overrightarrow{p}_1 + \overrightarrow{p}_2 = \overrightarrow{0}$$

   Ceci explique en particulier la raison pour laquelle la propulsion est efficace même dans le vide.

Exercice n°24 p. 149 : Arrivée en gare d'un TGV

1. De $t = 0$ min à $t = 5$ min, la composante selon (Ox) de la vitesse diminue, donc le TGV décélère ;
   De $t = 5$ min à $t = 10$ min, la vitesse reste constante, le mouvement est uniforme ;
   De $t = 10$ min à $t = 13$ min environ, le TGV décélère à nouveau, jusqu'à l'arrêt $v_x = 0\ \mathrm{km \cdot h^{-1}}$;
   D'environ $t = 13$ s à $t = 20$ s le TGV est à l'arrêt, vitesse nulle.
2. Entre les dates $t_5 = 5$ min à $t_{10} = 10$ min, la vitesse selon (Ox) est constante, donc l'accélération selon cet axe est nulle :

$$a_x = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t} = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

À partir de la date $t_{13} = 13$ min, le TGV est à l'arrêt donc à nouveau l'accélération selon (Ox) est nulle.

3. L'accélération est par définition la dérivée par rapport au temps de la vitesse. Pour déterminer l'accélération à une date précise, on trace la tangente à la courbe donnant la vitesse en fonction du temps, la dérivée recherchée étant égale à la pente de cette tangente. Le tracé nécessaire est proposé sur la reproduction du graphique ci-dessous.

Pour calculer la pente de la tangente, on fait le choix de deux points sur la tangente facile à lire. La pente est égale à la variation en ordonnée sur la variation en abscisse, sans oublier de convertir les minutes en heure pour le faire coïncider avec les kilomètres par heure de la vitesse :

$$a_2 = \frac{0-120}{\frac{5{,}6-0}{60}} = -1\,286 \text{ km} \cdot \text{h}^{-2}$$

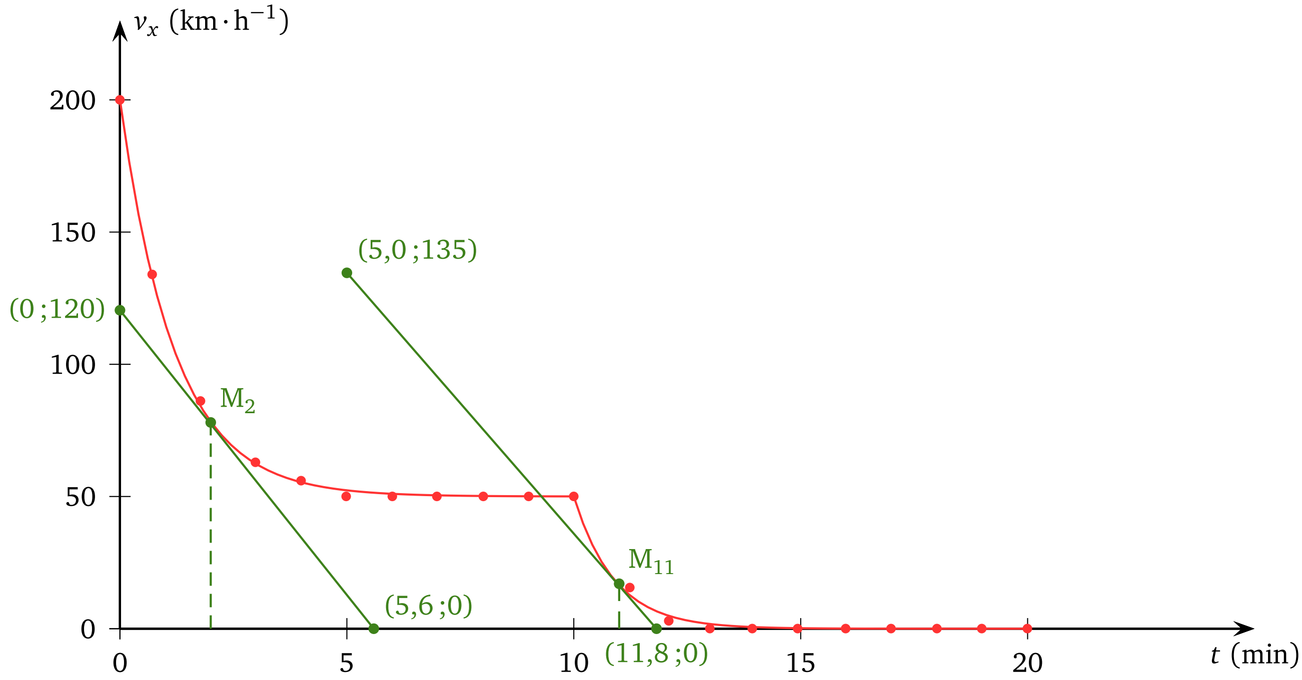
$$a_{11} = \frac{0-135}{\frac{11{,}8-5{,}0}{60}} = -1\,191 \text{ km} \cdot \text{h}^{-2}$$

Si on préfère on peut convertir les km/h en m/s et les minutes en seconde :

$$a_2 = \frac{\frac{0-120}{3{,}6}}{(5{,}6-0)\times 60} = -0{,}099 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$a_{11} = \frac{\frac{0-135}{3{,}6}}{(11{,}8-5{,}0)\times 60} = -0{,}092 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

On constate des décélérations assez proches, ce qui est normal puisque les deux tangentes sont quasiment parallèles. En revanche le signe de la composante est bien négatif, il s'agit d'une coordonnée et pas d'une norme.



Physique Chapitre 7 – TS2 2013
Lois de Newton – Résolutions types

Exercice 1 – Le skieur

On considère un skieur de masse $m = 70$ kg. On négligera les frottements de l'air sur le skieur. On étudie le mouvement du skieur le long d'une piste noire supposée parfaitement rectiligne, inclinée d'un angle $\alpha = 10°$ par rapport à l'horizontale.

a. Faire le bilan des forces s'exerçant sur l'ensemble {skieur + ski} lors d'une descente. Appliquer la deuxième loi de Newton et projeter l'équation vectorielle précédente sur deux axes bien choisit.

b. Recommencer pour la phase de montée, lorsque le skieur est tiré vers le haut par une perche inclinée de $\beta = 30°$ par rapport à la pente de la piste.

c. Applications numériques : trouvez les valeurs des composantes normale et tangentielle de la force de contact {ski – piste enneigée}, dans chacun des cas précédents, en considérant que le skieur a une vitesse constante et que, lors de la montée, la tension exercée par la perche vaut $T = 700$ N.

Exercice 2 – La mongolfière

Une mongolfière peut être modélisée par une nacelle de masse $M = 150$ kg et un ballon de volume $V = 500\ m^3$ contenant de l'air chaud.

1. Faire l'inventaire des forces s'exerçant sur le système {nacelle + ballon}. On néglige les éventuels frottements de l'air lors du déplacement du ballon.
2. Le ballon s'élève dans les airs, puis son altitude reste constante.

a. Quelle relation existe-t-il alors entre les forces s'exerçant sur le système ?

b. On note ρ_{chaud} la masse volumique de l'air chaud contenu dans le ballon. La masse volumique de l'air froid entourant le ballon est $\rho_{froid} = 1,30\ kg \cdot m^{-3}$.
Donner l'expression de la Poussée d'Archimède s'exerçant sur le ballon en fonction de ρ_{froid}, V et g.
En déduire la valeur de ρ_{chaud}.

⋆⋆
⋆