Chapitre 6 : Mouvement et forces

I. Quelques rappels

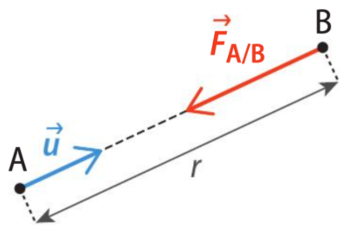
a) Les différents types de forces

- Force d'attraction gravitationnelle – Poids

La **force gravitationnelle** exercée par un point matériel A, de masse m_A, sur un point matériel B, de masse m_B, à une distance r de A, est :

$$\vec{F}_{A/B} = -G\frac{m_A m_B}{r^2}\vec{u}$$

où $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ m^3·kg^{-1}·s^{-2} est la constante de gravitation universelle et $\vec{u}$ un vecteur unitaire orienté de A vers B (doc. 4).



● Un point A de masse m_A génère en tout point B de masse m_B à une distance r de A, un champ de gravitation $\vec{g}_A(B) = -G\frac{m_A}{r^2}\vec{u}$.
Ainsi, A exerce sur B la force de gravitation $\vec{F}_{A/B} = m_B\vec{g}_A(B)$.

● La force gravitationnelle exercée par la Terre sur un objet est aussi appelée **poids** de l'objet. Au voisinage du sol terrestre, on peut considérer le champ de pesanteur $\vec{g}$ comme uniforme (identique en tout point de l'espace), vertical et vers le bas, de norme $g = 9{,}81$ N·kg^{-1}.

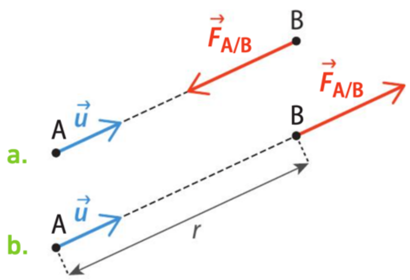
Le **poids** d'un objet de masse m, au voisinage du sol terrestre, s'écrit donc $\vec{P} = m\vec{g}$. Le poids est vertical et orienté vers le bas.

- Force d'attraction électrique

La **force électrique** qu'exerce un point A, de charge électrique q_A, sur un point B de charge électrique q_B, à une distance r de A, est :

$$\vec{F}_{A/B} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_A q_B}{r^2}\vec{u}$$

où $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8{,}99 \times 10^9$ N·m^2·C^{-2} est la constante de Coulomb et $\vec{u}$ un vecteur unitaire orienté de A vers B.
Cette force est **attractive** si q_A et q_B sont de signes opposés (doc. 5a) ou **répulsive** si elles sont de même signe (doc. 5b).



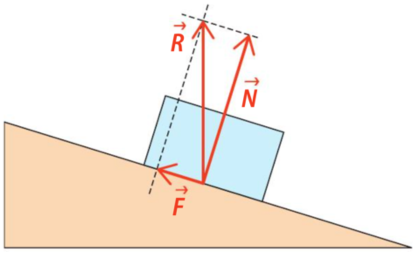
Un point A de charge électrique q_A génère en tout point B, de charge q_B et à une distance r de A, un champ électrique $\vec{E}_A(B) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_A}{r^2}\vec{u}$.

Ainsi, la charge q_A exerce sur la charge q_B la force $\vec{F}_{A/B} = q_B\vec{E}_A(B)$.

Il est possible de créer un champ électrique $\vec{E}$ uniforme (identique en tout point). Une particule de charge électrique q placée dans ce champ subit alors une force électrique $\vec{F} = q\vec{E}$.

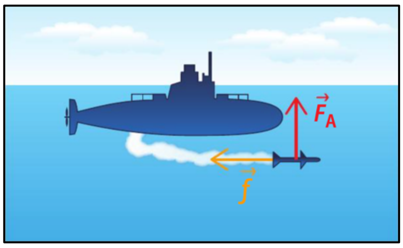
- Réaction normale et tangentielle de support

Un solide en contact avec le système exerce sur lui deux forces :
– une **réaction normale** $\vec{N}$, perpendiculaire à la surface de contact et modélisant le fait que les solides ne s'interpénètrent pas ;
– une **réaction tangentielle** $\vec{F}$, parallèle à la surface de contact et modélisant les **frottements** entre les solides.
Leur somme est parfois nommée **réaction du support** $\vec{R}$ (doc. 6).



- Force exercée par un fluide sur un solide : force pressante et poussée d'Archimède

Un solide plongé dans un fluide (liquide, gaz) (doc. 7) est soumis à :
- des **forces pressantes** dont la somme est une force verticale et orientée vers le haut $\vec{F_A}$, nommée **poussée d'Archimède**. Cette force est souvent négligée dans l'air mais permet d'expliquer la flottabilité des objets dans les liquides. Chapitre 14
- la **force de frottement fluide** $\vec{f}$ opposée au mouvement. Cette force traduit la résistance au mouvement du système par le fluide.



- Tension d'un fil

Un système accroché à un fil tendu (câble, corde, etc.) subit de la part du fil une **force de tension** ou **force de rappel** $\vec{T}$, parallèle au fil et orientée du point d'accroche vers l'extrémité opposée (doc. 8).

b) Référentiel galiléen et première loi de Newton

1. Référentiel galiléen

Un référentiel est dit galiléen si le principe d'inertie (1ère loi de Newton) est vérifié dans ce référentiel. Autrement dit un référentiel est galiléen s'il est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme par rapport à un autre référentiel galiléen.

2. Énoncé vectoriel de la première loi de Newton

Dans un référentiel galiléen, pour le centre de masse du système, si $\vec{v_g} = constante$ (ou $\vec{a_G} = \vec{0}$) alors $\sum \vec{\boldsymbol{F}} = \vec{\boldsymbol{0}}$ et réciproquement.

II. Deuxième loi de Newton

a) Énoncé

Dans un référentiel galiléen, la résultante des forces extérieures appliquées au système, de masse constance, est égale au produit de la masse du système par l'accélération de son centre de masse.

$$\sum \vec{\boldsymbol{F}} = \boldsymbol{m}.\vec{\boldsymbol{a}}(\boldsymbol{t})$$

a en m.s^{-2} ; m en kg et F en Newton

b) Étude dynamique

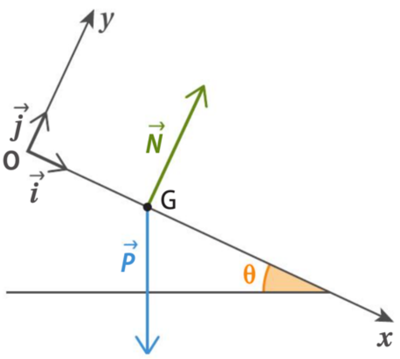
La dynamique est l'étude d'un système afin de mettre en relation les forces qui s'exercent sur lui et son mouvement.

- Méthode générale

1- Définir le système
2- Définir le référentiel que l'on supposera galiléen
3- Faire le bilan des forces
4- Faire un schéma avec les forces puis choisir un système d'axe dont les directions correspondent à un maximum de force
5- Écrire la relation vectorielle correspondante à la loi utilisée
6- La projeter sur le système d'axe et déterminer la ou les inconnue(s)

1. Des forces au mouvement

Reprenons le bloc sur le plan incliné (doc. 12) en négligeant tout frottement. À l'instant $t = 0$ s, le bloc se situe à l'abscisse $x = 0$ m et est lâché sans vitesse initiale (doc. 17).



3. Le système subit son poids $\vec{P}$ et la réaction normale du support $\vec{N}$.

4. La deuxième loi de Newton s'écrit : $\vec{P} + \vec{N} = m\vec{a}$

5. En projection sur les vecteurs $\vec{i}$ et $\vec{j}$, on obtient :

$$\begin{cases} P_x + N_x = ma_x \\ P_y + N_y = ma_y \end{cases} \quad \text{soit} \quad \begin{cases} mg\sin\theta + 0 = ma_x \\ -mg\cos\theta + N = ma_y \end{cases}$$

Le système étant en mouvement sur (Ox), a_y est nulle. La deuxième égalité s'écrit donc $-mg\cos\theta + N = 0$ d'où $N = mg\cos\theta$.
La première égalité s'écrit $mg\sin\theta = ma_x$ et donne $a_x = g\sin\theta$.

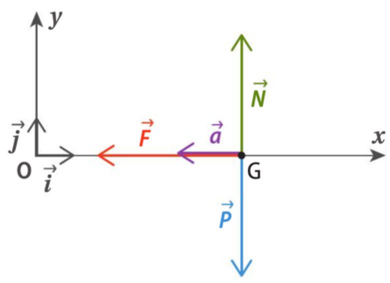
Par définition, l'accélération $\vec{a}$ est liée à la vitesse $\vec{v}$ du système par $\vec{a} = \dfrac{d\vec{v}}{dt}$ soit, en projection sur l'axe (Ox), $a_x = \dfrac{dv_x}{dt}$.

2. Du mouvement aux forces

Une voiture de masse $m = 1{,}2 \times 10^3$ kg roule en ligne droite sur une route horizontale. Sous l'action des frottements du sol, la voiture ralentit (doc. 18). La coordonnée horizontale de sa position suit l'équation $x(t) = -0{,}75t^2 + 25t + 20$, où t est en secondes et x en mètres (doc. 20). On cherche la norme de la force de frottement du sol lors de ce mouvement. Toute action de l'air sera négligée.

1. Système étudié : la voiture, modélisée par son centre G.
2. Référentiel d'étude : le référentiel terrestre, supposé galiléen.
3. La voiture est soumise à :
– son poids $\vec{P}$, force verticale dirigée vers le bas, de norme $P = mg$;
– la réaction normale de la route $\vec{N}$, verticale dirigée vers le haut ;
– la force de frottement $\vec{F}$, horizontale, opposée au mouvement.

On définit les axes sur le doc. 19. À $t = 0$ s, le point G se situe à $x(0) = -0{,}75 \times 0^2 + 25 \times 0 + 20 = 20$ m de l'origine.



4. La deuxième loi de Newton s'écrit : $\vec{P} + \vec{N} + \vec{F} = m\vec{a}$

5. En projection sur l'axe (Oy), on obtient $-P + N = 0$ puisqu'il n'y a pas d'accélération verticale.

En projection sur l'axe (Ox), on obtient $-F = ma_x$, d'où $F = -ma_x$.

L'équation de la position de la voiture est $x(t) = -0{,}75t^2 + 25t + 20$.

Par dérivation temporelle de $x(t)$, on obtient l'équation horaire de la vitesse horizontale, en mètres par seconde : $v_x(t) = -1{,}5t + 25$ (doc. 20).

Une nouvelle dérivation donne $a_x(t) = -1{,}5$ m·s^{-2} (doc. 20).

On en déduit $F = -ma_x = -1{,}2 \times 10^3 \times (-1{,}5) = 1{,}8 \times 10^3$ N.