

## II – Modéliser une action

Dans la première partie de ce chapitre, on a vu comment décrire le mouvement d'un système dans un référentiel donné : il faut donner des informations sur la trajectoire et la variation du vecteur vitesse du système.

Dans cette partie, on va s'intéresser aux causes du mouvement : les **actions mécaniques**.

### 1 – Actions mécaniques

➤ Un corps exerce une **action mécanique** sur le système étudié s'il est capable d'en modifier le mouvement.

→ *Exemple* : si vous lancez un ballon, vous exercez une action mécanique sur le ballon qui entraîne sa mise en mouvement.

#### A – Modélisation par une force

Pour modéliser une action mécanique, on utilise le concept de **force**.

La force exercée par un corps  $A$  sur un corps  $B$  est représentée par un vecteur  $\vec{F}_{A/B}$ . Ce vecteur possède les trois caractéristiques suivantes :

- Une **norme** notée  $F_{A/B}$ , qui s'exprime en newton (N).
- Une **direction**.
- Un **sens**.

Dans le modèle du point matériel, le système étudié (ici le corps  $B$ ) est modélisé par un point : ce sera le point d'application de  $\vec{F}_{A/B}$ .

#### B – Actions de contact et actions à distance

Les actions mécaniques peuvent être séparées en deux catégories : les **actions de contact** et les **actions à distance**.

► Si l'action a lieu quand les corps sont en contact, alors il s'agit d'une action de contact.

→ *Exemple* : Quand une footballeuse shoot dans un ballon, elle exerce une action de contact.

⚠ Dans le modèle du point matériel, il faut bien distinguer le point de contact (ici le bord du ballon) et le point d'application de la force (ici le centre du ballon).

► Si une action a lieu même lorsque les corps ne sont pas en contact, alors il s'agit d'une action à distance.

→ *Exemples* : La Terre exerce une action à distance sur la Lune : la force d'interaction gravitationnelle. Le noyau externe de la Terre est un aimant qui exerce une action à distance sur les aiguilles d'une boussole : la force d'interaction électromagnétique.

► D'un point de vue microscopique, les actions de contact n'existent pas. Toutes les actions de contact macroscopiques sont en fait des actions à distance électromagnétiques entre entités chimiques, dont la portée est très courte ( $\sim 10$  à  $100$  nm).

## 2 – Principe des actions réciproques

Lorsqu'un corps  $A$  exerce sur un corps  $B$  une force  $\vec{F}_{A/B}$ , alors  $B$  exerce sur  $A$  une force opposée  $\vec{F}_{B/A}$  telle que

$$\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}$$

Par rapport à  $\vec{F}_{A/B}$ , la force  $\vec{F}_{B/A}$  a donc

- la **même norme**  $F_{B/A} = F_{A/B}$  ;
- la **même direction** ;
- un **sens opposé** à  $\vec{F}_{A/B}$ .

► Pour des raisons historiques, ce principe est parfois appelé la **troisième loi de Newton**.

## 3 – Exemples de forces

### A – Force d'interaction gravitationnelle

► Tous les corps qui possèdent une masse s'attirent entre eux : c'est l'attraction gravitationnelle.

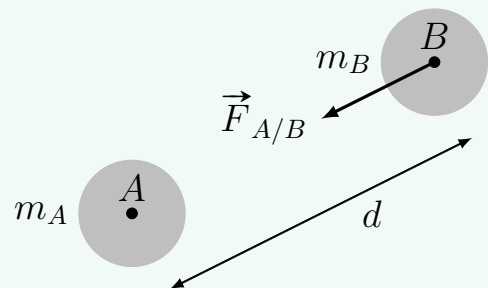
Soit un corps  $A$  de masse  $m_A$  et un corps  $B$  de masse  $m_B$ , séparés par une distance  $d$ .

On modélise l'attraction gravitationnelle exercée par le corps  $A$  sur le corps  $B$  par une force représentée par un vecteur  $\vec{F}_{A/B}$  :

- **Norme** :  $F_{A/B} = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$ , en newton.
- **Direction** : la droite  $AB$ .
- **Sens** : de  $B$  vers  $A$  (force attractive).

Dans la formule de la norme de la force, les masses s'expriment en kilogramme (kg), la distance en mètre (m) et la **constante universelle de gravitation**  $G$  en newton mètre carré par kilogramme carré ( $\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ ). Sa valeur (à connaître) est

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$$



## B – Poids

➤ Près de la surface d'un astre comme la Terre, les corps qui possèdent une masse  $m$  sont soumis à une **force de pesanteur**, aussi appelée **poids**.

Le **poids** est modélisé par un vecteur  $\vec{P}$ , caractérisé par :

- Une **norme** :  $P = m \cdot g$ , exprimée en newton (N).
- Une **direction** : verticale (la droite passant par le centre de l'astre et le point modélisant le corps).
- Un **sens** : du haut vers le bas (vers le centre de l'astre).

Dans la formule de la norme de la force, la masse  $m$  s'exprime en kilogramme (kg) et **l'accélération de la pesanteur**  $g$  en newton par kilogramme (N/kg) ou en mètre par seconde carrée ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ). Sa valeur sur Terre (à connaître) est :

$$g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

⚠ Il ne faut pas confondre l'accélération de la pesanteur  $g$  et la constante universelle de gravitation  $G$ . Ces deux grandeurs ne représentent pas la même chose et n'ont pas la même valeur et les mêmes unités.

▶ En première approximation, le poids est simplement la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur le corps de masse  $m$  :  $\vec{P} \simeq \vec{F}_{\text{Terre/corps}}$ . Et donc en notant la masse de la Terre  $M_T$  et le rayon de la Terre  $R_T$  :

$$\begin{aligned} m \cdot g &= G \cdot \frac{m \cdot M_T}{R_T^2} \\ \Rightarrow m \cdot g \cdot \frac{1}{m} &= G \cdot \frac{m \cdot M_T}{R_T^2} \cdot \frac{1}{m} \\ \Rightarrow g &= G \cdot \frac{M_T}{R_T^2} \end{aligned}$$

## C – Force exercée par un support

➤ Un système de masse  $m$  reposant sur un support, exerce des forces « de contact » électromagnétiques sur ce support. Le principe des actions réciproques implique que le support exerce alors une force opposée, qu'on appelle **réaction du support**.

La **réaction du support** est modélisée par un vecteur  $\vec{R}$  caractérisé par :

- Une **norme** égale à celle du poids du système  $R = P$ .
- Une **direction** : perpendiculaire au support.
- Un **sens** : vers le haut.

## D – Forces de frottements

➤ Un système en mouvement subit une force liée à l'action du milieu sur ou dans lequel il se déplace (gaz, liquide, support solide). Ce sont les forces de frottements  $\vec{f}$ .

Les **forces de frottements** sont modélisées par un vecteur  $\vec{f}$  caractérisé par :

- Une **norme** qui dépend de la vitesse du système et du milieu.
- Une **direction** : celle du déplacement.
- Un **sens** : opposée au mouvement.

Dis autrement  $\vec{f}$  est opposée au vecteur vitesse du système  $\vec{v}$ ,  $\vec{f} = -\alpha \vec{v}$  (où la valeur de  $\alpha > 0$  dépend du mouvement).

Ces forces sont liées aux multiples interactions microscopiques entre les entités du milieu et le système macroscopique. Elles sont donc complexes à modéliser à notre échelle macroscopique.

On pourra retenir que

- pour un système qui se déplace dans un gaz comme l'air, la norme  $f$  est proportionnelle au carré de la vitesse  $v^2$ .
- pour un système qui se déplace dans un liquide comme l'eau,  $f$  est proportionnelle à la vitesse  $v$ .

## E – Force d'interaction électrostatique

➤ Tous les corps qui possèdent une charge exercent une action entre eux : c'est **l'interaction électrostatique**. Cette interaction n'est pas à connaître.

Soit un corps  $A$  de charge  $q_A$  et un corps  $B$  de charge  $q_B$ , séparés par une distance  $d$ . On modélise l'interaction électrostatique exercée par le corps  $A$  sur le corps  $B$  par une force représentée par un vecteur  $\vec{F}_{A/B}$ , caractérisé par :

- Une **norme** :  $F_{A/B} = K \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{d^2}$ , exprimée en newton (N).
- Une **direction** : la droite passant par les centres des corps  $A$  et  $B$ .
- Un **sens** : dépend du signe du produit  $q_A \cdot q_B$  ! La force est **attractive** si  $q_A \cdot q_B > 0$  et **répulsive** si  $q_A \cdot q_B < 0$ .

Dans la formule de la norme, la **constante universelle électromagnétique**  $K$  joue un rôle similaire à la constante universelle gravitationnelle  $G$ , mais sa valeur est bien plus élevée  $K/G \sim 10^{42}$  !

C'est l'interaction électrostatique qui est à l'origine de la stabilité des atomes et des molécules.