

# Physique 4 : Les actions mécaniques - Modèle de la force

Dans le chapitre précédent, nous avons étudié la description du mouvement sans nous intéresser à ses causes. Dans ce chapitre, nous allons étudier les causes du mouvement : les actions mécaniques. La section 1 est consacrée à la présentation des actions mécaniques. Nous verrons dans la section 2 que nous pouvons modéliser ces actions par des vecteurs : les forces. Enfin nous étudierons en détails deux types de forces : la force gravitationnelle et la tension d'un fil section 3.

## 1 Les actions mécaniques

### 1.1 Présentation

#### Définition 4.1: Action mécanique

Une action mécanique est la cause du mouvement ou de la déformation d'un système.

EXEMPLES :

- L'action de souffler dans un ballon de baudruche est une action mécanique car elle déforme le ballon.
- L'action de pousser un meuble est une action mécanique car elle conduit au mouvement du meuble.
- L'attraction gravitationnelle d'une pomme vers le sol est une action mécanique car elle conduit au mouvement de chute de la pomme.

REMARQUE : Les actions mécaniques peuvent s'exercer par contact mécanique, mais aussi à distance.

## 1.2 Les actions de contact

### Définition 4.2: Action de contact

Lorsqu'une action mécanique s'effectue par le biais d'un contact physique, on parle d'une action de contact.

EXEMPLES :

- L'action de frapper une balle de tennis avec une raquette est une action de contact.
- La tension d'un fil sur un pendule permet de maintenir une masse en suspension, c'est une action de contact, voir figure 4.1.

## 1.3 Les actions à distance

### Définition 4.3: Action à distance

Lorsqu'une action mécanique s'effectue à distance, on parle d'une action à distance.

EXEMPLES :

- L'attraction entre deux aimants est une action à distance, voir figure 4.2.
- L'attraction gravitationnelle entre la Terre et la Lune est une action à distance

## 2 Le modèle des forces

Dans cette section, nous présentons un modèle mathématique pour décrire les actions mécaniques : les forces, qui sont des vecteurs.

### 2.1 Modèle mathématique

Pour caractériser les actions mécaniques les plus courantes, il suffit de connaître 4 informations :

- Un point d'application : c'est le point où l'action mécanique est appliquée.
- La direction : c'est une droite le long de laquelle l'action mécanique est appliquée.
- Le sens : c'est le sens dans lequel la droite directrice est parcourue par l'action mécanique.
- Une intensité, exprimée en Newtons, notés N.

On combine ces quatre informations en un seul objet mathématique : le vecteur force.



FIGURE 4.1: Pendule de Foucault au Panthéon, à Paris.

La tension d'un fil dans un pendule est une action de contact.

Source : FuturaSciences



FIGURE 4.2: Les aimants au néodyme sont très utilisés au quotidien, par exemple pour les boucles de portefeuilles. L'attraction entre aimants est une action à distance.

Source : Wikipedia

REMARQUE :

Il ne faut pas confondre le vecteur  $\vec{F}$  et sa norme  $F$ .

**Définition 4.4: Force**

Une force est un vecteur, noté  $\vec{F}$ , qui permet de modéliser une action mécanique.

**Méthode 4.1: Représenter une force**

Pour représenter une force, on trace une flèche qui :

- Part du point d'application
- Est portée par la droite directrice de la force
- Est dirigée dans le sens de la force
- Possède une longueur proportionnelle à sa norme en Newton. Souvent on donne une échelle de représentation (par exemple 1 centimeter représente 10 N).

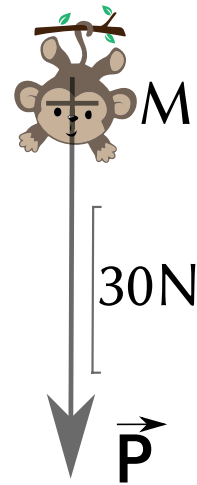


FIGURE 4.3: EXEMPLE :

Le singe est soumis (entre autres) à son poids  $\vec{P}$ . Pour représenter cette force, on trace une flèche qui part du point d'application (le centre de gravité du singe), dirigée vers le bas selon la direction verticale. On mentionne le nom de la force  $\vec{P}$  au niveau de la pointe de la flèche.

**2.2 Principe des actions réciproques (3<sup>ème</sup> loi de Newton)****Propriété 4.1: Principe des actions réciproques**

Lorsqu'un système  $A$  exerce une action sur un système  $B$ , modélisé par une force  $\vec{F}_{A/B}$ , le système  $B$  exerce une réaction sur le système  $A$ , de même direction, de même norme, mais de sens opposé. Autrement dit :

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

**APPLICATION : PRINCIPE DE DYNAMOMÈTRE**

Pour mesurer des forces, on utilise un instrument appelé dynamomètre, dont le principe est schématisé figure 4.4. Nous utiliserons le dynamomètre dans le TP sur le poids.

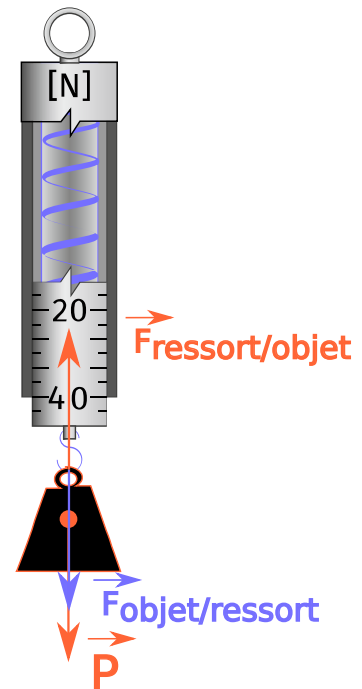


FIGURE 4.4: Principe du dynamomètre :

Pour mesurer le poids d'une masselotte, on suspend cette masse au ressort du dynamomètre : à l'équilibre, la force exercée par le ressort sur la dynamomètre égale le poids (ces forces sont ici représentées en orange). D'après le principe des actions réciproques on sait que la force exercée par la masselotte sur le ressort (représentée en violet) y est égale et opposée. Or le ressort a été calibré en usine : son extension est proportionnelle à la norme de la force qui lui est appliquée en Newtons. Cette correspondance, graduée sur l'appareil, permet une lecture facile!

### 3 Forces usuelles

#### 3.1 La tension d'un fil

##### Propriété 4.2: Tension d'un fil

Tout fil est caractérisé par une longueur au repos. Lorsqu'on tire sur les extrémités de ce fil, il s'étire légèrement, on dit qu'il se tend. Il exerce alors une force de tension qui tend à le ramener à sa situation de repos :

- Qui s'applique aux points de tension.
- Sa direction est celle du fil.
- Des points de tension vers le fil.
- De norme  $T$ . (voir figure 4.5)



FIGURE 4.5: Tension d'un fil lorsqu'on tire dessus. La poulie permet de dévier cette tension : elle en change la direction sans en changer la norme.

#### 3.2 La réaction du support

TO-DO (voir TD)

#### 3.3 L'attraction gravitationnelle

##### Définition 4.5: La masse

La masse est une propriété intrinsèque de certaines particules élémentaires (voir cours sur l'atome), on la note usuellement  $m$ . Son unité de mesure dans le système international est le kilogramme, noté kg.

Intrinsèque : c'est-à-dire caractéristique, inaliénable; tous les électrons de l'univers ont la même masse, sinon ce ne seraient pas des électrons

EXEMPLE :

L'électron, le proton et le neutron possèdent une masse (voir cours sur l'atome). Il en résulte que tout échantillon de matière possède une masse car les atomes sont composés de protons, de neutrons et d'électrons.

**Propriété 4.3: Interaction gravitationnelle**

Deux corps massifs exercent l'un sur l'autre une action attractive à distance : c'est l'interaction gravitationnelle (voir fig 4.6).

Plus précisément, le corps 1 exerce sur le centre de gravité du corps 2 une force :

$$\vec{F}_{1/2} = \mathcal{G} \frac{m_1 m_2}{d^2} \vec{u}_{12}$$

où

- $\mathcal{G} = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$  est une constante universelle (c'est la même partout dans l'univers, en particulier elle ne dépend pas des différents corps).
- $m_1$  et  $m_2$  sont les masses des corps 1 et 2
- $d$  est la distance qui sépare leurs centres de gravité.
- $\vec{u}_{12}$  est un vecteur unitaire (*i.e.* de norme égale à 1) dirigé du centre de gravité du corps 1 vers celui du corps 2.

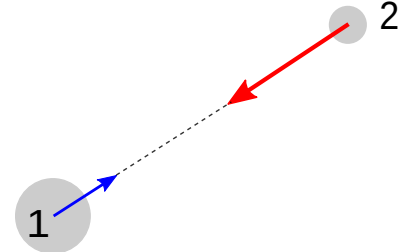


FIGURE 4.6: Attraction gravitationnelle entre deux corps.

L'interaction gravitationnelle fait partie des 4 interactions fondamentales présentes dans la nature.

**3.4 Le poids**

À la surface de la Terre, tous les corps sont attirés par la Terre, de masse  $m_T = 6 \times 10^{24} \text{ kg}$ . Ils subissent l'attraction gravitationnelle, qui est notée  $\vec{P}$  et appelée poids dans ce contexte :

$$\vec{P} = -\mathcal{G} \frac{m_T m}{R_T^2} \vec{u}_z$$

où  $R_T \approx 6400 \text{ km}$  est le rayon de la terre,  $\vec{u}_z$  est un vecteur qui indique la verticale locale<sup>1</sup>. On peut réécrire

$$\vec{P} = m \vec{g}$$

où  $\vec{g} = -\frac{\mathcal{G} m_T}{R_T^2} \vec{u}_z$ , soit numériquement  $\vec{g} = -g \vec{u}_z$ ,  $g = 9.8 \text{ N kg}^{-1}$ .

On dit que  $g$  est l'intensité de la pesanteur.

La formule  $\vec{P} = m \vec{g}$  est d'une grande utilité pratique car elle exprime qu'il faut fournir une force proportionnelle à la masse d'un objet pour vaincre l'attraction terrestre et le soulever, nous vérifierons expérimentalement cette loi.

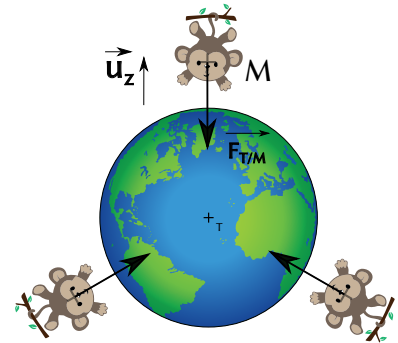


FIGURE 4.7: Attraction gravitationnelle entre deux corps.

1. Attention, comme la Terre est ronde, le vecteur  $\vec{u}_z$  « vers le haut » dépend du point sur Terre : c'est un vecteur dirigé du centre de la Terre vers le point  $M$  (voir fig. 4.7)

À la fin de ce chapitre, je sais (extrait du B.O.) :

- Modéliser l'action d'un système extérieur sur le système étudié par une force. Représenter une force par un vecteur ayant une norme, une direction, un sens.
- Exploiter le principe des actions réciproques (3<sup>e</sup> loi de Newton).
- Distinguer actions à distance et actions de contact.
- Identifier les actions modélisées par des forces dont les expressions mathématiques sont connues *a priori*.
- Utiliser l'expression vectorielle de la force d'interaction gravitationnelle.
- Utiliser l'expression vectorielle du poids d'un objet, approché par la force d'interaction gravitationnelle s'exerçant sur cet objet à la surface d'une planète.
- Représenter qualitativement la force modélisant l'action d'un support dans des cas simples relevant de la statique.