Cours MI 2 – Actions mécaniques et forces

Objectifs :
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.
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.

I. L'action mécanique et sa modélisation physique : le vecteur force

1) Définition générale

L'action mécanique (poussée, traction…) d'un système extérieur A sur le système d'étude B est modélisé en physique par une grandeur appelée force, exprimée en Newton (N).

Une action mécanique est caractérisée par son intensité, mais également par son orientation dans l'espace (direction et sens) : une force est donc correctement représentée par une grandeur vectorielle : le vecteur force $\overrightarrow{F_{A/B}}$.

Une action mécanique peut se faire :
- soit par contact des deux systèmes (caisse poussée par un docker ; luge tirée par un parent…) ;
- soit à distance (attraction (donc chute) d'un corps par la Terre, attraction électrostatique de cheveux par un ballon de baudruche, aimantation d'un magnet sur un frigo…).

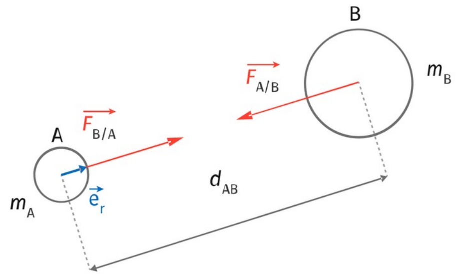
2) Notion d'interaction

Deux systèmes sont en interaction lorsqu'ils agissent mutuellement l'un sur l'autre, et donc que le mouvement (ou l'absence de mouvement : immobilité) de l'un est impacté par la présence de l'autre (et réciproquement).

Le principe des actions réciproques (3ème loi de Newton) énonce que deux systèmes A et B en interaction exercent mutuellement des forces l'un sur l'autre, telles que $\overrightarrow{F_{A/B}}=-\overrightarrow{F_{B/A}}$.

Ex : livre posé sur une table ; haltérophile ; accélération d'un bobsleigh ; course de chien de traîneau…

II. L'interaction gravitationnelle



1) Définition de la force gravitationnelle

Loi formulée par Isaac Newton (1687).

Deux corps de masses m_A et m_B dont les centres de gravité sont situés à une distance $d_{A,B}$ s'attirent sous l'effet de l'interaction gravitationnelle ; chacun est donc soumis à une force gravitationnelle.

$\vec{e_r}$ est un vecteur unitaire, porté par la droite (AB), orienté (par exemple) de A vers B. Il permet d'orienter les vecteurs des forces.

- La force gravitationnelle $\overrightarrow{F_{g,A/B}}$ exercée par la masse A sur la masse B a comme expression :

$$\overrightarrow{F_{g,A/B}} = \frac{-G \cdot m_A \cdot m_B}{d_{A,B}^2} \cdot \vec{e}_r$$

- Réciproquement, la force gravitationnelle $\overrightarrow{F_{g,B/A}}$ exercée par la masse B sur la masse A :

$$\overrightarrow{F_{g,B/A}} = \frac{G \cdot m_A \cdot m_B}{d_{A,B}^2} \cdot \vec{e}_r$$

- G est une constante fondamentale en physique : la constante de gravitation universelle vaut :

$$G = 6{,}67(43015) \cdot 10^{-11}\,N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}\,(\text{CODATA } 2018)$$

Dans les deux cas, les deux normes sont égales ! L'expression scalaire de cette force, permettant de calculer cette norme, est :

$$\|\vec{F}_g\| = \frac{G \cdot m_A \cdot m_B}{d_{A,B}^2}$$

On retrouve bien le principe des actions réciproques : $\overrightarrow{F_{g,A/B}} = -\overrightarrow{F_{g,B/A}}$

Ex d'AN : Terre vs Lune :

$m_T = 6{,}0 \cdot 10^{24}\,kg$; $m_L = 7{,}3 \cdot 10^{22}\,kg$; $d_{T,L} = 3{,}84 \cdot 10^5\,km$: attention aux unités piégeuses !

$$\|\overrightarrow{F_{g(T/L)}}\| = \frac{6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 6{,}0 \cdot 10^{24} \cdot 7{,}3 \cdot 10^{22}}{(3{,}84 \cdot 10^8)^2} \simeq 2{,}0 \cdot 10^{20}\,N$$

2) Cas particulier : le poids sur Terre

À proximité de la surface terrestre, on peut simplifier cette expression à l'aide des données spécifiques à la Terre : on définit alors l'intensité de pesanteur terrestre g_T (ou accélération de pesanteur).

En effet, sur Terre : $m_T = 6{,}0 \cdot 10^{24}\,kg$; $r_T \simeq 6{,}4 \cdot 10^3\,km$

Le terme $\frac{G \cdot m_T}{r_T^2}$ est donc (sensiblement) constant sur Terre, et vaut :

$$g_T = \frac{6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 6{,}0 \cdot 10^{24}}{(6{,}4 \cdot 10^6)^2} \simeq 9{,}8\,N \cdot kg^{-1}$$

L'expression générale de la force gravitationnelle se réécrit ainsi : $\|\vec{F}_g\| = \frac{G \cdot m_T \cdot m_B}{r_T^2} = g_T \cdot m_B$

On définit alors le poids du système B par : $\|\vec{P}\| = g_T \cdot m_B$

Le poids P, en Newton, est donc la force gravitationnelle exercée sur le système de masse m_B par la Terre, au voisinage de sa surface. Il s'agit donc de la même force et de la même manifestation physique d'attraction gravitationnelle !

Le poids ne peut donc pas être calculé en un autre lieu : par exemple, parler du poids de la Lune n'a pas de sens.

Vectoriellement : $\vec{g}_T = \frac{-G \cdot m_T}{r_T^2} \cdot \vec{e}_r$ et donc $\vec{P} = m_B \cdot \vec{g}_T$.