

Chapitre 2 : Agir sur un système

1. Modéliser une action mécanique
2. Principe des actions réciproques
3. Principe d'inertie

1. Modéliser une action mécanique

1.1. Notion de force

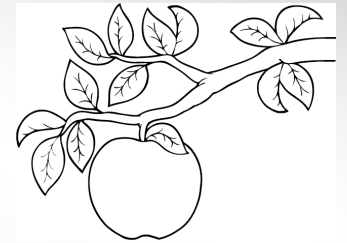
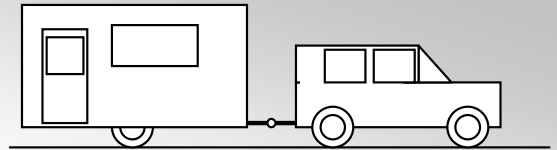
Une force est une action mécanique capable de modifier la forme d'un objet ou encore son mouvement. Elle s'exprime en newton (N) dans le Système International des unités. Chaque force possède 4 caractéristiques :

- sa direction (ou droite d'action)
- son sens
- son intensité (sa valeur en N)
- son point d'application

Exercice 1 :

Une voiture tracte une caravane avec une force F horizontale de 500 N.

- Tracer cette force sur le dessin ci-contre en prenant pour échelle : $1 \text{ cm} \Leftrightarrow 200 \text{ N}$
- Préciser les 4 caractéristiques de la force F .
- Sachant que l'objet qui crée la force est appelé "auteur" et que celui qui subit la force est appelé "receveur", préciser dans cet exemple l'auteur et le receveur de la force F .
- La notation complète d'une force s'écrivant $\vec{F}_{\text{auteur/receveur}}$, donner la notation complète de F .
- On considère une pomme suspendue à une branche. Préciser la direction, le sens et le point d'application de la force notée T qui retient la pomme à l'arbre.
- Représenter cette force sur le dessin ci-contre sans tenir compte de son intensité.
- Donner la notation complète de T .

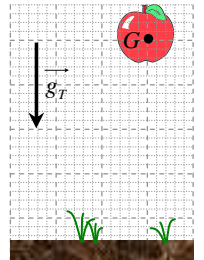


1.2. Caractéristiques de quelques forces

On considère une pomme de masse $m = 60 \text{ g}$. Quel que soit l'endroit où l'on place cette pomme dans l'Univers, sa masse reste la même. La masse est une propriété d'un objet qui ne dépend pas de l'endroit où il se trouve. Si l'on place cette pomme à la surface de la Terre, elle sera alors plongée dans le champ de gravité terrestre \vec{g}_T . C'est ce champ de gravité qui fait apparaître une force attirant la pomme vers le sol : le poids P .

A retenir :

- Le poids P d'un objet de masse m placé à la surface de la Terre a pour expression : $\vec{P} = m \cdot \vec{g}_T$
- \vec{g}_T est appelé champ de pesanteur et a pour valeur $9,8 \text{ N/kg}$ à la surface de la Terre.



Exercice 2 :

- A partir du schéma ci-dessus, retrouver l'intensité du champ de pesanteur sachant que l'échelle est : $1 \text{ div} \Leftrightarrow 5 \text{ N/kg}$
- Déterminer les caractéristiques du poids de la pomme.
- Tracer sur le schéma le vecteur poids de la pomme en prenant pour échelle : $1 \text{ cm} \Leftrightarrow 0,2 \text{ N}$.

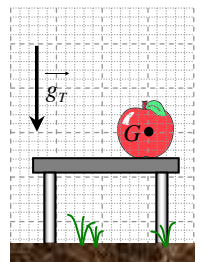
A retenir :

- La direction du poids \vec{P} est toujours verticale, et son sens est toujours vers le bas.

On pose à présent la pomme sur une table.

Exercice 3 :

- Si la pomme n'était soumise qu'à son poids, que devrait-elle faire normalement ?
- Comment expliquer le fait que la pomme reste immobile sur la table ?
- En déduire les caractéristiques probables de l'autre force qui s'exerce sur la pomme.
- Définir l'auteur et le receveur de cette nouvelle force.



A retenir :

Lorsqu'un objet ne peut traverser un support solide, c'est que ce dernier exerce sur cet objet une force qui s'oppose à son poids appelée réaction du support et généralement notée \vec{R} .

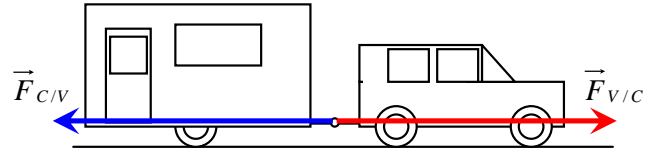
Dans le cas d'un objet immobile sur un support, on aura toujours : $\vec{R}_{\text{sup/obj}} = -\vec{P}_{\text{Terre/obj}}$

2. Principe des actions réciproques

2.1. Mise en évidence

Dans l'exemple de la pomme sur la table, la pomme appuie sur la table avec une force $\vec{F}_{POM/TAB}$ égale à son poids, et la table répond alors en exerçant une force de même intensité et même direction mais de sens opposée notée $\vec{F}_{TAB/POM}$ égale à la réaction du support. On peut donc écrire : $\vec{F}_{POM/TAB} = -\vec{F}_{TAB/POM}$

De la même manière, si la voiture tracte la caravane avec une force $\vec{F}_{V/C}$ alors forcément la caravane exerce une force de même intensité $\vec{F}_{C/V}$ sur la voiture mais de sens opposée.



2.2. Le Principe

Principe des actions réciproque ou **3^e loi de Newton** :

Quel que soit leur état de repos ou de mouvement, deux systèmes *A* et *B* en interaction exercent l'un sur l'autre des forces vérifiant la relation vectorielle :

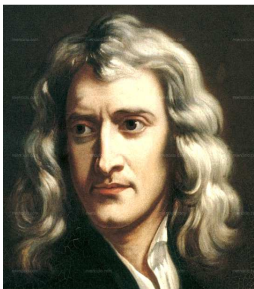
$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$


2.3. Force d'interaction gravitationnelle

Lorsqu'un système exerce une force sur un autre système **en le touchant**, on parle d'**action de contact**. Mais certaines forces peuvent se manifester entre deux systèmes **qui ne sont pourtant pas en contact** physique. On parlera alors d'**action à distance**.

Exercice 4 :

- Dans le cas de la pomme posée sur la table, le poids de la pomme est-il une action de contact ?
- Même question pour la force exercée par la pomme sur la table.
- Donner des exemples d'actions de contact.
- Donner des exemples d'actions à distance.



 **Isaac Newton** (1642 - 1727)

Un soir de 1665, dans un jardin du *Lincolnshire*, loin des grandes villes anglaises où la peste sévissait alors, **Isaac Newton** méditait assis sous un pommier. C'est la pleine Lune. Un léger bruit : une pomme vient de tomber à terre. Newton se pose la question : pourquoi la Lune ne tombe-t-elle pas sur la Terre comme cette pomme ?

Et la réponse lui vint, paradoxale et géniale : la Lune tombe vers la Terre comme l'a fait la pomme. La force qui attire la pomme vers la Terre et la force qui tient la Lune "attachée" à la Terre sont les mêmes !

En 1687 il publie son œuvre majeure "*Principes mathématiques de la philosophie naturelle*" dans laquelle il expose entre autre sa théorie de la **gravitation universelle**.

Loi de la gravitation universelle :

Deux corps *A* et *B* de masse respective m_A et m_B s'attirent mutuellement avec une force *F* appelée "**force d'interaction gravitationnelle**" d'intensité égale à :

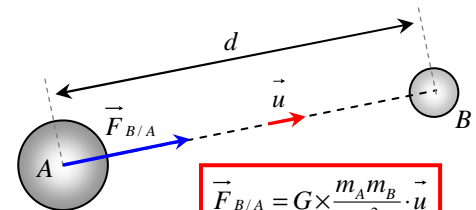
$$F = G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2}$$

$$F = F_{B/A} = F_{A/B}$$

avec : • *d* la distance séparant le centre de *A* de celui de *B*

• *G* la **constante de gravitation universelle**.

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ S.I.}$$



$$\vec{F}_{B/A} = G \times \frac{m_A m_B}{d^2} \cdot \vec{u}$$

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

Question : Ecrire $\vec{F}_{A/B}$ en fonction de \vec{u} .

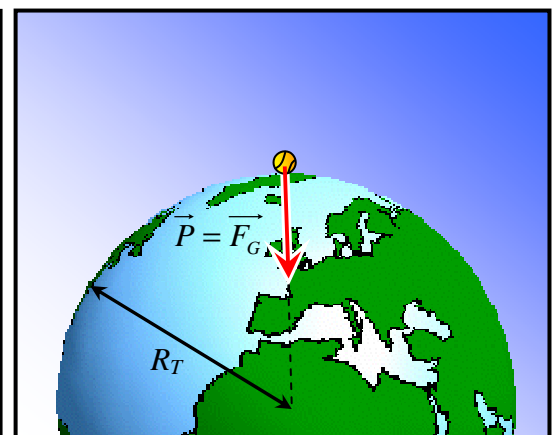
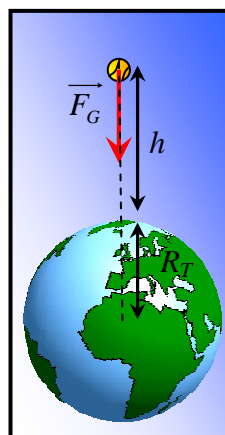
A retenir :

Par approximation, on peut considérer que le **poids *P*** d'un système de masse *m* (balle de tennis par ex.) posé à la surface de la Terre de masse M_T est égal à la **force d'interaction gravitationnelle F_G** exercée par la Terre sur le système. Ainsi, **à la surface de la Terre, on peut écrire** :

$$P = F_G \Leftrightarrow m \cdot g_T = G \times \frac{m \times M_T}{R_T^2}$$

$$\text{De là, on obtient : } g_T = G \times \frac{M_T}{R_T^2}$$

g_T est le champ de pesanteur de la Terre.

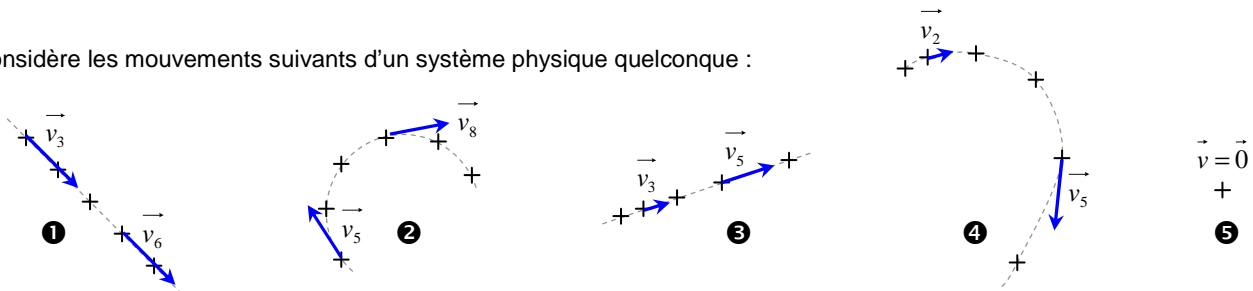


3. Le principe d'inertie

Principe d'inertie ou 1^{ère} loi de Newton :

Tout corps persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme s'il est soumis à des forces qui se compensent.

On considère les mouvements suivants d'un système physique quelconque :



Exercice 5 :

- Définir chaque mouvement.
- Pour chaque mouvement, préciser si le vecteur vitesse est constant ou s'il change au fil du temps.
- Quels sont les deux mouvements concernés par le principe de l'inertie ? Que peut-on dire de leur vecteur vitesse ?
- Quel est le mouvement qui représente au mieux celui de la pomme posée sur la table ?
- Faire le bilan des forces qui s'exercent sur la pomme. Conclure.
- Quel est le mouvement qui représente au mieux celui de la Terre autour du Soleil ?
- Faire le bilan des forces qui s'exercent sur la Terre. Conclure.
- Trouver une situation réelle qui pourrait être modélisée par le mouvement 1 et faire le bilan des forces. Conclure.

A retenir :

- Le principe d'inertie dit donc que si \vec{v} est constant pour un système, alors il est soumis à des forces qui se compensent : $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$.
- La réciproque est aussi vraie : si un système est soumis à des forces qui se compensent ($\Sigma \vec{F} = \vec{0}$) alors forcément \vec{v} est constant.

$$\vec{v} = \vec{Cst} \Leftrightarrow \Sigma \vec{F} = \vec{0}$$

- La **contraposée** de ceci est que si un système n'est pas soumis à des forces qui se compensent, alors son vecteur vitesse change. Et **réciroquement**, si son vecteur vitesse change (n'est pas constant), alors les forces ne se compensent pas.

$$\vec{v} \neq \vec{Cst} \Leftrightarrow \Sigma \vec{F} \neq \vec{0}$$

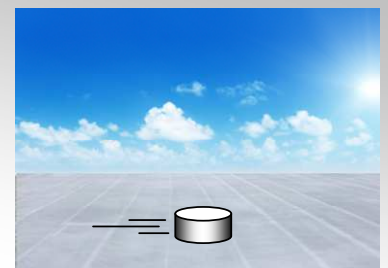
Exercice 6 :

Considérons une situation idéale imaginaire où un palet glisse sur une patinoire sans aucun frottement avec la glace ou avec l'air.

- Quel est alors le mouvement du palet dans le référentiel terrestre ?
- Les forces qui s'exercent sur le palet se compensent-elles ? Justifier.
- Faire le bilan des forces qui s'exercent sur le palet.

Lorsqu'on effectue réellement l'expérience, on observe que, même avec une glace très lisse, le palet ralentit et finit par s'arrêter.

- Quel est le mouvement réel du palet ?
- Les forces qui s'exercent sur le palet se compensent-elles ? Justifier.
- Quelles sont les forces qui s'exercent réellement sur le palet lors de son mouvement ? Les représenter ci-dessus sans tenir compte de leur intensité.



A noter :

- Un objet soumis à aucune force est dit **isolé**.
- Un objet soumis à des forces qui se compensent est dit **pseudo-isolé**.
- Un objet soumis uniquement à son poids est dit **en chute libre**.

Exercice 7 :

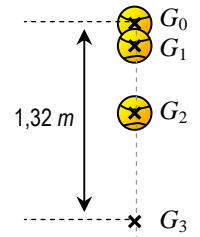
On considère une boule de pétanque en train de tomber d'une hauteur de 2 m.

- Définir la trajectoire de la boule.
- Définir son mouvement.
- Faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur la boule lors de sa chute.
- La boule est-elle isolée ? Pseudo-isolée ? En chute libre ? Justifier chaque réponse.
- Reprendre la dernière question en considérant à présent la chute d'une plume.

Exercice 1 : Etude d'une chute libre

On considère la chute verticale d'une balle de tennis. La position de la balle est repérée pendant la chute par celle de son centre de gravité G à intervalles de temps réguliers. On prendra : $\Delta t = 0,10 \text{ s}$.

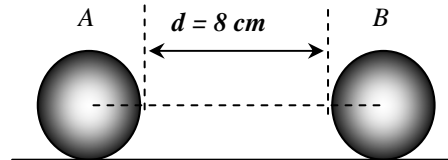
- A l'aide du schéma, déterminer l'échelle des longueurs.
- Déterminer la valeur de la vitesse instantanée v_3 .
- Tracer ce vecteur sur le schéma ci-contre en prenant pour échelle : $1 \text{ cm} = 1 \text{ m/s}$
- Faire de même avec la vitesse v_6 et tracer son vecteur.
- En regardant les deux vecteurs précédemment tracés, peut-on dire que le vecteur vitesse de la balle est constant lors de sa chute ? Justifier.
- La balle est-elle pseudo-isolée lors de cette chute ? Justifier.



Exercice 2 : Force de gravitation

Deux balles A et B de rayon $R = 1,0 \text{ cm}$ et de masse $m = 300 \text{ g}$ sont placées l'une à côté de l'autre comme le suggère le schéma ci-contre.

- Calculer la force d'interaction gravitationnelle qu'exerce la balle A sur la balle B.
- Représenter cette force sur le schéma ci-contre en prenant pour échelle : $1 \text{ cm} \Leftrightarrow 3 \cdot 10^{-10} \text{ N}$



La distance entre la Terre et le Soleil est d'environ 152 millions de kilomètres.

- Rechercher l'unité de la constante de gravitation universelle G .
- Sachant que la masse du Soleil est $M_S = 2,0 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ et que celle de la Terre est $M_T = 6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, déterminer la valeur de la force d'attraction F exercée par le Soleil sur la Terre. Donner sa notation précisant l'auteur et le receveur.
- En déduire la valeur de la force exercée par la Terre sur le Soleil et préciser sa notation complète.

Exercice 3 : Détermination du poids

On considère une fusée de $M_F = 250 \text{ t}$ placée sur son pas de tir.

- Déterminer la masse de la fusée en kg .
- Calculer son poids P_F .

Arrivée en orbite, la fusée a perdu 60 % de sa masse au décollage.

- Proposer une explication à la perte de cette masse.
- Calculer la force d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur la fusée en orbite à une altitude $h = 300 \text{ km}$ de sa surface.

La fusée libère alors un module de $5,6 \text{ t}$ qui se dirige vers la Lune et s'y pose en dépensant 300 kg de carburant.

- Déterminer la masse du module sur la Lune.
- Déterminer le poids du module sur la Lune.
- Retrouver par le calcul la valeur du champ de pesanteur lunaire.

Données :

- Champ de pesanteur Terre : $g_T = 9,8 \text{ N/kg}$
- Champ de pesanteur Lune : $g_L = 1,6 \text{ N/kg}$
- Masse Terre : $M_T = 6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
- Masse Lune : $M_L = 7,3 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
- Rayon Terre : $R_T = 6\,380 \text{ km}$
- Masse Lune : $R_L = 1\,740 \text{ km}$

Exercice 4 : Vrai ou faux ?

V F

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | L'intensité de la force exercée par Mars (M) sur Phobos (m) vaut : $F = G \times \frac{M \cdot m}{D^2}$ |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Mars est la 4 ^{ème} planète du système solaire en partant du Soleil. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | La force exercée par Mars (M) sur Phobos (m) s'écrit : $\vec{F}_{M/m} = G \times \frac{M \cdot m}{(D + R_M)^2} \cdot \vec{u}$ |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | G est la constante de gravitation universelle. Sa valeur est la même partout dans l'Univers. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Loin de tout corps matériel (planète, étoile, galaxie...), le champ de pesanteur est nul. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Loin de tout corps matériel, la masse d'une pomme est nulle. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Loin de tout corps matériel, le poids d'une pomme est nul. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Sur la Lune, la masse d'un astronaute est plus faible que sur la Terre. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Un train roulant en ligne droite et à vitesse constante est soumis à des forces qui se compensent. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Si un système est soumis à des forces qui se compensent alors il ne peut pas tourner. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | La valeur de la vitesse de la Terre en orbite autour du Soleil est constante. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Le vecteur vitesse de la Terre n'est pas constant, la Terre n'est donc pas pseudo-isolée. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | L'auteur du poids d'une voiture est sa masse. |

