

Thème 2 : Mouvement et interactions

Chapitre 2 : Forces, mouvements et principe d'inertie

I - Forces et mouvements

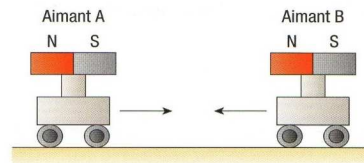
1) Notion d'interaction

a) Qu'est-ce qu'une interaction ?

Deux aimants droits, notés *A* et *B*, sont fixés sur des chariots identiques, en matière plastique, très mobiles, de telle sorte qu'ils se présentent des pôles opposés : **Sud pour *A* et Nord pour *B* par exemple.**

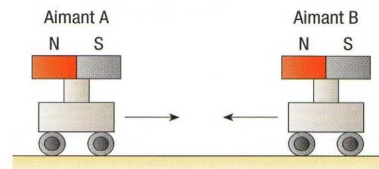
Plaçons initialement les chariots loin l'un de l'autre. Approchons alors lentement, en le tenant bien, l'aimant *A* de l'aimant *B* immobile.

Arrivée à une certaine distance, le chariot de *B* se met en mouvement vers *A* : **le pôle Sud de l'aimant *A* attire le pôle Nord de l'aimant *B*.**



Inversement, si *B* est approché de *A* immobile, à la même distance entre les chariots que précédemment, *A* se met en mouvement vers *B* : **le pôle Nord de l'aimant *B* attire le pôle Sud de l'aimant *A*.**

On constate également que les aimants s'attirent d'autant plus brutalement qu'ils sont proches l'un de l'autre : **leur attraction mutuelle augmente fortement lorsque la distance qui les sépare diminue.**



Les aimants exercent l'un sur l'autre une attraction magnétique à distance sans lien matériel entre eux.

Au-delà d'une certaine distance, bien que l'attraction existe encore, les chariots ne bougent plus à cause des frottements. En effet, l'attraction diminue rapidement lorsque la distance augmente.

Remarque :

Nous venons d'observer une interaction en tant qu'attraction, mais la répulsion est également une interaction.

b) Récapitulatif

Deux objets sont en interaction si le mouvement de l'un dépend de la présence de l'autre et réciproquement.

2) Actions de contact et actions à distance

Taper dans un ballon, déformer un arc, soulever des haltères sont des actions mécaniques que l'on effectue dans le sport.

a) Quelles sont les actions mécaniques qui agissent sur un système ?

Exemple :

Le mouvement d'un ballon est modifié par l'action du pied du footballeur.

Le système étudié est le ballon.

Tout ce qui ne constitue pas le système est appelé l'extérieur du système.

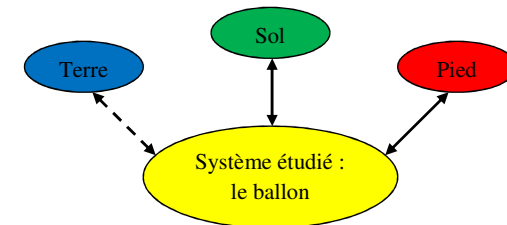
Le ballon est immobile sur le sol. Il est frappé par le pied du footballeur. L'action de l'air est négligeable.



Les actions mécaniques exercées par l'extérieur sur le ballon sont alors :

- l'action de la Terre qui attire le ballon vers le bas (vers son centre) ;
- l'action du sol qui empêche le ballon de s'enfoncer dans le sol ;
- l'action du pied qui pousse le ballon.

Il est possible de modéliser les actions mécaniques à prendre en compte sous la forme d'un diagramme objet-interaction :



On en déduit que les actions mécaniques à prendre compte sont toutes les actions exercées par l'extérieur sur le système étudié.

Remarque 1 :

On représente une interaction à distance par une double flèche en pointillés (\longleftrightarrow) tandis qu'on représente une interaction de contact par une double flèche pleine (\longleftrightarrow).

Remarque 2 :

Lorsque le système est en mouvement, il faut souvent tenir compte de l'action de l'air.

b) Deux types d'actions

Un corps A exerce une action mécanique sur un corps B si ce dernier est mis en mouvement alors qu'il était immobile, ou bien si le mouvement du corps B est modifié alors qu'il était déjà en mouvement.

On distingue :

- les actions de contact qui nécessitent un contact entre les deux corps A et B ;
- les actions à distance qui ne nécessitent aucun contact entre les deux corps.

Exemples :

- lorsqu'une haltérophile soulève des haltères, elle exerce deux actions de contact (une par main) sur la tige centrale. Ces deux actions de contact exercées sur la tige centrale des haltères par les mains de l'haltérophile modifient la vitesse des haltères ;
- le Soleil exerce sur la Terre une force d'attraction gravitationnelle bien que c'est deux corps massiques soient à une certaine distance. C'est une action à distance.



c) Récapitulatif

Les actions mécaniques exercées sur un système sont toutes les actions exercées par l'extérieur sur le système. Elles peuvent être de contact ou à distance.

3) Notion de force

a) Représentation d'une force

Une action mécanique exercée par un corps A sur un corps B est modélisée par une force.

Sur un schéma, une force est représentée par un segment fléché, appelé vecteur.

Le système étudié est souvent représenté par un point, les forces exercées par l'extérieur sur le système sont alors représentées à partir de ce point.

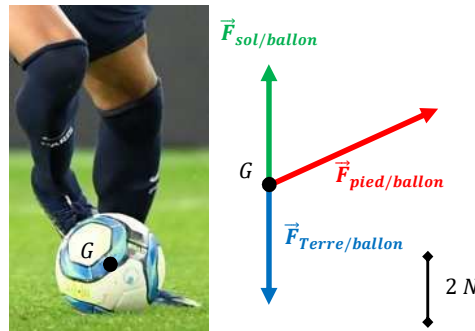
Lorsque la valeur de la force est connue, la longueur du segment fléché est proportionnelle à cette valeur.

Pour le représenter sur un schéma, il faut tenir compte de l'échelle.

Remarque :

Une force subie par un corps peut modifier :

- uniquement la direction de son mouvement ;
- uniquement sa vitesse ;
- à la fois la direction de son mouvement et sa vitesse.



b) La force d'interaction gravitationnelle

i) L'attraction gravitationnelle

La gravitation, ou interaction gravitationnelle, découverte par Isaac Newton, est analogue à l'interaction magnétique mais elle est due aux masses des objets.

Tous les objets possédant une masse s'attirent réciproquement, à distance, sans lien matériel entre eux.

Cette attraction diminue lorsque la distance augmente.

La cohésion du système solaire, et plus généralement celle de l'Univers, est due aux actions mutuelles qu'exercent ses constituants les uns sur les autres.



La gravitation universelle est une des interactions de l'Univers.

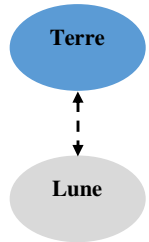
Elle est attractive et s'exerce à distance.

Chaque planète du système solaire est attirée par le Soleil et par toutes les autres planètes.

Ainsi la Terre attire par gravitation n'importe quel objet ayant une masse, et tout objet massique attire la Terre également.

Exemple :

La Lune est en interaction avec la Terre. Cela signifie que chacun des deux corps exerce une action mécanique sur l'autre.



Remarque :

Bien qu'attraction magnétique et attraction gravitationnelle aient des points communs, ces phénomènes sont d'origine totalement différente !

Une preuve en est que des aimants peuvent se repousser tandis que des masses s'attirent toujours !

ii) Loi de l'attraction gravitationnelle

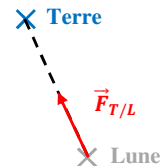
Une action mécanique peut être modélisée par une force dont l'unité est le newton (N).

Mathématiquement, on représente une force par un vecteur, appelé « vecteur force », noté \vec{F} .

La flèche sur F rappelle qu'en plus de sa valeur, la force possède une direction et un sens.

Sur un schéma, une force est représentée par un segment, fléché dont la longueur est proportionnelle à la valeur de la force.

L'orientation du segment fléché renseigne sur la direction et le sens de la force.



La force exercée par un corps A de masse m_A sur un corps B de masse m_B est une force d'attraction gravitationnelle, ou plus simplement force gravitationnelle.

Soit deux corps A et B de masse m_A et m_B à répartition sphérique autour de leur centre C_A et C_B distant de $d = C_A C_B$.

Chacun de ces corps exercent l'un sur l'autre une force d'attraction gravitationnelle.

L'interaction gravitationnelle entre deux points matériels A et B, de masses m_A et m_B , séparés par une distance d , est modélisée par des forces d'attraction gravitationnelles $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ telles que :

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

où :

- G est la constante d'interaction gravitationnelle et a pour valeur : $G = 6,67 \times 10^{-11} N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$;
- m_A et m_B respectivement les masses du corps A et du corps B en kilogramme (kg) ;
- d la distance qui sépare le corps A du corps B en mètre (m) ;
- \vec{u}_{AB} le vecteur unitaire ($\|\vec{u}_{AB}\| = 1$) orienté de A vers B.

Remarque :

L'interaction gravitationnelle est mutuelle, on peut donc déterminer la valeur de la force d'interaction gravitationnelle qu'exerce le corps B sur le corps A :

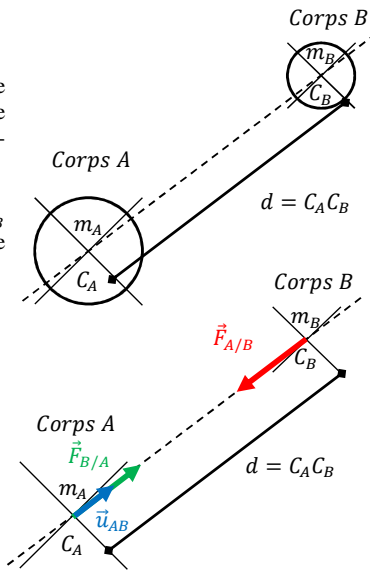
$$\|\vec{F}_{B/A}\| = F_{B/A} = F_{A/B} = \|\vec{F}_{A/B}\|$$

Exemple :

La Terre exerce une force d'attraction sur la Lune identique mais de sens opposé à celle qu'exerce la Lune sur la Terre.

Sachant que $M_T = 5,97 \times 10^{24} kg$, $M_L = 7,33 \times 10^{22} kg$ et $d_{TL} = 384\,000 km$, la force d'interaction gravitationnelle a pour valeur : $F_{T/L} = G \times \frac{M_T \times M_L}{d_{TL}^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24} \times 7,33 \times 10^{22}}{(384\,000 \times 10^3)^2} \approx 1,98 \times 10^{20} N$.

On en déduit la valeur de la force d'attraction qu'exerce la Lune sur la Terre $F_{L/T} = F_{T/L} \approx 1,98 \times 10^{20} N$.



iii) **Récapitulatif**

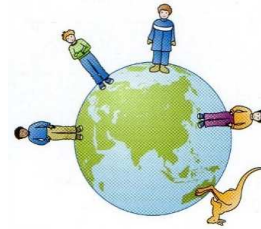
La gravitation est une interaction attractive à distance entre deux objets possédant une masse, et diminue lorsque la distance entre ces objets augmente.

c) **Le poids**

i) **Qu'est-ce que le poids ?**

Lorsque l'on lâche un objet, il tombe vers le sol et ce quel que soit l'endroit de la Terre où l'on se trouve.

Cet objet subit à distance l'attraction gravitationnelle exercée par la Terre et ce, sur toute la matière de l'objet.



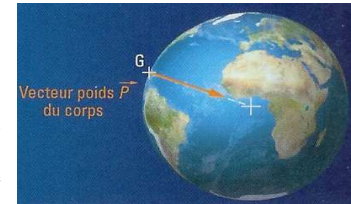
Le poids d'un corps sur Terre est la force d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur ce corps.

On associe un vecteur \vec{P} au poids d'un corps de masse m soumis à la pesanteur \vec{g} tel que :

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

Ces caractéristiques sont :

- point d'application : le centre de gravité de l'objet ;
- direction : la verticale du lieu à la surface de la Terre qui passe par son centre ;
- sens : vers le centre de gravité de la Terre ;
- valeur qui s'exprime en newtons de symbole N telle que :



$$P = m \times g$$

P en newton (N)
 m en kilogramme (kg)
 g en $N \cdot kg^{-1}$

Remarque :

Il faudrait préciser « poids terrestre » car tout objet possédant une masse a un poids sur tout astre.

Par exemple, sur la Lune, on parlera de poids lunaire.

ii) **Poids d'un corps et force d'attraction gravitationnelle**

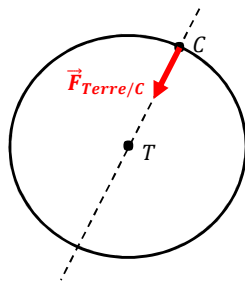
Tout corps, de centre C et de masse m , placé à une altitude h au voisinage de la Terre subit son attraction.

Le centre de la Terre est noté T , sa masse m_T et son rayon R_T .

La valeur de la force d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur ce corps a pour expression :



$$F_{Terre/C} = G \times \frac{m_T \times m}{TC^2} = G \times \frac{m_T \times m}{(R_T + h)^2}$$



Or, à la surface de la Terre, on peut écrire :

$$R_T + h \approx R_T$$

On peut alors écrire la valeur de la force d'interaction gravitationnelle telle que :

$$F_{Terre/C} \approx G \times \frac{m_T \times m}{R_T^2}$$

En faisant une analogie avec l'expression de la valeur du poids, on a :

$$\begin{aligned} P &= F_{Terre/C} \\ m \times g &= G \times \frac{m_T \times m}{R_T^2} \\ g &= G \times \frac{m_T}{R_T^2} \end{aligned}$$

On en déduit donc l'expression de g : $g = G \times \frac{m_T}{R_T^2}$

En prenant comme valeurs, $m_T = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$ et $R_T = 6,38 \times 10^3 \text{ km}$, on obtient :

$$g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Remarques :

- la valeur de g dépend de l'altitude. Plus h est grand, plus la valeur du poids sera faible ; elle reste valide à basse altitude, quand $h \ll R_T$;
- la valeur du poids dépend également de la latitude du fait que la Terre n'est pas parfaitement sphérique (elle est aplatie aux pôles géographiques) ; Par exemple, l'intensité de g vaut $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ à Paris, alors qu'elle vaut seulement $g = 9,78 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ à l'équateur.
- **la valeur de la masse d'un corps ne varie pas avec le lieu où l'on se trouve.**

iii) Récapitulatif

Le poids d'un objet est l'attraction à distance que la Terre exerce sur cet objet à cause de la gravitation.

Le poids et la masse sont deux grandeurs physiques différentes !

La masse d'un objet est invariable quel que soit le lieu.

Le poids d'un objet varie avec la latitude et l'altitude.

d) La réaction du support

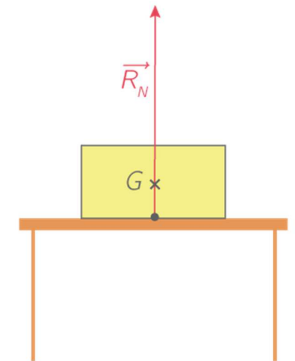
Un corps posé sur une table ne tombe pas.

La force exercée par un support sur un objet est la réaction du support.

C'est une force de contact.

Le vecteur réaction du support noté \vec{R} ou \vec{R}_N a pour caractéristiques :

- son point d'application : le centre de la surface de contact entre le support et le corps ;
- sa direction : perpendiculaire au support ;
- son sens : vers le haut ;
- sa valeur : R_N .



e) Les forces de frottement

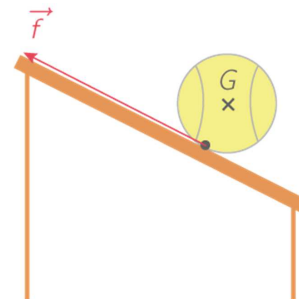
Tout corps en mouvement est soumis à des forces de frottements.

Ce sont des forces de contact qui s'opposent au déplacement. Elles sont exercées soit par un solide, soit par le fluide (liquide ou gaz) avec lequel le corps est en contact.

Les forces de frottement sur un corps peuvent être négligées quand leurs effets sont faibles devant les autres forces s'exerçant sur le corps.

Le vecteur forces de frottement noté \vec{f} a pour caractéristiques :

- son point d'application : le centre de la surface de contact entre les deux corps ;
- sa direction : parallèle au mouvement relatif des deux corps ;
- son sens : opposé au sens relatif des deux corps ;
- sa valeur : f .



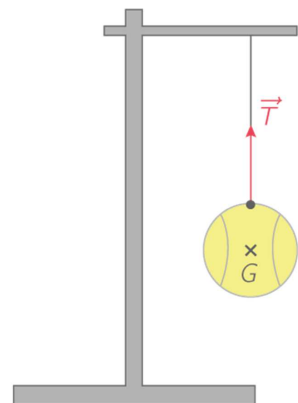
f) La tension d'un fil

La tension d'un fil est la force qu'exerce un fil tendu sur un corps accroché à l'une de ses extrémités.

C'est une force de contact.

Le vecteur tension d'un fil noté \vec{T} a pour caractéristiques :

- son point d'application : le point d'accroche entre le fil et le corps ;
- sa direction : celle du fil tendu ;
- son sens : du point d'accroche vers le fil ;
- sa valeur : T .



g) Récapitulatif

Une force est caractérisée par :

- un point d'application ;
- une direction ;
- un sens ;
- une valeur qui s'exprime en newton (N).

4) Effet d'une force sur le mouvement

a) Les différents effets

Lors d'une activité sportive, la force exercée sur un système peut avoir diverses conséquences sur son mouvement.

Voici quelques exemples d'effet d'une force sur un mouvement étudié dans un référentiel terrestre :

Mise en mouvement	Modification du mouvement	Arrêt du mouvement
		
L'action de la corde sur la flèche met la flèche en mouvement	L'action de la main sur le ballon modifie le mouvement du ballon	L'action des mains sur le ballon peut arrêter le mouvement du ballon

Le mouvement d'un objet est modifié lorsque les forces qui s'exercent sur lui ne se compensent pas.

b) Influence sur la masse

Exemples :

- il est d'autant plus difficile de mettre en mouvement ou de faire tourner un caddie de supermarché qu'il est rempli ;
- lors d'une course de Formule 1, dans les mêmes conditions, en exerçant la même force de freinage, plus la voiture est légère, plus le freinage est efficace.

On en déduit que l'effet d'une force sur le mouvement d'un système est d'autant plus grand que la masse du système est faible.

La masse d'un corps caractérise son inertie, c'est-à-dire la difficulté à la mettre en mouvement ou à modifier son mouvement initial.

c) Récapitulatif

Une force exercée sur un système peut avoir pour effet de :

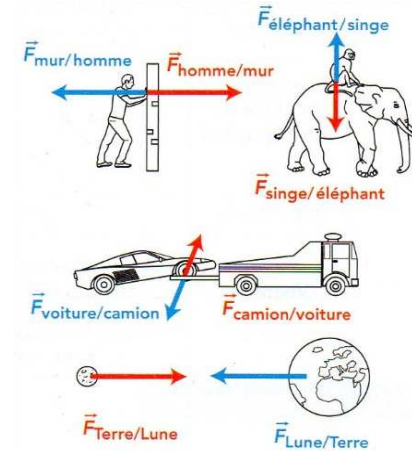
- déformer le système ;
- modifier sa trajectoire et/ou la valeur de sa vitesse (y compris pour le mettre en mouvement).

Plus la masse du système considéré est élevée, moins l'effet d'une force est important.

5) Troisième loi de Newton ou principe des actions réciproques

Deux objets sont en interaction si le mouvement ou le repos de l'un dépend de l'existence de l'autre et réciproquement.

Par exemple, la force d'interaction gravitationnelle exercée par le Soleil sur la Terre est égale et opposée à celle exercée par la Terre sur le Soleil. Ceci illustre la troisième loi de Newton ou principe des actions réciproques qui s'applique à tous les objets en interaction.



Si un système A exerce sur un système B une force $\vec{F}_{A/B}$, alors le système B exerce également sur le système A une force $\vec{F}_{B/A}$.

Ces deux forces ont même direction, même valeur mais sont en sens opposés, soit :

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

Exemple :

Cette troisième loi de Newton explique la propulsion des fusées.

La fusée exerce une action mécanique sur les gaz en les expulsant vers le bas $\vec{F}_{f/g}$.

Les gaz exercent en retour une action mécanique sur la fusée vers le haut $\vec{F}_{g/f}$.

Le système étudié étant la fusée, c'est la force $\vec{F}_{g/f} = -\vec{F}_{f/g}$ qui est à l'origine du décollage de la fusée.

II - Principe d'inertie

1) Modèle du point matériel

Pour simplifier l'étude du mouvement, un système est modélisé par l'un de ses points auquel on associe la masse du système.

Ce modèle, association d'un point géométrique et d'une masse porte le nom de point matériel.

Le point matériel choisi en général le centre de gravité du système.

2) Forces qui se compensent

Exemple :

Un livre posé sur une table ne tombe pas en direction du centre de la Terre : la table permet de « contrer » l'action de la Terre sur le livre.

Le poids de la balle \vec{P} et la réaction de la table \vec{R}_N sont deux forces qui se compensent.

La somme des vecteurs \vec{P} et \vec{R}_N est un vecteur nul : $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{P} + \vec{R}_N = \vec{0}$ et $\vec{R}_N = -\vec{P}$.

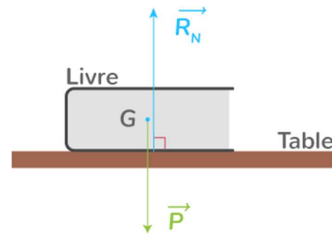
Lorsqu'un corps est soumis à plusieurs forces, les effets engendrés par chacune de ces forces sur le mouvement du corps se superposent.

Les forces s'exerçant sur un corps se compensent si leurs effets combinés n'engendrent aucune modification du mouvement de ce corps.

La somme des vecteurs associés à des forces qui se compensent est un vecteur nul : $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$.

Remarque :

Dans toute situation impliquant deux forces qui se compensent, les vecteurs forces ont même direction, même valeur mais des sens opposés : les vecteurs sont opposés.



3) Enoncé du principe d'inertie

En 1638, Galilée (1564 – 1642) établit expérimentalement que « le mouvement rectiligne et uniforme du centre d'une bille roulant à vitesse constante sur un plan horizontal [...] se poursuit indéfiniment si on a écarté tout obstacle ».

Puis Isaac Newton introduit les forces en tant que causes de modification d'un mouvement.

En 1687, dans ses Principes Mathématiques de Philosophie Naturelle, Newton énonce la première version du principe d'inertie qui est à la base de toute étude des mouvements d'un corps en relation avec les forces qui s'exercent sur lui :

« Tout corps persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme si les forces qui s'exercent sur lui se compensent. »

On a reformulé à ce jour le principe d'inertie :

Si les forces qui s'exercent sur un corps se compensent ($\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$) :

- il est au repos s'il n'a pas de vitesse initiale ;
- il a un mouvement rectiligne uniforme s'il possède une vitesse initiale.

Réciproquement, si un corps est au repos ou en mouvement rectiligne et uniforme, alors les forces qui s'exercent sur lui se compensent.

Remarque :

Le principe d'inertie ou sa réciproque ne sont applicables que dans certains référentiels comme les référentiels géocentrique et terrestre.

En ce qui concerne le référentiel terrestre, il faut se limiter à des mouvements de courte durée.

4) Mesurer la valeur d'une force

Pour rappel, la valeur d'une force peut être mesurée à l'aide d'un dynamomètre.

Un objet suspendu à un dynamomètre est soumis à son poids et à la force exercée par le fil du dynamomètre.

D'après le principe d'inertie, l'objet restant immobile, les deux forces se compensent : les deux vecteurs associés ont même direction, même valeur mais sont de sens opposés : $\vec{F} + \vec{P} = \vec{0}$ soit $\vec{F} = -\vec{P}$.

Un expérimentateur lit sur les graduations du dynamomètre la valeur de la force exercée par le fil sur l'objet suspendu.

Cette valeur est aussi celle du poids de l'objet, puisque deux forces qui se compensent ont la même valeur.



5) Contraposée du principe d'inertie

Si les forces qui s'exercent sur un corps ne se compensent pas ($\sum \vec{F}_{ext} \neq \vec{0}$), il n'a pas un mouvement rectiligne uniforme s'il possède une vitesse initiale.

Réciproquement, si un corps n'est pas au repos ou en mouvement rectiligne et uniforme, alors les forces qui s'exercent sur lui ne se compensent pas.

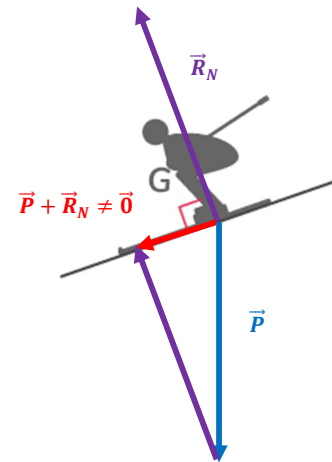
Exemple :

Dans un référentiel terrestre, un skieur descend une piste où l'on néglige les forces de frottements.

On remarque que la somme vectorielle est non nulle : $\vec{P} + \vec{R}_N \neq \vec{0}$.

On en déduit que les forces qu'il subit ne se compensent pas.

Le skieur n'est donc pas en mouvement rectiligne uniforme.



6) Variation du vecteur vitesse

a) Comment varie un vecteur vitesse ?

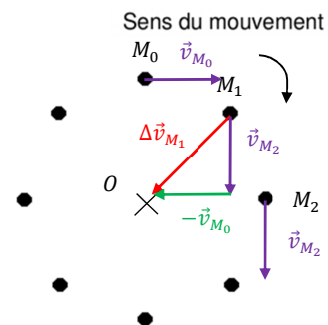
Exemple :

On considère un système modélisé par un point en mouvement.

L'étude du mouvement par traitement vidéo ou chronophotographie permet de tracer les vecteurs vitesse point par point.

On remarque que $\|\vec{v}_{M_0}\| = \|\vec{v}_{M_2}\|$, autrement dit, la valeur de la vitesse est constante au cours du mouvement.

Le mouvement est circulaire et uniforme.



On remarque aussi que $\vec{v}_{M_0} \neq \vec{v}_{M_2}$, autrement dit $\Delta\vec{v}_{M_1} = \vec{v}_{M_2} - \vec{v}_{M_0} \neq \vec{0}$.
 On en déduit que le système est soumis à des forces qui ne se compensent pas.

Au cours de la trajectoire, si l'une des trois caractéristiques du vecteur vitesse change (sa valeur, sa direction ou bien son sens), la contraposée du principe d'inertie permet de déduire que les forces exercées sur l'objet ne se compensent pas.

Remarque :

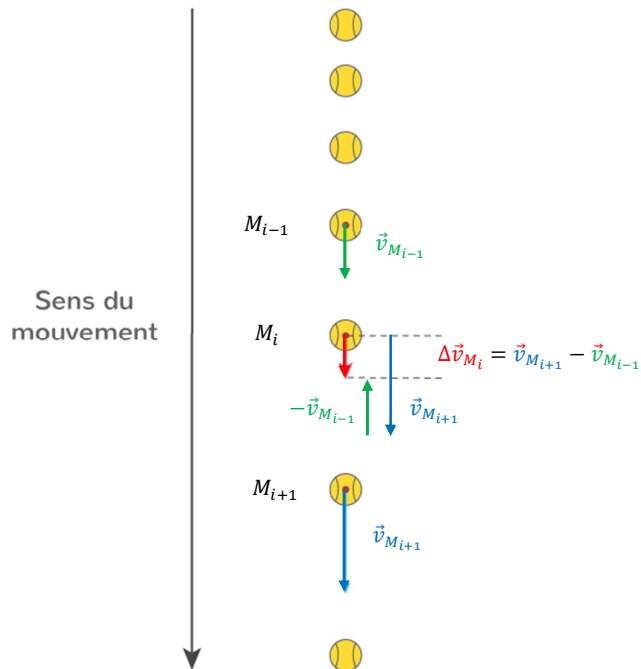
Inversement, si le vecteur vitesse est invariant lors du mouvement $\Delta\vec{v} = \vec{0}$, les forces appliquées au système se compensent : leur somme est égale au vecteur nul ($\vec{0}$).

b) Cas de la chute libre à une dimension

Un corps est dit en chute libre si la seule force qu'il subit est son poids.
 Dans l'atmosphère terrestre, pour qu'un corps soit considéré en chute libre, il faut que les forces de frottements exercées par l'air soient considérées comme négligeables, ce qui est le cas pour des mouvements de courte durée par exemple.

Exemple 1 :

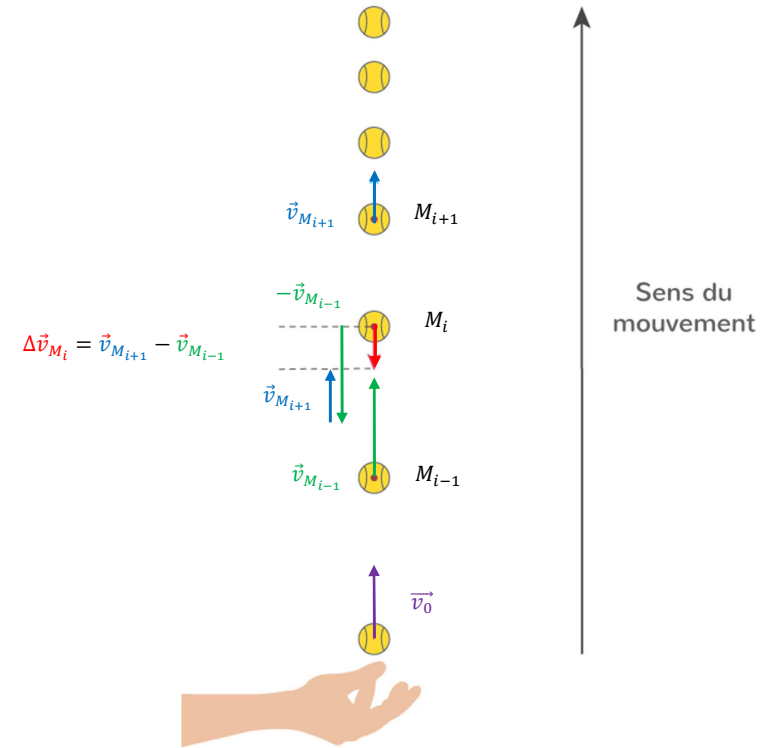
Si le corps est lâché sans vitesse initiale, le vecteur variation de vitesse instantanée $\Delta\vec{v}_{M_i} = \vec{v}_{M_{i+1}} - \vec{v}_{M_{i-1}}$ et la vitesse du corps sont de même sens.
 Le mouvement est alors rectiligne accéléré vers le sol.



Exemple 2 :

Si le corps est lâché avec une vitesse initiale vers le haut, le vecteur variation de vitesse instantanée $\Delta\vec{v}_{M_i} = \vec{v}_{M_{i+1}} - \vec{v}_{M_{i-1}}$ et la vitesse du corps sont de sens opposé.

Le mouvement est alors rectiligne et ralenti.



Ainsi, la vitesse du corps diminue et, lorsqu'elle devient nulle, il chute vers le bas avec cette fois un mouvement rectiligne et accéléré, similaire à celui d'un corps chutant sans vitesse initiale.

Le vecteur variation de vitesse instantanée $\Delta\vec{v}_{M_i} = \vec{v}_{M_{i+1}} - \vec{v}_{M_{i-1}}$ d'un corps en chute libre a, en tout point, la même direction et le même sens que le poids du corps \vec{P} , étant donné que c'est la seule force qu'il subit.

c) Récapitulatif

Mouvement du corps	Sens du vecteur vitesse \vec{v}	Sens du vecteur variation de la vitesse $\Delta\vec{v}_{M_i}$	Conclusion
Chute	Vers le bas	Vers le bas, à l'image du poids du corps \vec{P}	La valeur de la vitesse augmente
Montée	Vers le haut		La valeur de la vitesse diminue jusqu'à devenir nulle, puis le corps chute

7) Récapitulatif

Un système reste immobile ou en mouvement rectiligne uniforme s'il est soumis à des forces qui se compensent.

Réciproquement, un système soumis à des forces qui se compensent s'il est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme.

Lorsque les forces qui s'exercent sur un système ne se compensent pas ou que le système n'est ni immobile ni en mouvement rectiligne uniforme, on utilise la contraposée du principe d'inertie.

La variation du vecteur vitesse instantanée d'un système assimilé à un point matériel est due à l'existence d'actions mécaniques extérieures qui ne se compensent pas.

Ceci peut se traduire par : $\Delta\vec{v} \neq \vec{0} \leftrightarrow \sum \vec{F}_{ext} \neq \vec{0}$.

ANNEXES

EXEMPLE DE FORCES DE FROTTEMENT



ISAAC NEWTON (1642 – 1727)

