

## P3-2: Interactions

Interactions	
Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Notion de référentiel galiléen. Actions mécaniques sur un objet en mouvement. Lois de Newton. Notions mathématiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- addition de vecteurs ;</li> <li>- projection orthogonale d'un vecteur sur un axe.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier et caractériser des actions mécaniques sur un objet.</li> <li>- Modéliser une action mécanique par une force.</li> <li>- Établir un bilan de forces.</li> <li>- Effectuer un bilan quantitatif de forces pour un système à l'équilibre ou en mouvement rectiligne uniforme.</li> <li>- Dans le cas d'un mouvement plan, utiliser la relation approchée entre la variation du vecteur vitesse entre deux instants voisins et la somme des forces appliquées au système :               <ul style="list-style-type: none"> <li>o pour en déduire une estimation de la variation de vitesse sur un intervalle de temps, les forces appliquées au système étant connues ;</li> <li>o pour en déduire une estimation des forces appliquées au système, le comportement cinématique étant connu.</li> </ul> </li> <li>- Citer et exploiter la seconde loi de Newton dans le cas d'un mouvement rectiligne.</li> </ul>
<p>Exemples de forces s'exerçant sur un objet :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- poids ;</li> <li>- force d'interaction gravitationnelle ;</li> <li>- poussée d'Archimède ;</li> <li>- force de frottement fluide ;</li> <li>- force exercée par un support.</li> </ul> <p>Notion mathématique : primitives des polynômes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Citer et exploiter l'expression du poids et de la force d'interaction gravitationnelle.</li> <li>- Exploiter l'expression de la poussée d'Archimède et de forces de frottement.</li> <li>- Estimer l'ordre de grandeur des forces en présence et les comparer.</li> <li>- Caractériser un mouvement de chute libre verticale.</li> <li>- Établir la loi d'évolution de la vitesse et de la position en fonction du temps dans le cas du modèle de la chute libre verticale.</li> <li>- Exploiter des résultats expérimentaux pour expliquer l'effet d'un frottement et de la poussée d'Archimède sur une chute verticale en les confrontant au modèle de la chute libre.</li> </ul> <p><b>Capacités expérimentales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en œuvre un protocole pour confronter des résultats expérimentaux au modèle de la chute libre.</li> <li>- Mettre en œuvre un protocole pour mesurer une force de frottement fluide et en déduire la viscosité du fluide.</li> </ul>

## 1. Référentiel galiléen et principe d'inertie

### L'essentiel du cours...

**Principe d'inertie :** Dans un référentiel galiléen, la vitesse du centre d'inertie d'un objet soumis à des forces qui se compensent demeure constante **en norme et en direction**.

Un référentiel terrestre peut-être considérée comme un référentiel galiléen pour une étude réalisée sur des temps courts de même que tout référentiel en mouvement rectiligne uniforme par rapport à la Terre.

=> Une bille posée au sol dans un train en mouvement (rectiligne uniforme) reste immobile ou roule en ligne droite même si on la lance perpendiculairement au mouvement du train.

**Un référentiel est dit non-galiléen si le principe d'inertie n'y est pas respecté** c'est-à-dire que le mouvement d'un objet dans ce référentiel ne sera pas rectiligne uniforme.

=> Si le train freine, la bille sera déviée vers l'avant du train et vers l'arrière si le train accélère.

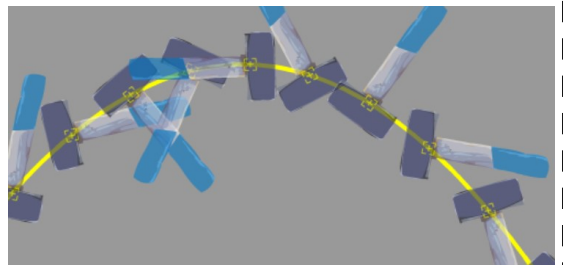
=> Dans le référentiel terrestre, le plan d'oscillation d'un pendule semble toujours le même pour des temps courts (voir vidéo). En revanche, pour des temps longs, on ne peut plus négliger la révolution de la Terre.

**Le référentiel terrestre peut-être assimilé à un référentiel galiléen uniquement pour des études réalisées sur des durées n'excédant pas quelques minutes.**

**Réciproque du principe d'inertie :** Si dans un référentiel galiléen le mouvement du centre d'inertie d'un objet est rectiligne uniforme, alors les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent.

#### ZOOM : Mais pourquoi parler du centre d'inertie et pas d'objet ou de solide ?

En physique, on aime bien découper des problèmes complexes en problèmes plus simples. Ainsi, le mouvement d'un marteau que l'on lance est un mouvement complexe très difficile à modéliser.



En revanche, le centre d'inertie du marteau a une trajectoire très simple (parabole). On va donc étudier le mouvement du centre d'inertie et on en déduira le mouvement de tous les points de l'objet. On voit, en effet, que dans le référentiel du centre d'inertie, les autres points du marteau ont un mouvement circulaire.

#### Dans les situations suivantes, repérer les référentiels galiléens.

Je suis à l'arrière d'une voiture qui roule en ligne droite à vitesse constante.

Pour un mouvement de courte durée, le référentiel terrestre peut être considéré comme galiléen de même que tout référentiel en mouvement rectiligne uniforme par rapport au référentiel terrestre

- La route
- La voiture
- Moi

Je suis assis à l'extérieur d'un manège et je regarde mon petit frère qui se trouve dans la voiture de pompier d'un manège qui tourne à vitesse constante.

Etant assis sur Terre, je constitue un référentiel galiléen. Ce n'est pas le cas du manège (ni de mon frère car il ont un mouvement circulaire uniforme par rapport à moi

- Mon petit frère
- La voiture de pompier
- Moi

Je me trouve dans un ascenseur qui monte à vitesse constante au 5ème étage d'un immeuble.

La justification est la même que pour la première question.

- Moi
- La cabine
- L'immeuble

J'ai atteint le 5ème étage et l'ascenseur est en train de ralentir.

L'ascenseur (et moi) somme en mouvement rectiligne ralenti par rapport au référentiel terrestre (l'immeuble).

- Moi
- La cabine
- L'immeuble

## 2. Diagramme objet-interaction

### L'essentiel du cours...

Le diagramme objet-interaction est un outil pour faire l'inventaire des forces extérieures qui s'exercent sur un système et ne pas en oublier. **Voir lien youtube sur Netboard (Rappel 3ème et seconde)**

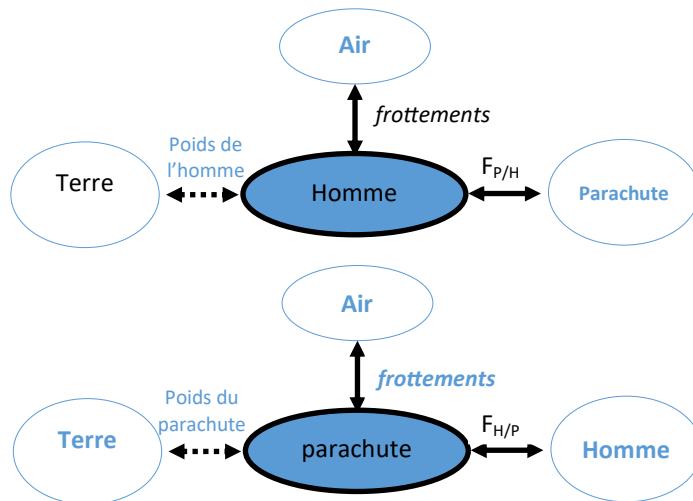
**Convention :** Les interactions à distances (poids, force électromagnétique...) sont représentées par une double-flèche en pointillés.

Les interactions de contact sont représentées par une double-flèche pleine.

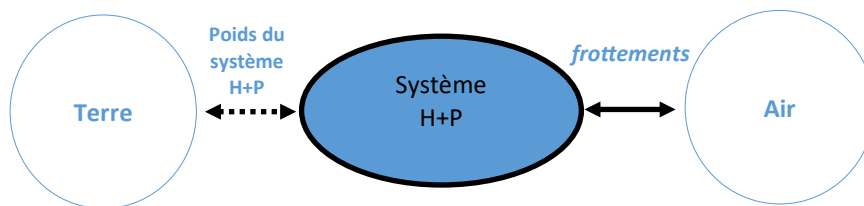
**En première, on ajoute au dessus des flèches le nom des forces exercées sur le système par les objets avec lesquels il est en interaction.**

Compléter les diagrammes objet-interaction pour le système « Homme » et le système « Parachute ».

Construire intégralement le diagramme du système « Homme + Parachute »



Lorsqu'on étudie le système homme + parachute, toutes les interactions dues aux sangles sont considérées comme des interactions internes. Elles ne sont pas prises en compte dans le DOI



### 3. Effet d'une force sur un objet en mouvement

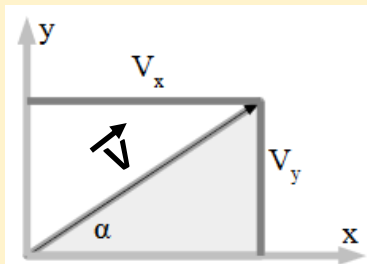
#### L'essentiel du cours...

Lorsqu'un objet est soumis à des forces qui se compensent, sa vitesse est constante en norme (valeur) et en direction (Principe d'inertie).

Lorsqu'un objet est soumis à des forces qui ne se compensent pas, il est accéléré dans la direction de la résultante des forces (c'est-à-dire la direction qui correspond à la somme vectorielle des forces).

Pour faire un bilan des forces :

- 1- On construit tout d'abord un repère orthogonal. Celui-ci doit être le plus simple possible (Ox pour un mouvement monodimensionnel, Oxy pour un mouvement plan...).
  - 2- On s'arrange pour que les directions des axes du repère soit les mêmes que celles d'un maximum de forces.
  - 3- L'origine du repère est placée au niveau du centre d'inertie du système à l'origine des temps (t=0)
  - 4- On exprime les coordonnées de chaque vecteur dans le nouveau repère. Pour se faire on utilise le produit scalaire ou les relation de trigonométrie.
- Voir ci-contre, un exemple avec le vecteur vitesse.**



$$\cos(\alpha) = \frac{V_x}{V} \Rightarrow V_x = V \cos(\alpha)$$

$$\sin(\alpha) = \frac{V_y}{V} \Rightarrow V_y = V \sin(\alpha)$$

On considère le mouvement d'un skieur qui descend à vitesse constante sur une pente inclinée de  $20^\circ$ .

Le poids du skieur est de 600 N.

On fait l'inventaire des forces appliquées au skieur :

- P** : poids du skieur
- f** : frottements de la piste
- R** : réaction normale du sol

Pour simplifier l'écriture, les vecteurs représentant les forces ne sont pas représentés avec une flèche au-dessus mais en gras.

On a représenté les vecteurs force dans le repère ci-contre.

- 1) Appliquer le principe d'inertie afin de déterminer les coordonnées de la résultante des forces :  $\Sigma = \mathbf{P} + \mathbf{f} + \mathbf{R}$

Le mouvement du skieur est rectiligne uniforme. Les forces qui s'exercent sur le skieur se compensent et leur résultante est donc nulle. On a donc  $\Sigma = \mathbf{P} + \mathbf{f} + \mathbf{R} = \mathbf{0}$ .

- 2) Déterminer les coordonnées du vecteur **P**

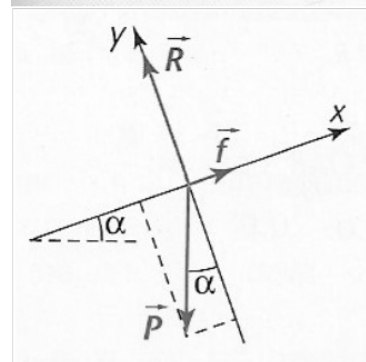
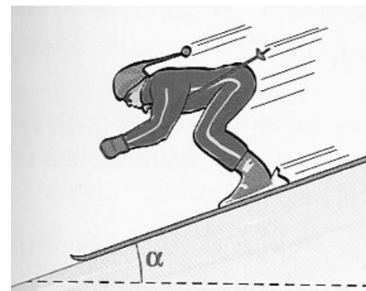
D'après la figure ci-contre, on constate que les coordonnées  $P_x$  et  $P_y$  constituent respectivement les coté opposés et adjacent à l'angle  $\alpha$  dans un triangle rectangle dont P serait l'hypoténuse. On a donc :

$$\cos \alpha = \frac{P_x}{P} \Leftrightarrow P_x = P \times \cos \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{P_y}{P} \Leftrightarrow P_y = P \times \sin \alpha$$

soit  $\vec{P} \begin{cases} P_x = -P \cos \alpha \\ P_y = -P \sin \alpha \end{cases}$

**ATTENTION :** Lorsqu'on écrit les coordonnées du vecteur, il faut bien regarder comment celui-ci est orienté par rapport aux axes et compter négativement la coordonnée si le vecteur est orienté dans un sens opposé à celui de l'axe. C'est la principale cause d'erreur dans ce type d'exercice.



3) En déduire les coordonnées des vecteurs  $\vec{f}$  et  $\vec{R}$

Il suffit d'utiliser la relation écrite à la question 1 et d'écrire les coordonnées des vecteurs  $\vec{R}$  et  $\vec{f}$  :

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{f} = \vec{0} \text{ avec } \vec{P} \begin{cases} -P \cos \alpha \\ -P \sin \alpha \end{cases} \quad \vec{R} \begin{cases} 0 \\ +R \end{cases} \quad \vec{f} \begin{cases} +f \\ 0 \end{cases}$$

On obtient deux équations :


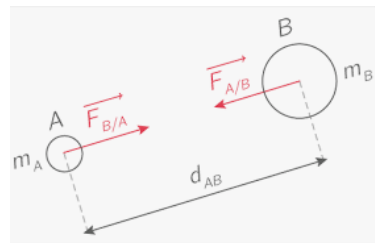
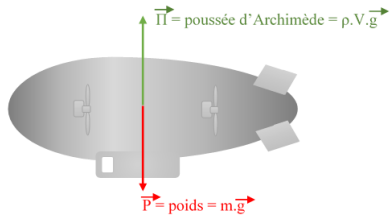
$$-P \cos \alpha + f = 0 \Leftrightarrow f = P \cos \alpha = 600 \cos 20^\circ = 564 \text{ N}$$

$$\text{et } -P \sin \alpha + R = 0 \Leftrightarrow R = P \sin \alpha = 600 \sin 20^\circ = 205 \text{ N}$$

### 3. Exemples de forces

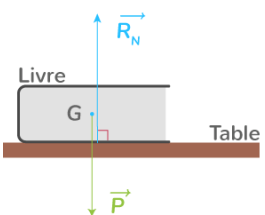
#### L'essentiel du cours...

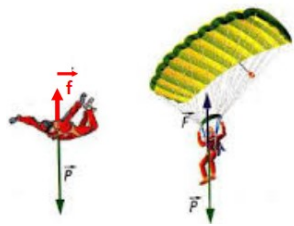
Carte d'identité des forces les plus courantes :

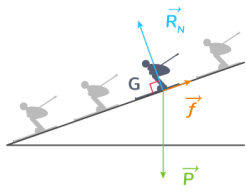
Vecteur poids	Vecteur force de gravitation	Vecteur poussée d'Archimède
<p><i>Le poids correspond à l'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur un objet de masse <math>m</math> situé au voisinage de sa surface.</i></p> <p><b>Symbole :</b> <math>P</math> (avec une flèche)  <b>Direction :</b> verticale  <b>Sens :</b> vers le bas  <b>Norme :</b> <math>P = m \times g</math>  <i><math>g</math> est l'accélération de la pesanteur :</i>  <b>Valeur :</b> <math>g = 9,81 \text{ (}\approx 10\text{) m.s}^{-2}</math> (ou <math>\text{N.kg}^{-1}</math>)</p> <p><b>Comment le représenter ?</b>                      Faire partir la flèche du centre de gravité de l'objet (confondu avec le centre d'inertie)</p> 	<p><i>Il s'agit de la force qui s'exerce entre deux objets A et B qui possèdent une masse. Elle diminue très fortement avec la distance.</i></p> <p><b>Symbole :</b> <math>F_G</math> (avec une flèche)  <b>Direction :</b> Droite reliant les centres de gravité des objets  <b>Sens :</b> Force attractive  <b>Norme :</b> <math>F_G = (G \times m_A \times m_B) / d_{AB}^2</math>  <i><math>G</math> est la constante de gravitation universelle :</i>  <b>Valeur :</b> <math>G = 6,67.10^{-11} \text{ USI}</math> (unité de système international)</p> <p><b>Comment le représenter ?</b>                      Faire partir la flèche du centre de gravité de l'un des objets et l'orienter vers l'autre.</p> 	<p><i>Il s'agit de la force exercée par un fluide (gaz ou liquide) sur un objet qui y est plongé. C'est la force qui permet aux bateaux de flotter.</i></p> <p><b>Symbole :</b> <math>\Pi</math> (avec une flèche)  <b>Direction :</b> verticale  <b>Sens :</b> vers le haut  <b>Norme :</b> <math>\Pi = \rho \times V \times g</math>  <i><math>g</math> est l'accélération de la pesanteur</i>  <i><math>V</math> est le volume de l'objet immergé dans le fluide</i>  <i><math>\rho</math> est la masse volumique du fluide</i></p> <p><b>Comment le représenter ?</b>                      Faire partir la flèche du centre de gravité de l'objet (confondu avec le centre d'inertie).</p> 
<p><b>Quand la prendre en compte ?</b>                      A prendre en compte pour tous les objets aux voisinages de la Terre. Pour les objets distants (planète, satellite...) il faut utiliser la force de gravitation.</p>	<p><b>Quand la prendre en compte ?</b>                      Prise en compte uniquement dans le cas d'interactions entre planètes (ou satellites) ou pour calculer le poids d'un objet à la surface d'une planète autre que la Terre</p>	<p><b>Quand la prendre en compte ?</b>                      Pour tous les objets plongés dans un liquide. Négligeable dans l'air sauf pour les objets de densité très faible (ballon d'hélium).</p>

## L'essentiel du cours...

Carte d'identité des forces les plus courantes (suite) :

Vecteur réaction normale	
<i>C'est la force répulsive exercée par une surface sur un objet à son contact pour éviter que cet objet ne la traverse.</i>	
<b>Symbole :</b>	$R_N$ (avec une flèche)
<b>Direction :</b>	Perpendiculaire (=normale) à la surface
<b>Sens :</b>	De la surface vers l'objet
<b>Norme :</b>	Variable
<i>La norme du vecteur réaction normale correspond exactement à la force nécessaire pour éviter d'être traversée.</i>	
<b>Comment le représenter ?</b>	
Faire partir la flèche du centre de la surface de contact et l'orienter perpendiculairement à la surface vers l'objet. On la décale un peu par rapport au poids pour plus de lisibilité.	
	
<b>Quand la prendre en compte ?</b>	
Uniquement si un objet appuie sur une surface non déformable.	

Vecteur frottement fluide	
<i>Il s'agit de la force exercée par un fluide (gaz ou liquide) sur un objet en mouvement dans ce fluide</i>	
<b>Symbole :</b>	$f$ (avec une flèche)
<b>Direction :</b>	Celle du mouvement
<b>Sens :</b>	Opposé au sens du mouvement
<b>Norme :</b>	Variable
<i>L'expression de la force de frottement fluide est complexe. Elle dépend du fluide, de la forme de l'objet, de sa vitesse... En général on cherche expérimentalement un modèle.</i>	
<b>Comment le représenter ?</b>	
Faire partir la flèche du centre de gravité de l'objet.	
	
<b>Quand la prendre en compte ?</b>	
Souvent négligeable pour des vitesses faibles dans l'air. A prendre en compte pour des chutes dans les liquides.	

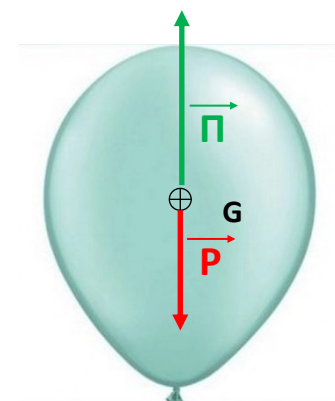
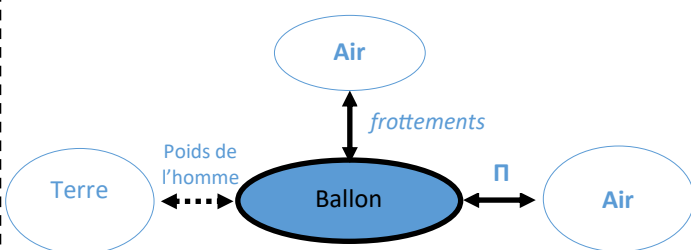
Vecteur frottements solides	
<i>Il s'agit de la force exercée par support sur un objet à son contact. Il s'agit d'une force omniprésente mais que l'on néglige souvent. Sans frottements solides, les roues des vélos patineraient sur le sol.</i>	
<b>Symbole :</b>	$f$ (avec une flèche)
<b>Direction :</b>	parallèle au support
<b>Sens :</b>	Opposé au sens du mouvement
<b>Norme :</b>	Variable
<i>L'expression est complexe. Elle est extrêmement difficile à prévoir, même pour des spécialistes.</i>	
<b>Comment le représenter ?</b>	
Faire partir la flèche du point de contact entre l'objet et le support. Evaluer sa norme à l'aide d'un bilan de forces.	
	
<b>Quand la prendre en compte ?</b>	
Lorsque l'on en a besoin pour interpréter le comportement d'un objet. Négligée sinon.	

Faire un schéma de chacune des situations décrites ci-dessous.

Construire pour chacune un diagramme interaction-objet afin de faire l'inventaire des forces.

Représenter ces forces en prenant en compte le respect (ou non) du principe d'inertie.

a. Un ballon gonflé à l'hélium qui s'élève dans les airs



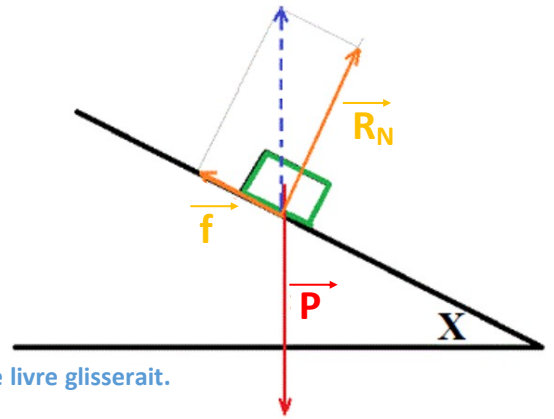
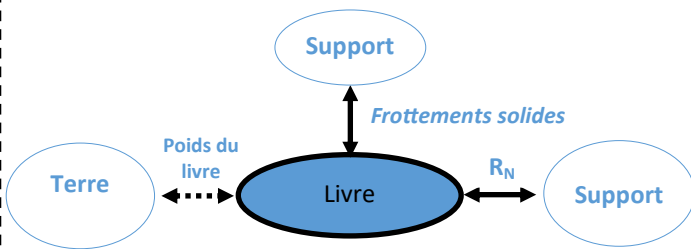
Le ballon est soumis à son poids, à la poussée d'Archimède de l'air sur le ballon et aux forces de frottements de l'air.

Dans la mesure où le ballon s'élève lentement, on peut négliger les forces de frottement.

Dans la mesure où le ballon s'élève, on considère que la poussée d'Archimède est supérieure au poids.

Dans la représentation, les deux vecteurs s'appliquent au niveau du centre d'inertie mais on les décale légèrement pour plus de lisibilité

b. Un livre immobile sur un plan incliné

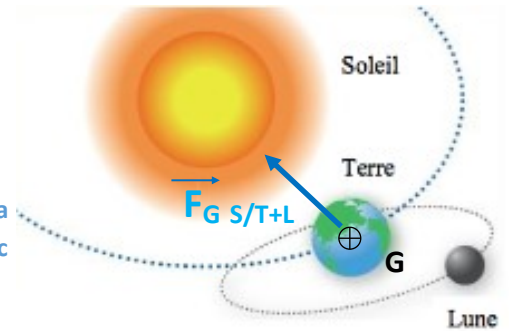
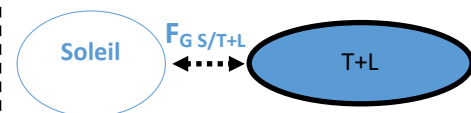


Le livre est immobile. S'il n'y avait que la réaction normale du support, le livre glisserait. Il y a donc une autre force qui empêche le livre de glisser.

Il s'agit de la force de frottement solide du livre sur le support. Cette force est parallèle au support et de sens opposé au déplacement potentiel du livre.

Sur le schéma, il faut représenter les forces de façon à ce que la somme des 3 vecteurs soit nulle car les forces se compensent. Le plus simple est de tracer un vecteur opposé au poids (en pointillé) et de le décomposer en une composante perpendiculaire au support (R) et une force parallèle au support (f).

c. Le système Terre-Lune

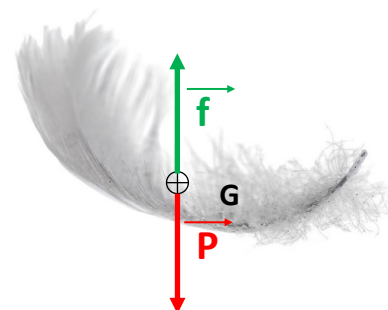
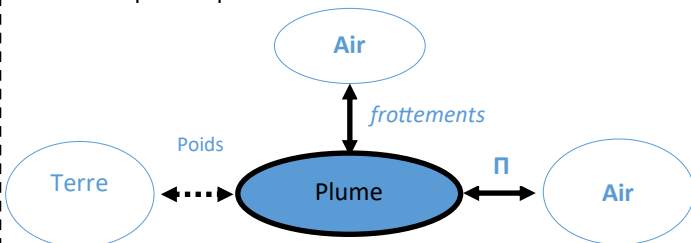


Attention à bien lire l'énoncé... le système Terre-Lune est constitué par la Terre et la Lune (les forces d'attraction entre la Terre et la Lune sont donc des forces internes).

Si on néglige les forces gravitationnelles exercées par les autres planètes, la seule force à prendre en compte est la force de gravitation exercée par le Soleil et qui s'exerce au niveau du centre de gravité du système Terre-Lune.

La Terre étant beaucoup plus massive que la Lune, on place le centre de gravité au niveau du centre de la Terre.

d. Une plume qui tombe à vitesse constante

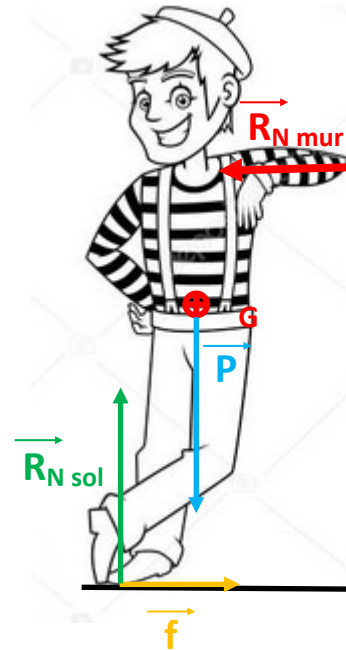
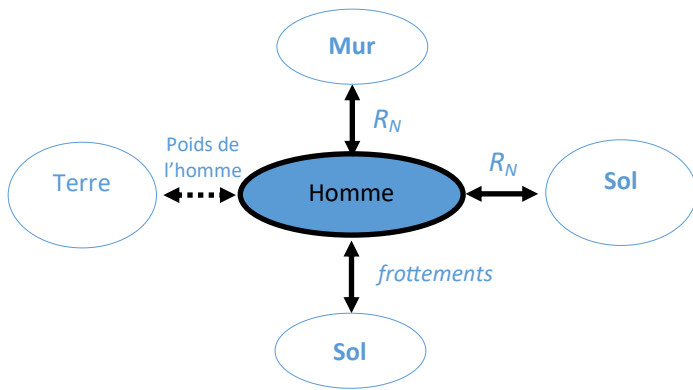


La plume tombe à vitesse constante. Elle est donc soumise à des forces qui se compensent.

Ici, on peut négliger la poussée d'Archimède car la densité d'une plume est assez grande (il s'agit d'un solide... imaginez que l'on roule la plume en boule entre ses doigts, elle aurait la densité d'un morceau de liège).

On représente donc la force de frottement fluide et le poids avec des longueurs égales, des directions identiques et des sens opposés.

e. Un homme debout qui s'appuie contre un mur



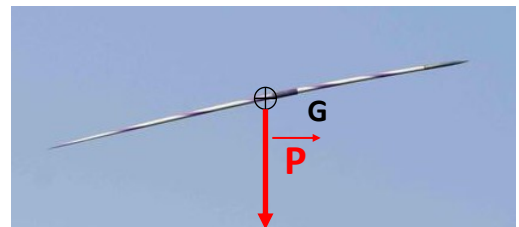
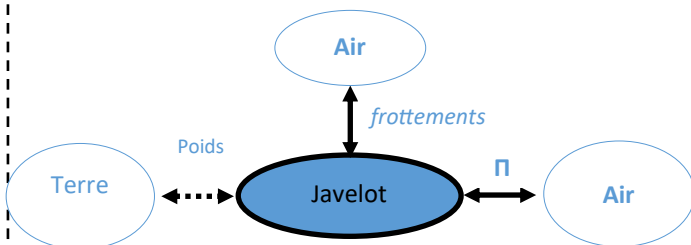
L'homme est immobile. Il est donc soumis à des forces qui se compensent.

Ici, il faut prendre en compte :

- La réaction du mur qui s'oppose à ce que l'homme le traverse
- La réaction du sol qui s'oppose à ce que l'homme s'y enfonce
- Les frottements solides qui empêchent l'homme de glisser
- Le poids... évidemment

Au vu des directions des forces, le bilan est facile à réaliser, les vecteurs sont égaux en longueur, en direction et opposés 2 à 2.

f. Un javelot que l'on vient de lancer



Ici, les forces ne se compensent pas.

On peut négliger :

- Les frottements fluides car le javelot a une forme aérodynamique permettant de les minimiser.
- La poussée d'Archimède car la densité du javelot est très supérieure à celle de l'air.

Il ne reste que le poids...

### Force de gravitation

- a. Rechercher la valeur de la masse de la Terre et son rayon. Faire de même pour la Lune

Masse de la Terre	Rayon de la Terre	Masse de la Lune	Rayon de la Lune
$6,0 \cdot 10^{24}$ kg	$6,4 \cdot 10^6$ m	$7,3 \cdot 10^{22}$ kg	$1,7 \cdot 10^6$ m

- b. Calculer la force de gravitation exercée par la Terre sur un objet de 10 kg situé à sa surface.

On applique la relation vue dans le cours :

$$F_{GT/O} = \frac{G \times M_T \times m}{R_T^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 6,0 \cdot 10^{24} \times 10}{(6,4 \cdot 10^6)^2} = 98 \text{ N}$$

- b. Comparer au poids de l'objet et calculer l'écart relatif entre ces deux forces qui décrivent pourtant un même phénomène. Interpréter la différence.

Pour calculer le poids, on applique la relation vue en cours :  $P = m \times g = 10 \times 9,81 = 98 \text{ N}$

On retrouve la même valeur (il y a un léger écart si on prend plus de CS). Le poids correspond donc bien à la force de gravitation subie par un objet au voisinage de la Terre.

- c. Calculer la force d'attraction de la Lune sur cet objet.

On reprend la relation précédente en prenant en compte les paramètres de la Lune :

$$F_{GL/O} = \frac{G \times M_L \times m}{R_L^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 7,3 \cdot 10^{22} \times 10}{(1,7 \cdot 10^6)^2} = 17 \text{ N}$$

- d. Par analogie avec le poids terrestre, calculer la valeur de l'accélération de la pesanteur lunaire.

Il faut calculer l'accélération de la pesanteur lunaire  $g_L$

Si on assimile la force de gravitation lunaire exercée sur l'objet à son poids, on a :  $g_L = \frac{P}{m} = \frac{17}{10} = 1,7 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$