

## Chapitre 3

### Dynamique

#### Introduction:

Nous avons étudié dans le chapitre précédent le mouvement des corps sans tenir compte des causes qui provoquent ou modifient le mouvement et ce qu'on a appelé la cinématique du point matériel. Dans ce chapitre on s'intéresse à la dynamique du point c'est-à-dire nous étudions les causes du mouvement et repérer le mouvement pour des causes données.

#### Notion de force :

En physique, la force est une action mécanique capable de changer le mouvement d'un objet matériel. Elle peut créer une accélération, c'est-à-dire une modification de sa vitesse, ce qui induit un déplacement ou une déformation de l'objet. La force est représentée par un vecteur, tel que :

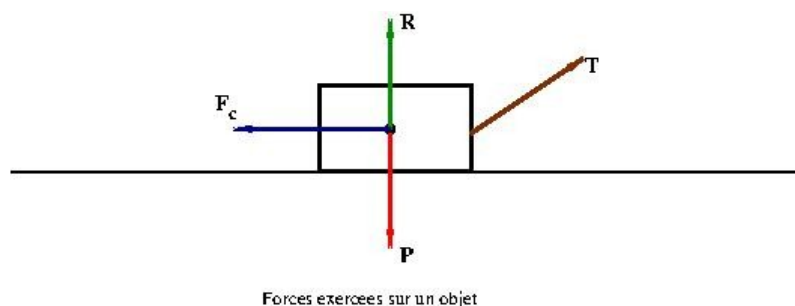
- Son Origine ou le point de contact est le point de contact (force/corps).
- Sa direction est la droite sur laquelle la force est orientée.
- Son sens est vers où la force agit.
- Son module est la valeur de la force en Newton (N).

Les forces exercées sur un corps quelconque est la somme vectorielle de toutes les forces qui lui sont appliquées.

#### Différentes forces :

- Forces de poids : force de gravitation due à la masse du corps.
- Forces de contacts : forces d'interactions entre deux corps en contact et lorsque les deux corps sont en mouvement relatif l'un par rapport à l'autre, on aura une force de frottement c'est une force qui s'oppose toujours au mouvement du corps considéré.
- Forces de tension : ce sont les forces qui tirent sur un élément d'un corps : tension du fil, tension du ressort.
- Autres forces : forces électriques, forces magnétiques,...

Exemple : un corps glisse sur une surface horizontale tiré par un fil. Les forces exercées sur ce corps sont : force de poids, tension du fil, force de réaction et la force de frottement.



#### Principe d'inertie :

**Enoncé :** un corps isolé mécaniquement (un corps dont la résultante des forces qui lui sont appliquées est nulle  $\sum_i \vec{F}_i = \vec{0}$ ) reste au repos s'il est initialement au repos ou il garde son mouvement rectiligne uniforme ( $\vec{a} = \vec{0}$ ) tant que la résultante des forces est nulle et ceci par rapport à un repère ou référentiel d'inertie.

### Référentiel d'inertie ou galiléen:

Un référentiel inertiel ou galiléen (nommé ainsi en hommage à **Galilée**) est un repère dans lequel le principe d'inertie est vérifié, c'est-à-dire il garde son inertie : il reste au repos s'il est repos et il garde son mouvement rectiligne uniforme tant que la résultante des forces qui lui sont exercées est nulle.

### Remarque :

Tout référentiel en mouvement de translation rectiligne et uniforme par rapport à un référentiel galiléen est lui-même galiléen : il existe donc une infinité de référentiels galiléens.

### Concept de masse :

La masse est une grandeur physique scalaire positive intrinsèque d'un corps. C'est une grandeur extensive, c'est-à-dire que la masse d'un corps formé par plusieurs parties est la somme des masses des ces parties. Historiquement la masse était directement accessible à la mesure à travers la pesée, qui permet de comparer la masse d'une certaine quantité de matière à une masse étalon. C'est la « masse pesante ». La masse est alors liée à la quantité de la matière qui compose un corps. (*Définition fournie par wikipedia*).

### La quantité de mouvement :

La quantité de mouvement est un vecteur qui est déterminé par le produit entre la masse et la vitesse. La quantité de mouvement nous permet de distinguer entre les particules en mouvement de même vitesse et de masses différentes.

$$\vec{P} = m\vec{V} \quad (3.1)$$

Pour un système formé par N particules, la quantité de mouvement totale est égale à :

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^N \vec{P}_i \quad (3.2)$$

### Les lois de Newton :

Les lois de Newton sont empiriques, c'est-à-dire qu'elles sont obtenues à partir des observations et des expériences. Elles sont valables dans n'importe quel système galiléen.

### Première loi de newton : Le principe d'inertie.

Si un objet matériel n'est soumis à aucune force extérieure, c'est-à-dire  $\sum \vec{F} = 0$ , alors :

- s'il est au repos, il le restera,
- s'il est en mouvement, son mouvement sera rectiligne uniforme.

**Deuxième loi de newton : Le principe fondamental de la dynamique.**

Soit un objet matériel soumis à des forces extérieures, son mouvement est modifié par ces dernières tel que :

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} = \frac{d(m\vec{V})}{dt} \quad (3.3)$$

Si la masse est constante :

$$\sum \vec{F} = m \frac{d\vec{V}}{dt} = m\vec{a} \quad (3.4)$$

Le résultat des forces exercées sur l'objet matériel est de lui communiquer une accélération.

**Troisième loi de newton : Le principe de l'action et de la réaction.**

Tout corps A exerçant une force sur un corps B subit une force d'intensité égale, de même direction mais de sens opposé, exercée par le corps B.

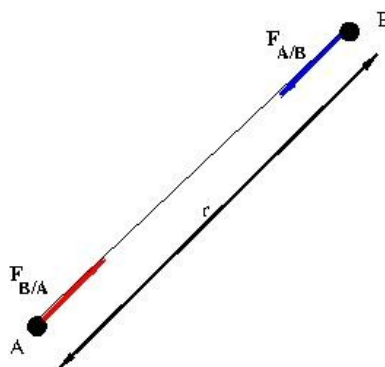
**Remarque :**

La force exercée par le corps A sur le corps B est appelée « action » et la force exercée par le corps B sur le corps A est appelée « réaction ».

**Loi de gravitation universelle :**

Deux corps A et B assimilables à des points, s'attirent mutuellement. L'attraction qu'ils exercent l'un sur l'autre est :

- Proportionnelle à leurs masses  $m_A$  et  $m_B$ .
- Inversement proportionnelle au carré de la distance,  $r$  qui les sépare.



Les forces qui modélisent cette interaction mutuelle ont les caractéristiques suivantes :

- Leur point d'application est tel que la force exercée par A sur B s'applique en B et la force exercée par B sur A s'applique en A.
- Leur direction est celle de la droite AB reliant les deux objets.

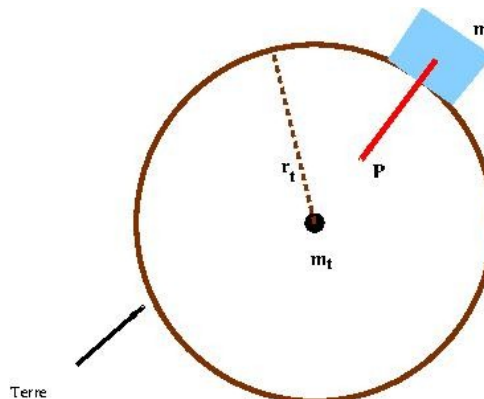
- Leur sens est tel que la force exercée par A sur B est dirigée vers A et celle exercée par B sur A est dirigée vers B.
- L'intensité de la force gravitationnelle entre les deux objets matériels est donnée par :

$$F_g = G \frac{m_A m_B}{r^2} \quad (3.5)$$

$G$  est la constante universelle de la gravitation :  $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ .

**Le poids d'un corps sur la terre:**

Le poids d'un objet est la force d'attraction gravitationnelle exercée par la terre sur cet objet,



$m_t$  et  $r_t$  sont la masse et le rayon de la terre respectivement tel que :  $m_t = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ Kg}$  et  $r_t = 6370 \text{ Km}$  . :

$$m_0 g = G \frac{m_0 m_t}{r_t^2} \Rightarrow g = G \frac{m_t}{r_t^2} \quad (3.6)$$

Application numérique :  $g = 9,8 \text{ N/Kg}$ .

Les caractéristiques du poids sont les suivantes :

- Sa direction est verticale à la surface de la terre.
- Son sens est dirigé vers le centre de la terre.
- Sa norme est  $P = mg$ .
- Le point d'application est le centre de gravité de l'objet matériel.

A une hauteur  $h$  de la surface de la terre, on a :

$$m_0 g' = G \frac{m_0 m_t}{(r_t + h)^2} = G \frac{m_0 m_t}{r_t^2 \left( \frac{r_t + h}{r_t} \right)^2} = m_0 g \frac{r_t^2}{r^2} \quad (3.7)$$

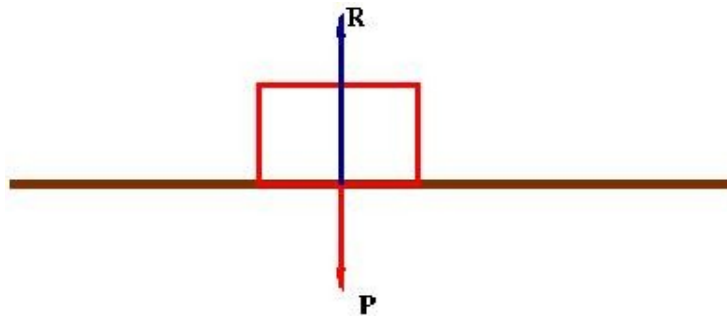
avec :  $r = r_t + h$ .

**Forces de contact :**

La force de contact est toute force qui a lieu une fois on a le contact entre deux surfaces planes.

**Réaction d'un support :**

Soit un objet matériel posé sur une surface horizontale.

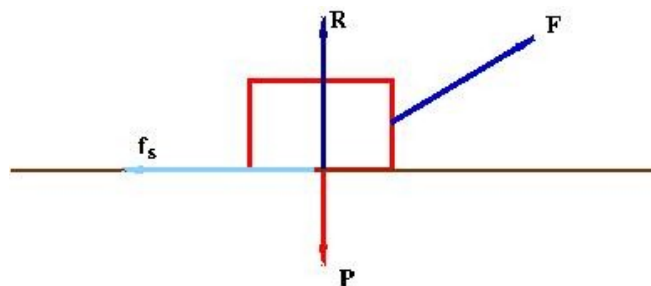


La force de réaction  $\vec{R}$  est l'action du support sur lequel repose le système et qui l'empêche de s'enfoncer vers le bas sous l'action de son poids.

**Forces de frottement :**

En physique, le frottement est une interaction qui s'oppose au mouvement relatif entre deux systèmes en contact. On distingue deux types de frottements :

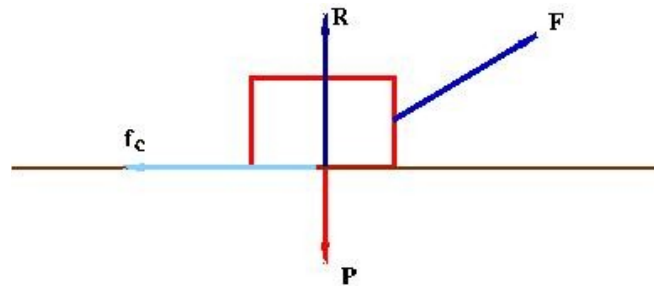
- Frottement sec ou solide : il est indépendant de la vitesse de glissement. Il se décompose en deux situations :
  1. Frottement sec statique : c'est la force qui tend à garder le corps en état statique.



$$f_s = \mu_s R \quad (3.8)$$

où  $\mu_s$  est le coefficient de frottement statique.

2. Frottement sec cinétique ou dynamique : c'est la force qui tend à ralentir un objet qui glisse sur une surface.



$$f_c = \mu_c R \tag{3.9}$$

où  $\mu_c$  est le coefficient de frottement cinétique ou dynamique.

- Frottement fluide : Quand un corps solide se déplace dans un fluide (un gaz ou liquide) avec une faible vitesse relative, la force de frottement est :

$$\vec{f}_f = -k\eta\vec{V} \tag{3.10}$$

Où  $k$  est le coefficient qui dépend de la forme de l'objet en mouvement et  $\eta$  est le coefficient de viscosité du fluide.

**Moment cinétique :**

Soit une particule de masse  $m$  se trouvant en un point repéré par le vecteur  $\vec{r}$  et se déplace à la vitesse  $\vec{V}$  et sa quantité de mouvement est alors  $\vec{p} = m\vec{V}$ . Son moment cinétique est défini comme suit:

$$\vec{L} = \vec{r} \wedge \vec{p} \tag{3.11}$$

Le moment cinétique est vecteur perpendiculaire au plan formé par le vecteur position et le vecteur quantité de mouvement  $(\vec{r}, \vec{p})$ . Son module est donné par :

$$|\vec{L}| = r p \sin(\vec{r}, \vec{p}) = m r V \sin(\vec{r}, \vec{p}) \tag{3.12}$$

**Théorème du moment cinétique:**

La dérivée par rapport au temps du moment cinétique d'un point matériel est égale au moment de la force qui lui est appliquée par rapport au point de référence utilisé par le moment.

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d}{dt}(\vec{r} \wedge \vec{p}) = \frac{d\vec{r}}{dt} \wedge \vec{p} + \vec{r} \wedge \frac{d\vec{p}}{dt} \tag{3.13}$$

Or on a :

$$\frac{d\vec{r}}{dt} \wedge \vec{p} = \vec{0} \tag{3.14}$$

et en utilisant le principe fondamental de la dynamique, on aura :

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{r} \wedge \vec{F} = \vec{M}(\vec{F}) \quad (3.15)$$

La dérivée du moment cinétique est nulle :

- Si la particule est isolée, c'est-à-dire que  $\sum \vec{F} = \vec{0}$ .
- Si la force est centrale, c'est-à-dire que  $\vec{F}$  est parallèle à  $\vec{r}$ .

Donc le moment cinétique d'une particule libre est constant ainsi pour celle qui est soumise à une force centrale.