**Cours Physique 10** **BCPST 1C**

# *- Lois de la dynamique -*

| Notions et contenus | Capacités exigibles |
|---|---|
| *- Masse d'un système matériel.*<br>*- Conservation de la masse d'un système matériel fermé.*<br>*- Centre de masse d'un système matériel.* | *- Justifier qualitativement la position du centre de masse d'un système matériel, cette position étant donnée.* |
| *- Quantité de mouvement d'un système matériel.* | *- Utiliser la relation entre la quantité de mouvement d'un système matériel et la vitesse de son centre de masse.* |
| *- Première loi de Newton, principe d'inertie.*<br>*- Référentiel galiléen.* | *- Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens.*<br>*- Discuter qualitativement du caractère galiléen d'un référentiel donné pour le mouvement étudié.* |
| *- Modélisation d'une action mécanique par une force. Troisième loi de Newton.* | *- Établir un bilan des actions mécaniques s'exerçant sur un système ou sur plusieurs systèmes en interaction et en rendre compte en représentant les forces associées sur une figure.* |
| *- Deuxième loi de Newton.*<br>*- Équilibre d'un système.* | *- Utiliser la deuxième loi de Newton dans des situations variées.*<br>**- (TP) *Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force à l'aide d'un microcontrôleur ou d'analyser un mouvement enregistré.*** |
| ***Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme***<br>*- Modèle du champ de pesanteur uniforme au voisinage de la surface d'une planète.*<br>*- Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme.* | *- Établir et exploiter les équations horaires du mouvement.*<br>*- Établir l'équation de la trajectoire en coordonnées cartésiennes.* |
| *- Modèle d'une force de frottement fluide linéaire en vitesse.*<br>*- Influence de la résistance de l'air sur un mouvement de chute. Vitesse limite.* | *- Déterminer et résoudre l'équation différentielle du mouvement.*<br>*- Exploiter une équation différentielle sans la résoudre analytiquement, par exemple : écriture sous forme adimensionnée, analyse en ordres de grandeur, existence d'une vitesse limite, utilisation des résultats obtenus par résolution numérique, etc…* |
| *- Modèle du frottement de glissement : lois de Coulomb.* | *- Exploiter les lois de Coulomb fournies dans les trois situations : équilibre, mise en mouvement, freinage.*<br>*- Formuler une hypothèse (quant au glissement ou non) et la valider.* |
| *- Modèle linéaire de l'élasticité d'un matériau.* | *- Caractériser une déformation élastique linéaire par sa réversibilité et son amplitude proportionnelle à la force appliquée.*<br>*- Extraire une constante de raideur et une longueur à vide à partir de mesures expérimentales ou de données.*<br>*- Analyser la limite d'une modélisation linéaire à partir de documents expérimentaux.* |
| *- Exemple d'oscillateur harmonique : système masse-ressort en régime libre.*<br>*- Pulsation et période propres.* | *- Déterminer et résoudre l'équation différentielle du mouvement.*<br>*- Déterminer les expressions de la pulsation et de la période propres du mouvement.* |

Dans le <u>*cours de Physique 09*</u> de Cinématique du point, nous ne nous sommes intéressés qu'à l'analyse du mouvement des corps via trois vecteurs caractéristiques : le vecteur position, le vecteur vitesse et le vecteur accélération. Dans ce chapitre, nous allons désormais nous intéresser aux causes qui peuvent engendrer le mouvement d'un corps : c'est le but d'une autre branche de la mécanique appelé **DYNAMIQUE**.

Après avoir présenté différentes notions introductives, nous verrons quelles lois de la dynamique régissent ces mouvements au travers de divers exemples.

## I- Quelques grandeurs intervenant dans les lois de la dynamique

### 1) Masse et centre de masse d'un système matériel

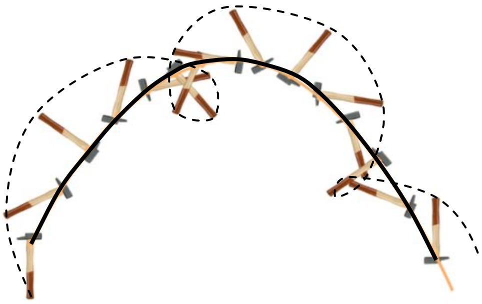
Quelques exemples de la vie courante montrent que tous les corps ne « répondent » pas de la même manière quand on essaye de les mettre en mouvement : un joueur de ping-pong sera par exemple dans l'impossibilité de renvoyer une balle si celle-ci est remplacée par une boule de bowling ! De même, un enfant qui joue aux billes aura beaucoup plus de mal à jouer de la même façon si on remplace ses billes par des boules de pétanque …

Tous les corps cités précédemment (et les autres) ont donc une **résistance** différente **face à la mise en mouvement qu'on souhaite leur imposer** : on dit qu'ils ont tous une ***INERTIE***. La grandeur physique responsable de cette inertie est la masse du corps.

☛ ***<u>Définition</u>*** :

☛ ***<u>Propriétés</u>*** :

*Pour faire référence à la notion d'inertie que la masse caractérise, on rencontre parfois le terme de « **masse inerte** » ou « **masse inertielle** ».*

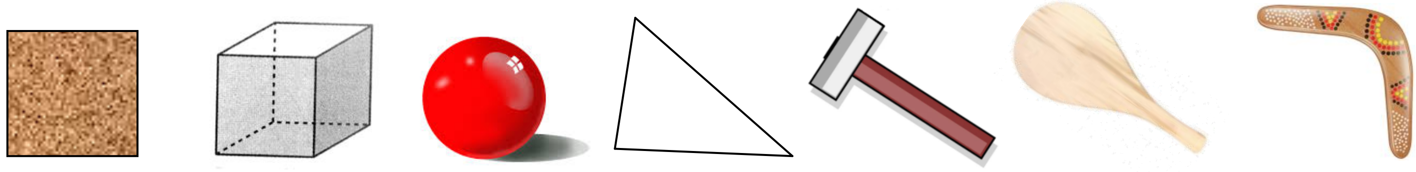


Dans le cours de Physique 09, nous nous sommes contentés d'étudier le mouvement des ***POINTS MATERIELS***, c'est-à-dire de ***systèmes dont on peut négliger l'extension spatiale et la rotation sur eux-mêmes***. Or, la plupart des systèmes matériels étudiés en mécanique ne vérifient pas ces conditions, ne serait-ce que la boule de bowling évoquée précédemment … Lorsqu'ils sont en mouvement, les points d'un système n'ont pas tous la même trajectoire et celle-ci est d'ailleurs plus ou moins complexe, sauf pour un point particulier du système situé au ***CENTRE DE MASSE*** du système.

☛ ***Définition*** :

*Un synonyme de **CENTRE DE MASSE** est **CENTRE D'INERTIE**, par référence à la notion d'inertie que caractérise la masse. Dans la suite, on pourra aussi la confondre avec la notion de **CENTRE DE GRAVITE** bien que la définition soit en réalité différente (c'est le point d'application des forces gravitationnelles).*

✍ **Application 1** : *Indiquer où se situe le centre de masse des différents systèmes matériels ci-dessous.*



**Carrelage** **Cube** **Boule** **Triangle** **Marteau** **Raquette de plage** **Boomerang**

## 2) Le vecteur quantité de mouvement

Un vecteur particulier combinant « masse » et « vitesse » sera utilisé dans une des lois de la dynamique. Il s'agit du vecteur ***quantité de mouvement*** $\vec{p}$.

☛ ***Définition*** :

☛ ***Propriétés*** :

## 3) Forces exercées en un point matériel

Une ***FORCE*** est la cause de la modification du mouvement d'un objet. Prenons l'exemple d'une bille immobile sur un sol horizontal : comment faire pour l'amener d'un point A à un point B ? On peut par exemple la pousser du doigt : cette « action » exercée par le doigt (partie extérieure au système) sur la bille (système) est ce qu'on appelle une ***FORCE***. Et la future trajectoire de la bille dépendra évidemment de la ***direction***, du ***sens*** et de l'***intensité*** de la force ; ces trois caractéristiques de la force sont regroupées en une seule notation : le ***VECTEUR FORCE***.

☛ ***Définition*** :

☛ ***Propriétés*** :

Il existe une grande variété de forces : en voici quelques unes à connaître, car souvent rencontrées.

## a/ Le poids $\vec{P}$ :

☛ ***Définition*** :

☛ ***Propriétés*** : • Origine :

• Direction :

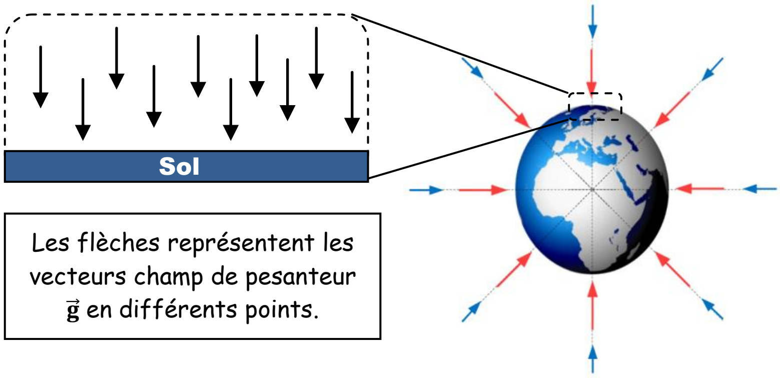
• Sens :

### ➨ A propos du vecteur $\vec{g}$ :

On montre que le vecteur champ de pesanteur $\vec{g}$ d'un astre en un point M est directement relié à la masse $m_{astre}$ de cet astre et à la distance D qui sépare son centre de masse du point M, selon la relation encadrée ci-contre où $\vec{u}$ est un vecteur unitaire orienté de M vers le centre de masse de l'astre.

$$\boxed{\vec{g}(M) = G \times \frac{m_{astre}}{D^2} \times \vec{u}}$$

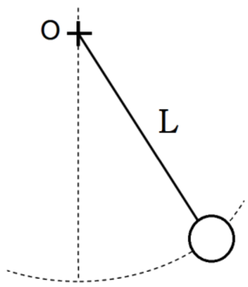
✍ ***Application 2*** : *A quelle condition peut-on considérer le champ de pesanteur uniforme à la surface d'une planète ?*




## b/ La tension $\vec{T}$ d'un fil :

Soit un système accroché à l'extrémité d'un fil inextensible de longueur L constante. Lorsque le fil est tendu, il retient le système par l'intermédiaire d'une force $\vec{T}$ appelée ***TENSION du fil*** dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Origine = point de contact entre le système et le fil ;
- Direction = celle du fil ;
- Sens = du système vers le fil ;
- Norme = elle dépend des autres forces appliquées



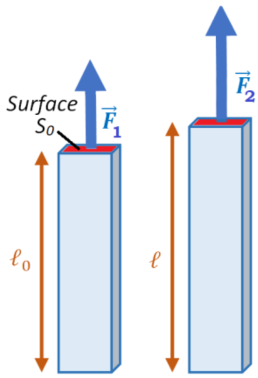

Une force de tension nulle peut donc correspondre à deux situations différentes : soit le fil n'est pas tendu, soit le fil est rompu …

## c/ Tension d'un ressort (ou force de rappel élastique) :

☛ ***Définition*** :

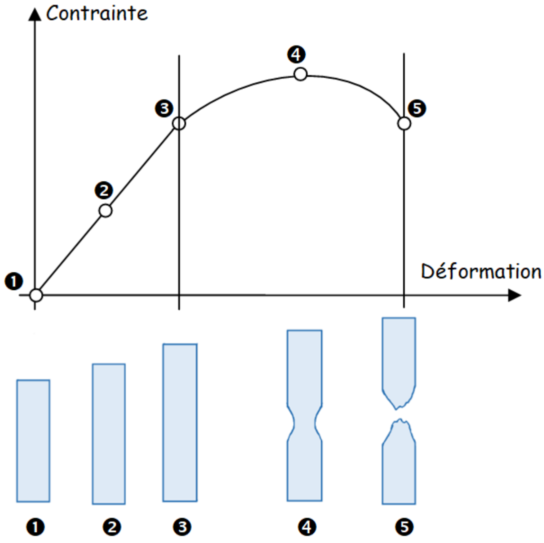
☛ ***Propriétés*** : •

•




Pour déterminer la limite d'élasticité d'un matériau, on peut l'étirer depuis une longueur initiale $\boldsymbol{\ell_0}$ jusqu'à une longueur $\boldsymbol{\ell}$ en lui faisant subir une force croissante $\vec{F}$ sur l'une de ses surfaces (notée $S_0$). On reporte alors la valeur du rapport **F / $S_0$** (appelé **contrainte de traction** $\sigma$) en fonction du rapport **$\Delta\ell$ / $\ell_0$** (appelé **déformation** du matériau) avec **$\Delta\ell = \ell - \ell_0$** l'**allongement** du matériau.

On obtient le graphique ci-contre dans lequel apparaissent 3 zones :




• ❶ à ❸ : une ***partie linéaire*** correspondant à la **déformation ELASTIQUE** du matériau. Tant qu'on ne dépasse pas la contrainte du stade ❸, la déformation est réversible et le matériau reprend systématiquement sa longueur $\ell_0$ quand on cesse la contrainte.

• ❸ à ❺ : une ***partie non linéaire*** correspondant à la **déformation PLASTIQUE** du matériau ; si on cesse la contrainte, la matériau se contracte mais ne revient plus à sa longueur initiale $\ell_0$ mais à une longueur supérieure. Au point ❹, la contrainte est maximale et au point ❺, la matériau se rompt.

• Après ❺ : la matériau est cassé.

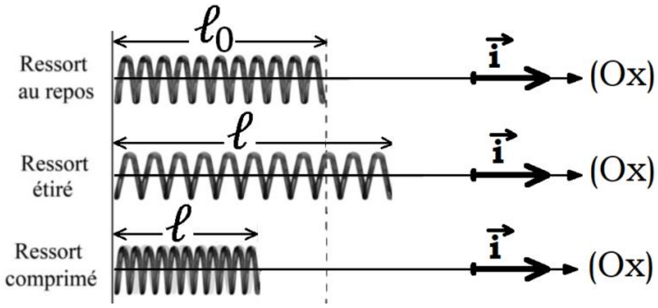
✍ ***Application 3*** : *Repérer la limite d'élasticité sur le graphique.*

## ➡ Un matériau élastique : le RESSORT :

Le matériau élastique le plus couramment utilisé est le ressort. Dans la suite, on l'étudiera dans son ***domaine de déformation ELASTIQUE***.

Le fait que le ressort revienne à sa longueur initiale $\ell_0$ (appelée longueur à vide) quand la contrainte cesse révèle l'existence d'une force appelée ***FORCE DE RAPPEL*** : on la dénomme ainsi car **cette force rend à ramener le ressort vers l'état dans lequel il était avant qu'on lui fasse subir une contrainte**.

On distingue alors les trois situations représentées ci-contre, pour lesquelles la force s'exprime de la même manière :

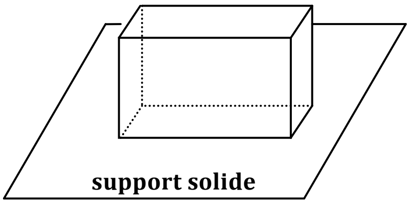



☛ ***Définition*** :

## d/ Action exercée par un support solide :

Quand il y a contact entre le système et un support solide, **ce support exerce sur le système une force répartie sur toute la surface qui est en contact avec lui** : cette force est appelée ***REACTION du support***.

On modélise cette réaction par un unique vecteur force (noté $\vec{R}$) s'appliquant en un point **I** de la surface de contact **ou** par ses deux composantes (notées $\vec{R}_N$ et $\vec{R}_T$).



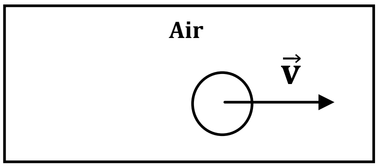

Avec : • $\vec{R}_N$ :

• $\vec{R}_T$ :

*!!! **Attention** !!! Quand on fera le bilan des forces, raisonner soit avec $\vec{R}$, soit avec $\vec{R}_N$ et $\vec{R}_T$, mais jamais avec les trois en même temps … Sinon cela revient à compter deux fois la réaction $\vec{R}$ !*

*Dans le cas où la réaction tangentielle n'est pas nulle, on distingue deux catégories de frottements selon que le système est immobile ou en mouvement. Ce sont les **lois empiriques de Coulomb** qui seront développées dans le paragraphe* **III-1.b)**.

### e/ Force de frottement fluide :



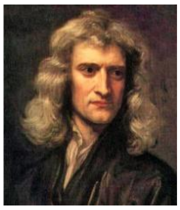

**Objet se déplaçant horizontalement dans l'air**

Quand un solide est en mouvement dans un milieu fluide, il est souvent freiné par les interactions entre sa surface et les particules de fluide : on parle alors de **FORCE DE FROTTEMENT FLUIDE**. Cette force existe dès que le fluide et le solide sont en mouvement relatif (le solide peut être en mouvement et le fluide immobile, le solide peut être immobile et le fluide en mouvement, et enfin, les deux peuvent être en mouvement).

Pour un mouvement de translation ***à faible vitesse***, la force de frottement fluide est dite « **linéaire en vitesse** » et peut se mettre sous la forme :

*Pour les déplacements à grande vitesse, la formule fait intervenir le carré de la vitesse (voir programme de 2$^{ème}$ année).*

## III- Les Lois de Newton



Isaac Newton (1642 – 1727) intègre l'université de Cambridge en 1661 et a laissé des traces dans de nombreux domaines : en 1672, il découvre la nature de la lumière blanche et met au point dans la foulée le premier télescope sans aberration chromatique qui porte son nom : le télescope de Newton. Il établit en 1687 la loi de la gravitation universelle et surtout les trois ***lois fondamentales de la dynamique*** qui seront vues ci-dessous : toutes les autres lois de la dynamique en découlent ! Mais Newton s'illustra aussi en mathématiques : en s'associant avec Leibniz, il introduit le calcul différentiel et intégral.

### 1) 1$^{ère}$ Loi de Newton (ou principe d'inertie)

#### a/ Enoncé :

➧ **Les points matériels concernés** :

• La notion de **point matériel *ISOLE*** est un cas limite utilisé en mécanique ; un tel point ne peut en tout cas pas exister au voisinage de la Terre.
• La 1$^{ère}$ loi de Newton peut s'appliquer aux **points matériels *PSEUDO-ISOLES***, c'est-à-dire soumis à des forces qui se compensent, ce qu'on notera $\sum \vec{F} = \vec{0}$.

➧ **Les référentiels concernés** :

La 1$^{ère}$ loi de Newton n'est valable que dans les **référentiels *GALILEENS*** ; mais quels référentiels peut-on considérer comme tels ? Pour le savoir, il faut étudier un point isolé, c'est-à-dire éloigné de toute autre matière afin qu'aucune action ne soit possible sur le point étudié : prenons une étoile.

Cherchons alors un référentiel tel que cette étoile soit animée d'un mouvement de translation rectiligne et uniforme ou bien immobile : cela dépend de la durée de l'observation !

# ***Le référentiel*** _______________ : si la Terre n'a pas le temps de beaucoup tourner sur elle-même, l'étoile sera bien animée d'un mouvement de translation rectiligne et uniforme ou immobile. ***Ce référentiel peut donc être considéré comme galiléen sur une durée d'étude négligeable devant 24 h*** (pour ne pas tenir compte de la rotation de la Terre sur elle-même) ;

# ***Le référentiel*** _______________ : si la Terre n'a pas le temps de beaucoup se déplacer autour du Soleil, l'étoile sera bien animée d'un mouvement de translation rectiligne et uniforme ou immobile. ***Ce référentiel peut donc être considéré comme galiléen sur une durée d'étude négligeable devant 1 an*** (pour ne pas tenir compte de la révolution de la Terre autour du Soleil) ;

# ***Le référentiel*** _______________ : la période de révolution de la Terre autour du Soleil est de 250 millions d'années. On peut donc considérer que ***ce référentiel est galiléen quelle que soit la durée d'étude*** (pourvu qu'elle soit très inférieure à 250 millions d'années).

# ***Le référentiel*** _______________ : c'est **LE référentiel galiléen de base** !

- Origine du repère d'espace =
- Axes du repères d'espace =

Mais il existe évidemment d'autres référentiels galiléens … Prenons l'exemple d'un train A animé d'un mouvement rectiligne uniforme à une vitesse $v_{terrestre}(A) = 100\ km.h^{-1}$ dans le référentiel terrestre supposé galiléen : d'après la 1ère loi de Newton, ce train est soumis à des forces qui se compensent.

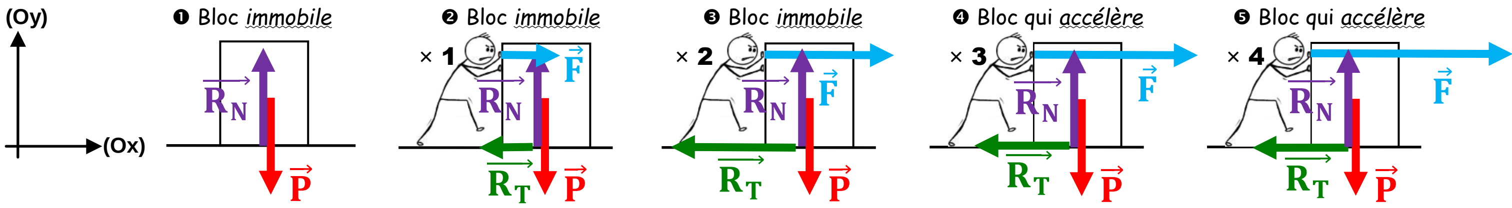
Supposons maintenant qu'un train B arrive en face de ce train A selon un mouvement également rectiligne et uniforme à une vitesse $v_{terrestre}(B) = 20\ km.h^{-1}$ dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Dans le référentiel du train B, le train A est alors animé d'un mouvement rectiligne et uniforme de vitesse égale à 120 $km.h^{-1}$. Et comme la nature des forces subies par le train A ne dépend pas du référentiel, elles se compensent toujours : dans le référentiel du train B, la 1ère loi de Newton est donc toujours vérifiée. Le train B est donc un référentiel galiléen.

☛ ***Propriété*** :

## b/ Applications :

La 1ère Loi de Newton peut être mise à profit pour déterminer la valeur de certaines forces dans des situations où le système étudié est immobile ou en mouvement rectiligne et uniforme. Voyons quelques exemples ci-dessous, permettant de revenir sur la notion de réaction $\vec{R}$ exercée par un support solide sur le système (paragraphe **I-3.d/**).

✍ ***Application 4*** : *Un bloc de pierre de masse* **m = 100 kg** *est posé sur un sol horizontal puis il est poussé par 1 à 4 personnes. On a représenté les différentes forces subies par le bloc de pierre pour chaque situation. Commenter l'évolution de la réaction tangentielle du sol entre les situations* ❶ à ❺.




☛ ***Système*** : bloc de pierre ☛ ***Référentiel*** : terrestre (supposé galiléen)

☛ ***Bilan des forces*** :
- le poids $\vec{P}$ du système (situations ❶ à ❺) ;
- la réaction normale $\vec{R_N}$ du support (situations ❶ à ❺) ;
- la réaction tangentielle $\vec{R_T}$ du support (situations ❷ à ❺) ;
- Force $\vec{F}$ exercée par la(les) personne(s) (situations ❷ à ❺) ;

☛ ***Dans quels cas la 1ère Loi de Newton s'applique-t-elle ?***

☛ ***Expression vectorielle de la 1ère Loi de Newton dans les cas où la 1ère Loi de Newton s'applique*** :

☛ ***Projection de la 1ère Loi de Newton sur l'axe (Ox) dans les cas où la 1ère Loi de Newton s'applique*** :

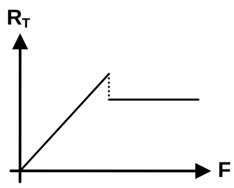
☛ ***Conclusion 1 : pour un système immobile, comment évolue $R_T$ quand F augmente ?***

☛ ***Conclusion 2 : pour un système en mouvement, comment évolue $R_T$ quand F augmente ?***

Les **lois de COULOMB** résument les observations précédentes en révélant l'existence de deux types de frottements :

**(Formules qui seront fournies)**

| *Le frottement STATIQUE (sans glissement)* | *Le frottement DYNAMIQUE (avec glissement)* |
|---|---|
| $\boxed{R_T < f_S \times R_N}$<br>avec $f_S$ le coefficient *statique* de frottement | $\boxed{R_T = f_D \times R_N}$<br>avec $f_D$ le coefficient *dynamique* de frottement |
| Les deux coefficients $f_S$ et $f_D$ sont sans dimension et en général, $f_D < f_S$. Mais ces deux coefficients étant très proches, on les confond souvent en un seul qu'on note alors « **f** ». | |

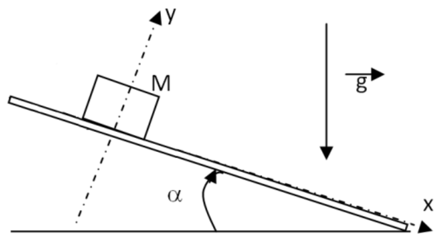



*La projection de la 1ère Loi de Newton dans les cas* ❶, ❷ *et* ❸ *aurait conduit à la relation :*

$P_y + R_{Ny} + R_{Ty} + F_y = 0 \quad \leftrightarrow \quad -P + R_N + 0 + 0 = 0 \quad$ soit $\quad R_N = P$

✍ ***Application 5*** : *Un bloc de pierre de masse* **m = 100 kg** *est immobile sur un plan incliné d'un angle* **$\alpha$ = 30,0°** *par rapport à l'horizontal. Déterminer la norme de la réaction normale et de la réaction tangentielle du support sur cette pierre.*

☛ ***Système*** : bloc de pierre ☛ ***Référentiel*** : terrestre (supposé galiléen)




☛ ***Bilan des forces*** :

☛ ***Coordonnées des vecteurs forces dans le repère cartésien d'axes (Ox,Oy)*** :

☛ ***Expression vectorielle de la 1ère Loi de Newton*** :

☛ ***Projection de la 1ère Loi de Newton sur l'axe (Ox)*** :

☛ ***Projection de la 1ère Loi de Newton sur l'axe (Oy)*** :

## 2) 2ème Loi de Newton (Principe Fondamental de la Dynamique - PFD)

D'après la 1ère Loi de Newton, si un point matériel n'est ni immobile, ni animé d'un mouvement rectiligne, alors il est soumis à une ou à plusieurs forces qui ne se compensent pas. Or, les mouvements non rectilignes uniformes sont caractérisés par une accélération qui est non nulle : on en déduit donc que ***l'existence de forces non compensées est liée à une accélération non nulle***.

De plus, ***la modification du mouvement due à une interaction dépend*** de l'inertie du système, c'est-à-dire ***de sa masse***. La 2ème loi de Newton réunit ces deux informations en une seule formule …

### a/ Enoncés :

☛ ***Enoncé général*** :

Dans beaucoup de situations, on travaillera avec un ***système fermé pour lequel la masse est constante***. La 2ème loi de Newton se simplifie alors :

☛ ***Enoncé simplifié*** :

*Par analyse dimensionnelle, on trouve qu'**une force peut aussi s'exprimer en** **kg.m.s$^{-2}$**.*

### b/ Applications :

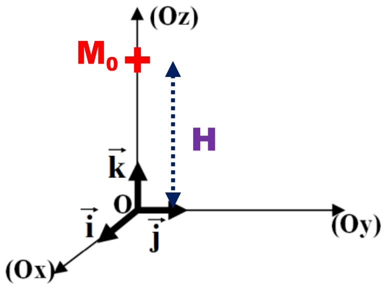
Toutes les applications qui vont être décrites ci-dessous utilisent la même méthode ; il s'agit de la méthode générale pour résoudre un problème en mécanique et elle consiste en plusieurs étapes :

\# Définir le ***système***, qu'on assimilera un point matériel, le plus souvent son centre de masse ;
\# Préciser le ***référentiel*** choisi pour mener l'étude, à considérer comme étant galiléen pour pouvoir appliquer le PFD ;
\# Etablir un ***bilan complet et précis des forces extérieures*** subies par le système, schéma à l'appui ;
\# ***Enoncer la 2ème loi de Newton*** sous sa forme vectorielle ;
\# Choisir un ***repère d'espace avec*** des axes adaptés à la situation physique étudiée ;
\# ***Projeter la 2ème loi de Newton*** dans le repère précédent ;
\# ***Résoudre les équations différentielles*** obtenues, en déterminant notamment les constantes d'intégration à partir des conditions initiales.

## Chute libre sans vitesse initiale dans un champ de pesanteur uniforme

On considère une bille de plomb de masse m = 25,0 g, en **chute libre**, assimilable à un point matériel M dans le repère cartésien **$(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$**, l'axe (Oy) matérialisant le sol et l'axe (Oz) la verticalité du lieu. On suppose que le point M :

# se trouve initialement au point $M_0$, à une altitude H = 10,0 m du sol ;
# est lâché sans vitesse initiale ;
# évolue dans un champ de pesanteur uniforme $\vec{g}$ de norme 9,8 m.s$^{-2}$.




➡ **Quelle sera la durée de la chute ?**

☛ ***Système*** : bille de plomb ☛ ***Référentiel*** : terrestre (supposé galiléen)

☛ ***Bilan des forces*** :

☛ ***PFD (2ème loi de Newton)*** :

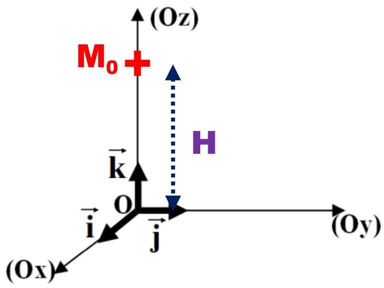
☛ ***Projection du PFD*** :

☛ ***Durée de la chute*** :

## Chute sans vitesse initiale avec frottements dans un champ de pesanteur uniforme

Même situation que précédemment, mais la bille d'aluminium est remplacée par une boule de papier de même masse (m = 25,0 g) et elle subit une force de frottement caractérisée par un coefficient de frottement fluide h = 0,083 kg.s$^{-1}$.

➡ **Quelle sera la durée de la chute ?**




☛ ***Système*** : boule de papier ☛ ***Référentiel*** : terrestre (supposé galiléen)

☛ ***Bilan des forces*** :

☛ ***PFD (2ème loi de Newton)*** :

☛ ***Projection du PFD*** :

☛ ***Constante de temps τ caractéristique du mouvement*** :

☛ ***Résolution de l'équation différentielle vérifiée par $v_z$*** : # Solution particulière :

# Solution de l'équation homogène :

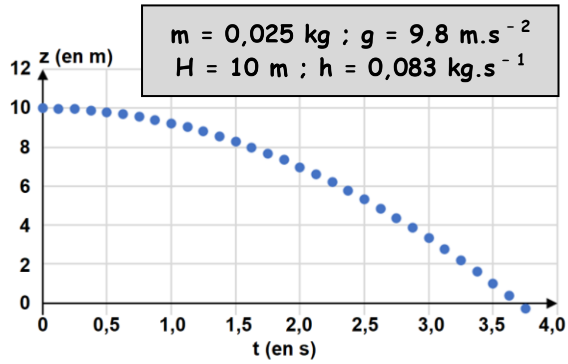
# Solution générale :

☛ ***Utilisation des conditions initiales*** :

☛ ***Expression finale de $v_z$ et de v*** :

☛ ***Evolution de la vitesse v au cours du temps*** :


☛ ***Expression de z*** :




☛ ***Durée de la chute*** :

## Système masse/ressort en régime libre – Modèle de l'OSCILLATEUR HARMONIQUE

On introduit ici le modèle de l'oscillateur harmonique, dont le champ d'application est très vaste en physique. Il permet dans certaines conditions d'étudier les vibrations de systèmes mécaniques (bâtiment vibrant sous l'action du vent, vibrations d'une voiture sur une route accidentée), mais aussi les vibrations des atomes au sein des molécules ou des solides. On retrouve ce modèle dans d'autres domaines de la physique : physique quantique, physique statistique.

Le modèle de l'oscillateur harmonique est adapté à ***l'étude de petites oscillations d'un système <u>autour d'une position d'équilibre</u> stable***. On se limite à l'étude de l'oscillateur harmonique en ***REGIME LIBRE***, c'est-à-dire non soumis à une excitation extérieure, dans le cas où le système peut être assimilé à un point matériel et repéré par une seule coordonnée d'espace (problème à un degré de liberté).

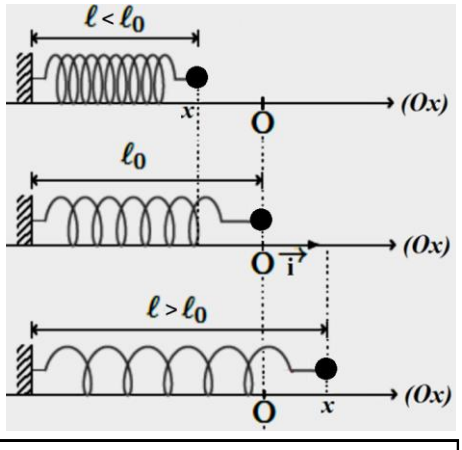
<u>CADRE DE L'ETUDE</u> :

*- Imaginons un ressort dont l'extrémité gauche est fixe et l'extrémité droite est reliée à une masse* m*, assimilable à son centre de masse. On suppose de plus que le système évolue sur le sol horizontal immobile sans frottements.*

*- On associe au référentiel terrestre un axe **(Ox)** orienté de la gauche vers la droite, dont l'origine coïncide avec la position du centre de masse quand le ressort a sa longueur à vide $\ell_0$, c'est-à-dire quand il n'est ni étiré, ni comprimé.*

*- On écarte le système en le positionnant à une abscisse* $x_m > 0$ *et à* t = 0*, on le lâche sans lui communiquer de vitesse.*

*- On observe des oscillations du système de part et d'autre du point O.*




☛ ***Système*** : Masse m ☛ ***Référentiel*** : terrestre (supposé galiléen)

☛ ***Bilan des forces*** :

☛ ***PFD (2ème loi de Newton)*** :

☛ ***Projection du PFD*** :

☛ ***Résolution de l'équation différentielle vérifiée par x*** :

*Point mathématique* : pour une équation différentielle du type $\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2.x = 0$, deux solutions sont possibles :

**$x$(t) = A.cos($\omega_0$.t) + B.sin($\omega_0$.t)** ou (au choix) **$x$(t) = A.cos($\omega_0$.t + $\varphi$)**

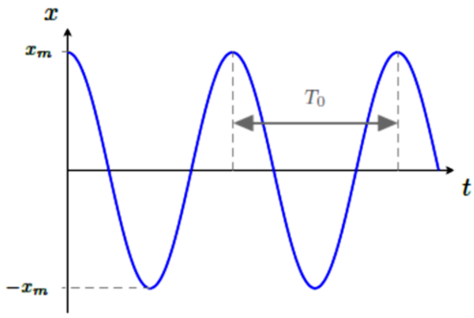
avec : # $\omega_0$ = pulsation propre (en rad.s$^{-1}$) ;
# A et B deux constantes (en m) à déterminer à l'aide des conditions initiales ;
# $\varphi$ la phase à l'origine (en rad) à déterminer à l'aide des conditions initiales.

☛ ***Utilisation des conditions initiales*** :

# A t = 0, $x$ = :

# A t = 0, $v_x$ = :

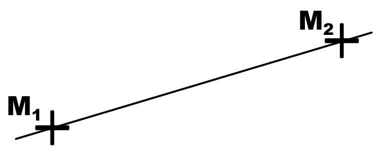
☛ ***Evolution de x au cours du temps*** :




## 3) 3ème Loi de Newton (Principe des actions réciproques)

☛ ***Enoncé*** :

☛ ***Conséquence vectorielle*** :




*Cette 3ème loi de Newton s'appelle aussi* ***principe de l'action et de la réaction*** *: en effet, si $M_1$ exerce une action $\vec{F}_{12}$ sur $M_2$, alors $M_2$ exerce en retour une réaction $\vec{F}_{21}$ sur $M_1$ telle que $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$*

✍ ***Application 6*** : *Comment la 3ème loi de Newton permet-elle de justifier qu'un marcheur … arrive à marcher !*