Cours Physique 10 **BCPST 1C**

- Lois de la dynamique -

Notions et contenus	Capacités exigibles
- Masse d'un système matériel. - Conservation de la masse d'un système matériel fermé. - 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. - Référentiel galiléen.	*- Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens. - 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. - Équilibre d'un système.	*- Utiliser la deuxième loi de Newton dans des situations variées.* **- (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 *- Modèle du champ de pesanteur uniforme au voisinage de la surface d'une planète. - Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme.*	*- Établir et exploiter les équations horaires du mouvement. - Établir l'équation de la trajectoire en coordonnées cartésiennes.*
- Modèle d'une force de frottement fluide linéaire en vitesse. - Influence de la résistance de l'air sur un mouvement de chute. Vitesse limite.	*- Déterminer et résoudre l'équation différentielle du mouvement. - 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. - 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. - Extraire une constante de raideur et une longueur à vide à partir de mesures expérimentales ou de données. - Analyser la limite d'une modélisation linéaire à partir de documents expérimentaux.*
- Exemple d'oscillateur harmonique : système masse-ressort en régime libre. - Pulsation et période propres.	*- Déterminer et résoudre l'équation différentielle du mouvement. - 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 quelques notions introductives, nous verrons quelles lois de la dynamique régissent les 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 …

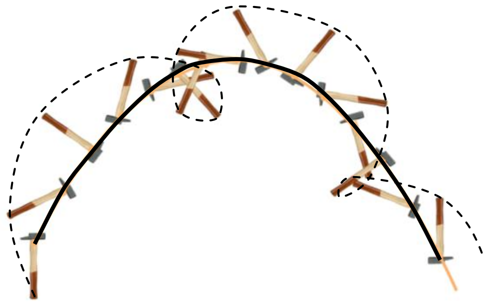
Tous les corps cités précédemment (et les autres) ont donc une **résistance** différente **face à la mise en mouvement qu'on souhaite leur imposer** : on dit qu'ils ont tous une ***INERTIE***. La grandeur physique responsable de cette inertie est la masse du corps.

☛ ***<u>Définition</u>*** :

☛ ***<u>Propriétés</u>*** :
- Elle s'exprime en ***kilogramme*** (kg) et sa valeur ***ne dépend pas*** du référentiel ;
- Elle est d'autant ***plus grande que le corps est inerte*** (c'est-à-dire qu'il résiste à sa mise en mouvement) ;
- Elle est ***constante*** pour un système fermé.

*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.

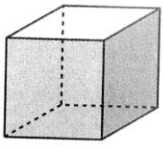


☛ ***Définition*** :

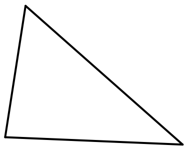
*Un synonyme de **CENTRE DE MASSE** est **CENTRE D'INERTIE**, par référence à la notion d'inertie que caractérise la masse. Dans la suite, on pourra aussi la confondre avec la notion de **CENTRE DE GRAVITE** bien que la définition soit en réalité différente (c'est le point d'application des forces gravitationnelles).*

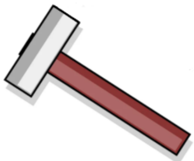
✍ ***Application 1*** : *Indiquer où se situe le centre de masse des différents systèmes matériels ci-dessous.*


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*** :
- Vecteur ***colinéaire et de même sens*** que le ***vecteur vitesse*** ;
- Vecteur qui ***dépend de l'instant*** où on l'étudie ***et du référentiel***.

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*** :
- Une force est une ***grandeur vectorielle*** dont l'unité est **le Newton** **(N)** possédant les trois coordonnées $\mathbf{F}_x$, $\mathbf{F}_y$, $\mathbf{F}_z$ dans un repère cartésien $(\mathbf{O}, \vec{\imath}, \vec{\jmath}, \vec{k})$:
- La ***valeur*** d'une force est ***la même quel que soit le référentiel*** d'étude.

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

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

☛ ***Définition*** :

☛ ***Propriétés*** : • *Origine* : centre de masse du système ;

• *Direction* : verticale du lieu (droite reliant le centre de masse du système au centre de masse de l'astre) ;

• *Sens* : du centre de masse du système vers celui de l'astre.

➨ 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 l'altitude H 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 (formule qui n'est pas à connaître).

$$\vec{g}(M) = G \times \frac{m_{astre}}{(R+H)^2} \times \vec{u}$$

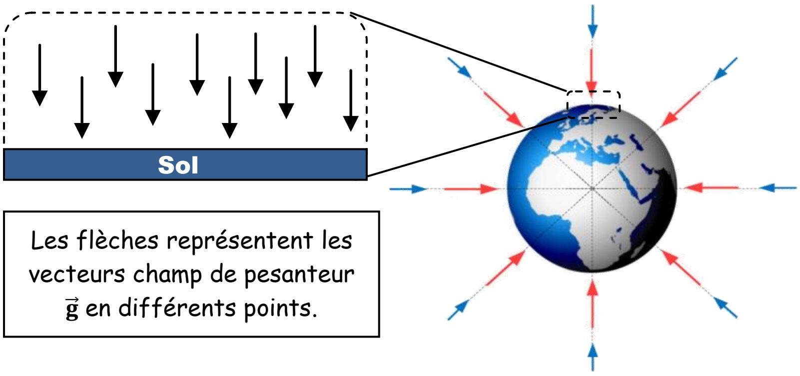
(R = Rayon de l'astre)

On constate donc que le vecteur champ de pesanteur a :

sa norme **g** qui diminue quand l'altitude **H** ………………………. ;

sa direction et son sens qui …………………… de la latitude et de la longitude du point M.

Le champ de pesanteur autour d'un astre n'est donc pas ……………………….. .



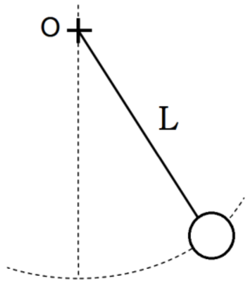
Les flèches représentent les vecteurs champ de pesanteur $\vec{g}$ en différents points.

Cependant, on pourra considérer que c'est le cas à condition de travailler dans une zone de l'espace de …………………….. dimension par rapport aux dimensions de ………………… (voir ZOOM).

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

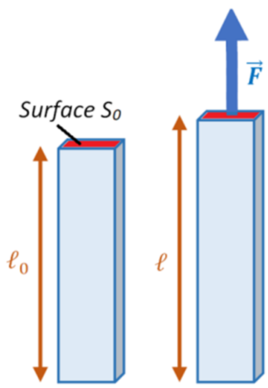


Une force de tension nulle peut donc correspondre à deux situations différentes : soit le fil n'est pas tendu, soit le fil est rompu …

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

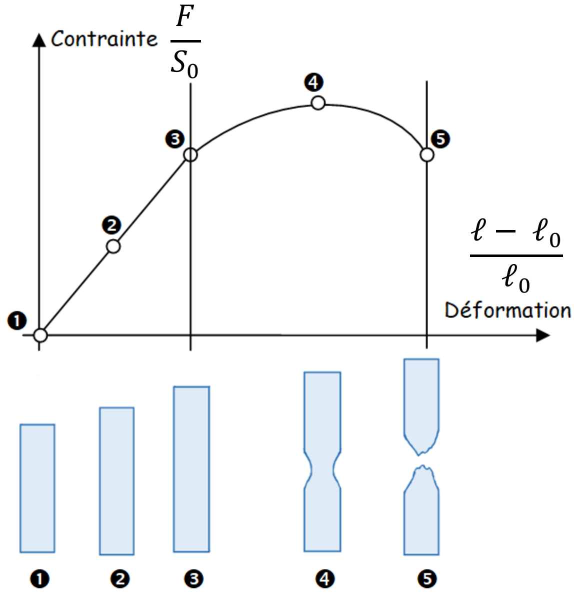
☛ ***Définition*** :

☛ ***Propriété*** : Il existe une limite, appelée ***LIMITE D'ELASTICITE***, au-delà de laquelle le matériau cesse d'être élastique (c'est-à-dire que le matériau ne reprendra pas sa forme initiale quand la contrainte cessera).



Pour déterminer la limite d'élasticité d'un matériau, on peut l'étirer depuis une longueur initiale ℓ_0 jusqu'à une longueur ℓ 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** σ) 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 ℓ_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 ℓ_0 mais à une longueur supérieure :
le point ❸ correspond à la limite d'élasticité ;
au point ❹, la contrainte est maximale ;
au point ❺, la matériau se rompt.

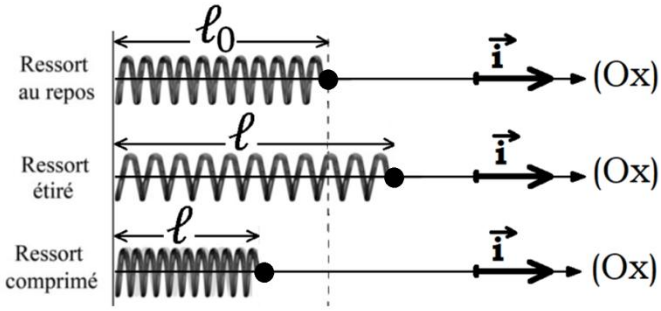
• Après ❺ : la matériau est cassé.

➡ 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 ℓ_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**.

Cette force n'existe pas quand le ressort est « au repos », mais elle est présente quand le ressort est « étiré » ou « comprimé » et elle s'exprime de la même manière dans les deux cas :



☛ ***Définition*** : Dans l'***approximation linéaire***, la force de rappel exercée par un ressort est proportionnelle à **l'allongement** $\Delta\ell = \ell - \ell_0$ de celui-ci, la constante de proportionnalité étant la **constante de raideur k** du ressort.

$\vec{\imath}$ = vecteur unitaire orienté dans le sens de l'ETIREMENT du ressort

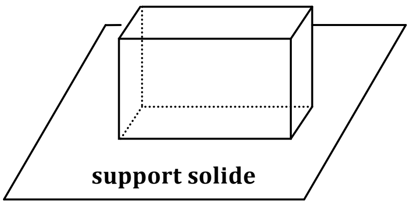
ATTENTION A L'ORIENTATION DU VECTEUR UNITAIRE !

Cohérence de la formule : # Ressort étiré : $\ell - \ell_0$ est de signe .... donc $\vec{F}$ et $\vec{i}$ sont de sens ....

Ressort comprimé : $\ell - \ell_0$ est de signe .... donc $\vec{F}$ et $\vec{i}$ sont de .... sens

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***.



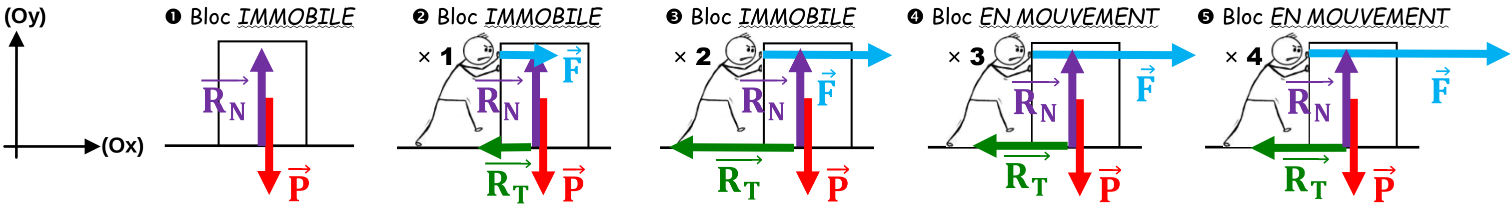
On modélise cette réaction par un unique vecteur force (noté $\vec{R}$) s'appliquant en un point **I** de la surface de contact **ou** par ses deux composantes (notées $\vec{R}_N$ et $\vec{R}_T$).

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**. Illustrons ces lois à l'aide de la situation suivante : un bloc de pierre d'une centaine de kilogrammes est posé sur un sol horizontal puis il est poussé par 1, 2, 3 et 4 personnes. On a représenté les différentes forces subies par le bloc de pierre pour chaque situation.



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

☛ ***Bilan des forces*** :
- le poids $\vec{P}$ du système pour les situations ❶ à ❺ (P = constante) ;
- la réaction normale $\vec{R}_N$ du support pour les situations ❶ à ❺ ($R_{N_❶} = R_{N_❷} = R_{N_❸} = R_{N_❹} = R_{N_❺} = C^{te}$) ;
- la réaction tangentielle $\vec{R}_T$ du support pour les situations ❷ à ❺ ($R_{T_❷} < R_{T_❸}$; $R_{T_❹} = R_{T_❺} = C^{te}$) ;
- Force $\vec{F}$ exercée par la(les) personne(s) pour les situations ❷ à ❺ (F augmente) ;

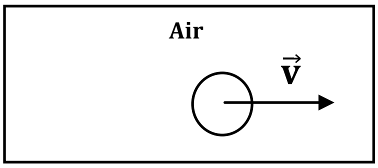
Lois empiriques de COULOMB (Formules qui seront fournies)

Situations ❷ et ❸ : frottement STATIQUE (sans glissement)	***Situations ❹ et ❺ : frottement DYNAMIQUE (avec glissement)***
Quand le système est *immobile* et que $\vec{R}_T$ existe : *Interprétation physique du terme* $f_S \times R_N$:	Quand le système est *en mouvement* et que $\vec{R}_T$ existe :

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** ».*

e/ Force de frottement fluide :

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).



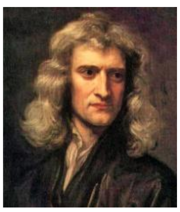
Objet se déplaçant horizontalement dans l'air

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 :

- f = **valeur** de la force de frottement fluide ;
- v = **vitesse de déplacement** du système par rapport au fluide ou du fluide par rapport au système ;
- h = **coefficient de frottement fluide** qui dépend par exemple de la nature du fluide, du matériau constituant le système …

Pour les déplacements à grande vitesse, c'est le carré de la vitesse qui intervient (cours de 2ème 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) 1ère 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 1ère 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 $\sum \vec{F} = \vec{0}$ (on dit alors que ***la RESULTANTE des forces*** est nulle).

➡ **Les référentiels concernés** :

La 1ère loi de Newton n'est valable que dans les **référentiels** ***GALILEENS*** ; mais quels référentiels peut-on considérer comme tels ? On montre que cela dépend de la durée du phénomène étudié :

Le référentiel ____________ est considéré comme galiléen si la Terre n'a pas le temps de beaucoup tourner sur elle-même autour de l'axe de ses pôles, c'est-à-dire sur des ***durées négligeables devant 24 h***.

Le référentiel ____________ est considéré comme galiléen si la Terre n'a pas le temps de beaucoup se déplacer autour du Soleil, c'est-à-dire sur des ***durées négligeables devant 1 an*** (période de révolution de la Terre autour du Soleil).

Le référentiel ____________ est considéré comme galiléen si le Soleil n'a pas le temps de beaucoup se déplacer autour du centre de masse de la Voie Lactée, c'est-à-dire sur des ***durées négligeables devant 230 millions d'années*** (période de révolution du Soleil dans la Voie Lactée) : c'est le meilleur référentiel galiléen parmi les trois référentiels classiques.

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

- Origine du repère d'espace = centre de masse du système solaire, quasiment confondu avec le centre du Soleil ;
- Axes du repères d'espace = 3 axes orthonormés pointant vers 3 étoiles fixes.

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*** :

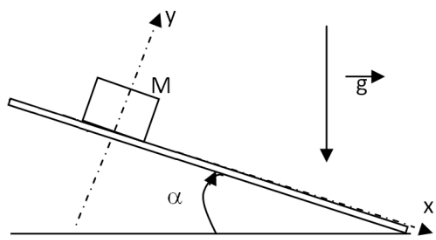
b/ Applications :

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.

✍ ***Application 2*** : *Un bloc de pierre de masse* **m = 100 kg** *est immobile sur un plan incliné d'un angle* **α = 30,0°** *par rapport à l'horizontal. Déterminer la norme de la réaction normale et de la réaction tangentielle du support en fonction de* **m**, **g** *et* **α**.

☛ ***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 :

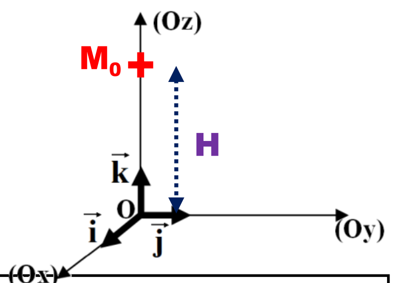
Toutes les applications qui vont être décrites ci-dessous utilisent la même méthode ; il s'agit de la méthode générale pour résoudre un problème en mécanique et elle consiste en plusieurs étapes :

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

✍ ***Application 3*** : *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)*** :

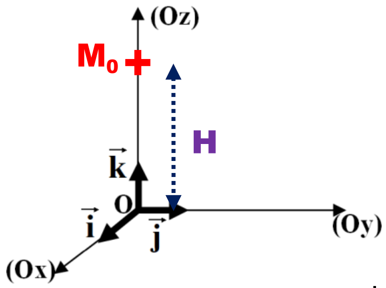
☛ ***Projection du PFD*** :

☛ ***Durée de la chute*** :

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

✍ ***Application 4*** *: 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 :

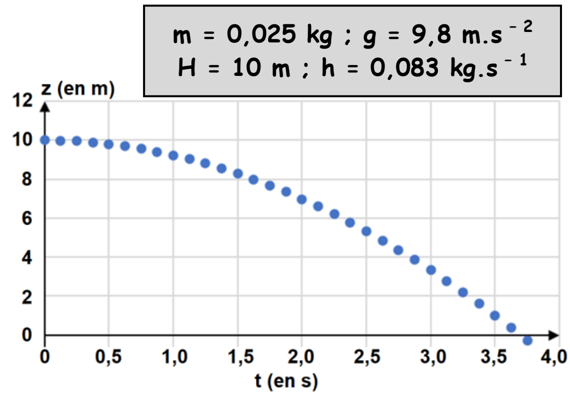
Solution générale :

☛ ***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

Le modèle de l'oscillateur harmonique a un champ d'application 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).

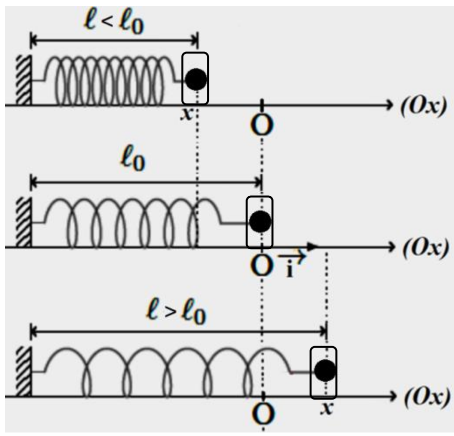
✍ ***Application 5*** :

- Soit un ressort dont l'extrémité gauche est fixe et l'extrémité droite est reliée à une masse m *(rond noir ● sur le schéma), assimilable à son centre de masse. On suppose 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* ℓ_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**.



➡ **Etablir l'expression** x**(t) de la position de la masse m**

☛ ***Système*** : Masse m (● sur le schéma)   ☛ ***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(ω₀.t) + B.sin(ω₀.t) ou (au choix) **x(t) = A.cos(ω₀.t + φ)**

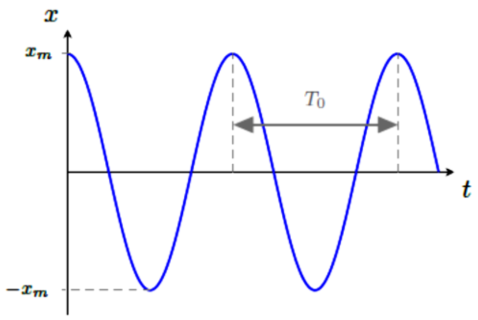
avec : # ω_0 = **pulsation propre** (en rad.s⁻¹) ;
A et **B** deux constantes (en m) à déterminer à l'aide des conditions initiales ;
φ la **phase à l'origine** (en rad) à déterminer à l'aide des conditions initiales.

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

A t = 0, ***x*(t = 0)** =

A t = 0, **v_x(t = 0)** =

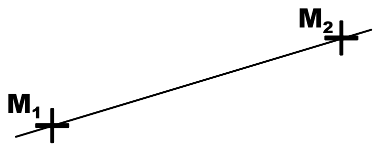
☛ ***Evolution de x au cours du temps*** :



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*** : *En utilisant la 3ème loi de Newton, déterminer l'orientation de la réaction tangentielle exercée par le sol sur le pied pour qu'une personne marche sans glisser.*